

## Utvecklingen av KBS-3-metoden

Genomgång av forskningsprogram, säkerhetsanalyser, myndighetsgranskningar samt SKB:s internationella forskningssamarbete

Svensk Kärnbränslehantering AB

November 2010

**Svensk Kärnbränslehantering AB**

Swedish Nuclear Fuel  
and Waste Management Co

Box 250, SE-101 24 Stockholm  
Phone +46 8 459 84 00



ISSN 1402-3091

SKB R-10-40

## **Utvecklingen av KBS-3-metoden**

**Genomgång av forskningsprogram, säkerhetsanalyser, myndighetsgranskningar samt SKB:s internationella forskningssamarbete**

Svensk Kärnbränslehantering AB

November 2010

*Nyckelord:* KBS-3-metoden, Forskningsprogram, Historik, Utveckling, Säkerhetsanalyser, Myndighetsgranskning, Internationellt forskningssamarbete.

En pdf-version av rapporten kan laddas ner från [www.skb.se](http://www.skb.se).

## Förord

Denna rapport syftar till att *översiktligt* redovisa hur den metod för slutförvaring av använt kärnbränsle som Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) föreslår, KBS-3<sup>1</sup>, har tagits fram och utvecklats till och med år 2009, det vill säga under drygt 30 år. Redovisningen gör sålunda inte anspråk på att täcka alla delar i det omfattande forsknings- och utvecklingsarbete som SKB har genomfört kring det tekniskt-vetenskapliga underlaget i form av att samla in data, förbättra metoderna och öka processförståelsen.

Ett framträdande drag i det industriella utvecklingsarbetet kring slutförvaring av använt kärnbränsle har varit att det hela tiden har funnits förutsättningar för ett starkt inflytande från samhället och dess organ (regeringen, statliga förvaltningsmyndigheter, universitet och högskolor, kommuner samt olika sammanslutningar bland allmänheten). Tidvis har slutförvarsfrågan befunnit sig i centrum för det politiska skeendet. Så var fallet framför allt från 1970-talets mitt fram till början av 1980-talet. Detta bidrog starkt till att stora resurser tidigt satsades i Sverige på att utveckla en metod för slutförvaring av använt kärnbränsle. KBS-3-metoden har formats i ett samspel mellan vetenskap, teknik och politik.

Rapporten har på uppdrag av Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) utarbetats av Olof Söderberg, Energi- och miljöstrategi O. Söderberg<sup>2</sup>. Den ingår i det bakgrundsmaterial som SKB har låtit ta fram som underlag för kommande ansökningar om tillåtlighet och tillstånd enligt miljöbalken och tillstånd enligt kärntekniklagen om att bland annat få uppföra och driva anläggningar för inkapsling och slutförvaring av använt kärnbränsle.

Läsaren uppmärksammas på att framställningen är fokuserad på slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden. Övriga delar av SKB:s verksamhet, såsom exempelvis hanteringen av låg- och medelaktivt kärnavfall samt andra metoder för omhändertagande av använt kärnbränsle tas inte upp här. Sistnämnda frågeställningar kommer att behandlas i rapporten *Utvärdering av strategier och system för att ta hand om använt kärnbränsle* (R-10-25). SKB:s arbete med att välja en lämplig plats för det nu aktuella slutförvaret för använt kärnbränsle kommer att skildras i rapporten *Platsval – Lokaliseringen av slutförvaret för använt kärnbränsle* (R-10-42).

Har den insyn i och granskning av forsknings- och utvecklingsarbetet kring KBS-3-metoden som skett resulterat i konkreta förändringar av metoden som annars inte hade kommit till stånd? För att besvara frågan måste man först betrakta rollfördelningen mellan SKB och samhällsorganen. SKB är ansvarigt för att presentera en lösning av frågan, medan samhällsorganens uppgift är att vara kravställare och bedömare av om den presenterade lösningen fyller måttet. Om granskningen av utvecklingsarbetet hade resulterat i stark kritik, i sista hand genom att regeringen skulle ha ifrågasatt inriktningen av det pågående utvecklingsarbetet, så hade arbetet med all sannolikhet getts en annan inriktning. Men resultatet av den regelbundna granskningen har inte inneburit någon så stark kritik utan har i stället resulterat i ett stöd för att fortsätta utvecklingsarbetet i den huvudriktning som SKB har förordat, men med påpekanden om behovet av fördjupade insatser inom viktiga områden. Exempel på sådana områden är kopparkorrosion, grundvattnets strömningsvägar, egenskaper hos olika typer av bentonit, frågor kring återtagbarhet, metoder för säkerhetsanalys samt andra sätt

---

<sup>1</sup> Beteckningen KBS har använts sedan slutet av år 1976. Den stod ursprungligen som kortform för det ”Projekt KärnbränsleSäkerhet” som vid den tidpunkten startades inom ramen för dåvarande Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.

<sup>2</sup> Olof Söderberg har tidigare varit knuten till Miljödepartementet och har sedan mitten av 1980-talet följt kärnavfallsfrågorna på nära håll. Han var åren 1996–2002 nationell samordnare/särskild rådgivare inom kärnavfallsområdet samt medverkade under perioden 1985–2007 i arbetet inom Statens råd för kärnavfallsfrågor (vid denna tid mest känt som KASAM). Under åren 1985–1992 var han chef för den myndighet, Statens kärnbränslenämnd, som på regeringens uppdrag granskade de första forsknings- och utvecklingsprogrammen som SKB utarbetade i enlighet med bestämmelserna i 1984 års kärntekniklag. Nämnden administrerade också – som en andra huvuduppgift – det i början av 1980-talet beslutade systemet för finansiering i statlig regi av framtida utgifter för omhändertagande av bland annat använt kärnbränsle. I nämndens uppgifter ingick att årligen föreslå regeringen storleken av den så kallade kärnavfallsavgiften. Söderberg ledde i början av 1990-talet en utredning om ändringar i finansieringssystemet och var åren 1996–2005 ordförande i Kärnavfallsfondens styrelse.

att omhänderta använt kärnbränsle. Dessa påpekanden har underlättat för SKB att leva upp till kärntekniklagens krav på allsidighet i forskningsarbetet samt resulterat i fördjupad förståelse av grundläggande frågeställningar.

I syfte att ge en så korrekt bild som möjligt av väsentligare frågor som stått i fokus under de mer än 30 år som utvecklingsarbetet kring KBS-3-metoden har pågått, har fyra personer med långvarig förtrogenhet med SKB:s forsknings- och utvecklingsarbete med inriktning på slutförvaring av använt kärnbränsle särskilt granskat utkast till rapporten. Dessa personer är:

- Per-Eric Ahlström, tidigare vice verkställande direktör och utvecklingschef inom SKB.
- Christer Svemar, tidigare chef för SKB:s forsknings- och utvecklingsverksamhet vid Äspölaboratoriet.
- Sören Norrby, tidigare chef för kärnavfallsavdelningen vid Statens kärnkraftinspektion samt verksam inom KASAM – Statens råd för kärnavfallsfrågor.
- Nils Rydell<sup>3</sup>, tidigare verksam inom bland annat Programrådet för radioaktivt avfall, Statens kärnbränslenämnd och KASAM – Statens råd för kärnavfallsfrågor.

Erik Setzman  
Chef miljöenheten, SKB

---

<sup>3</sup> Nils Rydell avled i september 2010.

# Läsanvisning

Rapporten är disponerad i två delar. Till rapporten hör två bilagor.

*Del I* omfattar fyra kapitel som täcker det inledande arbetet när KBS-3-metoden tog form, det vill säga i stort sett perioden från år 1972 till mitten av 1980-talet. Under denna tid kom kärnavfallsfrågan i politikens fokus. Krav som ställdes på reaktorägarna, och som kom till uttryck i den så kallade villkorlagen (1977:140), ledde till ett tekniskt och naturvetenskapligt forsknings- och utvecklingsarbete med syfte att klarlägga hur det högaktiva avfallet från den svenska kärnenergiproduktionen kunde tas om hand på ett säkert sätt. Resultatet var de så kallade KBS-rapporterna, av vilka den sista – KBS-3 – förelåg år 1983. I del I ligger fokus på viktigare ställningstaganden som gjordes under utvecklingsarbetet och på hur detta arbete påverkades av den roll som kärnkraftsfrågan spelade i det politiska skeendet under denna tid.

I kapitel 1 beskrivs hur det svenska kärnkraftsprogrammet växte fram och hur kärnavfallsfrågan kom upp på den politiska dagordningen. Kapitel 2 har fokus på innehållet i KBS-1- och KBS-2-rapporterna. I kapitel 3 redovisas centrala delar av KBS-3 rapporten. Ett avslutande kapitel 4 är en redogörelse för vilken roll KBS-rapporterna spelade vid en tid då frågor kring kärnkraften var ett av de dominerande inslagen i svensk inrikespolitik. Samtidigt var detta också en tid då grunden lades för en tydlig ansvarsfördelning rörande hantering av kärnavfallet mellan å ena sidan producenterna av kärnkraft och å andra sidan de samhällsorgan som hade att kontrollera denna verksamhet utifrån olika aspekter.

*Del II* täcker i huvudsak perioden från mitten av 1980-talet fram till och med år 2009 och belyser hur KBS-3-metoden successivt har vidareutvecklats och förfinats. Utvecklingsarbetet har under denna period skett inom ramen för lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet, den så kallade kärntekniklagen, med dess bestämmelser om att innehavarna av kärnkraftsreaktorer vart tredje år ska redovisa hur utvecklingsarbetet kring omhändertagandet av kärnkraftens restprodukter fortgår<sup>4</sup>. Framställningen i del II är i huvudsak uppbyggd kring dessa redovisningar<sup>5</sup> och vad som har kommit fram vid granskningen av dem. Det arbete med säkerhetsanalytisk metodik och med säkerhetsanalyser som pågått inom ramen för genomförandet av Fud-programmen utgör emellertid också – tillsammans med synpunkter som kommit fram vid granskningen av detta arbete – ett viktigt underlag för skildringen av arbetet med att utveckla KBS-3-metoden.

Kapitel 5 innehåller en exposé av principerna bakom lagen om kärnteknisk verksamhet. Kapitel 6 utgörs av en redogörelse för arbetet med forsknings- och utvecklingsarbetet kring KBS-3-metoden från mitten av 1980-talet fram till och med år 1991. Det har bedömts lämpligt att låta kapitel 7 täcka perioden 1992–1996, då sökandet efter en lämplig plats för ett slutförvar för använt kärnbränsle gick in i en mer aktiv fas. Slutet av 1990-talet präglades av ett intensifierat sökande efter lämpliga platser för platsundersökningar. Det arbete med forskning, utveckling och demonstration av KBS-3-metoden som ägde rum under denna tid redovisas i kapitel 8. I det avslutande kapitel 9 förs framställningen fram till och med år 2009.

SKB:s arbete med slutförvarsfrågan har alltsedan starten präglats av ett omfattande internationellt samarbete kring forskning och utveckling. En översiktlig redogörelse för detta finns i kapitel 10.

Tabellariska översikter över viktigare förändringar i KBS-3-metoden, sådana de avspeglas i bland annat Fud-programmen, finns i slutet av kapitlen 2, 3, 7, 8 och 9. Dessa tabellariska översikter har ytterligare komprimerats i *Sammanfattning*.

I *bilaga 1* har ställts samman uppgifter ur SKB:s så kallade Planrapporter om beräknat antal kapslar och data om kapslarna som redovisats under perioden 1983–2008. Dessa data belyser samtidigt vissa aspekter av den tekniska utvecklingen av KBS-3-metoden under denna tid.

I december 1996 beslutade regeringen att SKB skulle genomföra en så kallad systemanalys av hela slutförvarssystemet (inkapslingsanläggning, transporter och slutförvar). Diskussionen om systemanalysen redovisas i *bilaga 2*.

<sup>4</sup> Se vidare avsnittet *Bakgrund och avgränsning*.

<sup>5</sup> De första redovisningarna kallades FoU-program (FoU = Forskning och Utveckling), men sedan år 1992 används benämningen Fud-program (Fud = Forskning, utveckling och demonstration).

# Innehåll

<b>Sammanfattning</b>	13
<b>Summary</b>	35
<b>Bakgrund och avgränsning</b>	59
<b>Del I KBS-3-metoden tar form – utvecklingsarbetet fram till mitten av 1980-talet</b>	61
<b>1 Kärnavfallsfrågan förs upp på den politiska dagordningen</b>	63
1.1 Ett svenskt kärnkraftsprogram växer fram	63
1.2 Kärnavfallsfrågan förs in i politiken	64
1.3 Aka-utredningen	65
1.3.1 Uppdrag	65
1.3.2 Viktigare händelser under utredningstiden	65
1.3.3 Överväganden om organisation för och finansiering av omhändertagande av kärnkraftens högaktiva avfall	67
1.3.4 Överväganden kring metoder för omhändertagande av kärnkraftens högaktiva avfall	68
1.4 Valrörelse, regeringsdeklaration och villkorslag 1976–1977	71
<b>2 KBS-1- och KBS-2-rapporterna</b>	73
2.1 KBS-1-rapporten 1977	73
2.1.1 Mål för Projekt KärnbränsleSäkerhet (KBS)	73
2.1.2 Metod för slutförvaring av högaktivt avfall från upparbetning	73
2.1.3 Lägesrapport om direktdeponering av använt kärnbränsle	76
2.2 KBS-2-rapporten 1978	79
2.2.1 Direktdeponering av använt kärnbränsle	79
2.2.2 Utgångspunkter	79
2.2.3 Hanteringsgång och anläggningar	80
2.2.4 Berggrunden	82
2.2.5 Buffert och återfyllningsmaterial	83
2.2.6 Kapseln	84
2.2.7 Säkerheten	85
2.3 Granskning av KBS-2-rapporten	85
2.4 Utveckling av direktdeponeringskonceptet 1977–1978	87
<b>3 KBS-3 år 1983, Forskningsprogram 1984</b>	89
3.1 Fortsatt arbete med inriktning mot direktdeponering av använt kärnbränsle	89
3.2 KBS-3-rapporten 1983	89
3.2.1 Utgångspunkter	89
3.2.2 Hanteringsgång och funktion i stort	90
3.2.3 Anläggningar	92
3.2.4 Berggrunden	94
3.2.5 Buffert- och återfyllningsmaterial	95
3.2.6 Kapselmaterial	98
3.2.7 Säkerhetsanalys	100
3.2.8 Missöden och extrema händelser	102
3.3 Forskningsprogram 1984	103
3.3.1 Bakgrund och syfte	103
3.3.2 Programmets allmänna inriktning	103
3.3.3 Anläggningar	104
3.3.4 Berggrunden	104
3.3.5 Buffert- och återfyllningsmaterial	105
3.3.6 Kapselmaterial	105
3.3.7 Säkerheten	106

3.4	Granskningen av KBS-3-rapporten 1983 och av forsknings- och utvecklingsprogrammet 1984	107
3.4.1	Allmänt om KBS-3-metoden	107
3.4.2	Geologi och hydrologi	108
3.4.3	Tekniska barriärer	108
3.4.4	Bränsleupplösning och transport i närområdet	109
3.4.5	Transport i geosfären	109
3.4.6	Spridning i biosfären och dosuppskattningar	109
3.4.7	Säkerhetsanalys	109
3.4.8	Missöden och extrema händelser	110
3.4.9	Säkerhet under drift	110
3.5	Utveckling av direktdeponeringskonceptet 1978–1983	110
<b>4</b>	<b>KBS-rapporter, villkorlag och ny lagstiftning om slutförvaring</b>	<b>113</b>
4.1	Perioden fram till 5 oktober 1978	113
4.2	Hösten 1978 – våren 1981	114
4.2.1	Viktigare händelser kring energipolitiken	114
4.2.2	Handläggningen av tillstånd enligt villkorlagen	114
4.3	Våren 1981 – juni 1984	116
4.3.1	Kärnavfallsfrågan i politiken	116
4.3.2	Utredningsförslag 1983 om klarare regler för kärnavfallshanteringen	117
4.3.3	Regeringens syn 1983 på behovet av fortsatt forsknings- och utvecklingsarbete kring slutförvarsproblematiken	117
4.3.4	Tillämplig lagstiftning inför regeringens beslut om laddning av återstående reaktorer	118
4.3.5	Handläggningen inom regeringskansliet av ansökningar inför start av återstående reaktorer	119
4.3.6	Regeringsbeslut juni 1984	119
<b>Del II KBS-3-metoden förfinas – mitten av 1980-talet till och med år 2009</b>		<b>121</b>
<b>5</b>	<b>Nya utgångspunkter för det fortsatta arbetet med metodutveckling</b>	<b>123</b>
<b>6</b>	<b>Forskning och utveckling åren 1984–1991</b>	<b>125</b>
6.1	KBS-3 i FoU-program 86	125
6.1.1	Övergripande frågor	125
6.1.2	Kapseln	125
6.1.3	Buffert och återfyllning	126
6.1.4	Berget på förvarsdjup	127
6.1.5	Säkerhetsanalys	129
6.2	Granskningen av FoU-program 86	130
6.2.1	KBS-3-metoden: Övergripande frågeställningar	130
6.2.2	Kapseln	130
6.2.3	Buffert och återfyllning	130
6.2.4	Berget på förvarsdjup	130
6.2.5	Säkerhetsanalys	131
6.2.6	Regeringens ställningstagande	131
6.3	KBS-3 i FoU-Program 89	131
6.3.1	Övergripande frågor	131
6.3.2	Kapseln	133
6.3.3	Buffert, återfyllning och förslutning	134
6.3.4	Berget på förvarsdjup	135
6.3.5	Säkerhetsanalys	137
6.4	Granskningen av FoU-program 89	137
6.4.1	Övergripande frågor	137
6.4.2	Kapseln	138
6.4.3	Buffert, återfyllning och förslutning	138
6.4.4	Berget på förvarsdjup	138
6.4.5	Säkerhetsanalys	139
6.4.6	Regeringens ställningstagande	139

<b>7</b>	<b>Forskning, utveckling och demonstration åren 1992–1996</b>	141
7.1	Säkerhetsanalysen SKB 91	141
7.1.1	Förutsättningar och syfte	141
7.1.2	Slutsatser i SKB 91	142
7.1.3	Kärnkraftinspektionens synpunkter	142
7.2	Fud-program 92 – allmän inriktning	143
7.3	KBS-3 i Fud-program 92	144
7.3.1	Övergripande frågor	144
7.3.2	Kapseln, inkapslingsfrågor	146
7.3.3	Buffert och återfyllning	147
7.3.4	Förslutning	148
7.3.5	Berget på förvarsdjup	148
7.3.6	Deponeringsteknik	150
7.4	PASS-rapporten	152
7.5	Granskningen av Fud-program 92 och PASS-rapporten	154
7.5.1	Allmän inriktning av programmet samt övergripande frågor kring KBS-3	155
7.5.2	Kapsel, inkapslingsfrågor	155
7.5.3	Buffert och återfyllning	156
7.5.4	Förslutning	156
7.5.5	Berget på förvarsdjup	156
7.5.6	Deponeringsteknik	157
7.5.7	Säkerhetsanalys	157
7.5.8	Regeringens ställningstagande	158
7.6	KBS-3 i kompletteringen av Fud-program 92	159
7.6.1	Teknikutvecklingsfrågor med koppling till inkapslingsanläggning	159
7.6.2	Teknikutvecklingsfrågor med koppling till slutförvarsanläggning	160
7.6.3	Program för säkerhetsanalys	161
7.7	Granskningen av kompletteringen av Fud-program 92	162
7.7.1	Teknikutvecklingsfrågor med koppling till inkapslingsanläggning	162
7.7.2	Teknikutvecklingsfrågor med koppling till slutförvarsanläggning	162
7.7.3	Program för säkerhetsanalys	162
7.7.4	Regeringens ställningstagande	163
7.8	KBS-3 i Fud-program 95	163
7.8.1	Övergripande frågor	164
7.8.2	Kapsel, inkapslingsfrågor	165
7.8.3	Buffert	168
7.8.4	Återfyllning och förslutning	169
7.8.5	Berget på förvarsdjup	169
7.8.6	Deponeringsteknik	169
7.8.7	Program för säkerhetsanalys m m	170
7.9	SR 95 – Mall för säkerhetsrapporter	171
7.10	Granskningen av Fud-program 95 och SR 95	172
7.10.1	Övergripande frågor	172
7.10.2	Kapsel, inkapslingsfrågor	172
7.10.3	Buffert och återfyllning	173
7.10.4	Berget på förvarsdjup	173
7.10.5	Deponeringsteknik	173
7.10.6	Säkerhetsanalys, SR 95	174
7.10.7	Regeringens ställningstagande	174
7.11	Kärnkraftinspektionens säkerhetsanalysprojekt	175
7.11.1	Projekt-90	175
7.11.2	SITE-94	175
7.12	Utveckling av KBS-3-metoden 1983–1995	177



<b>8</b>	<b>Inför platsundersökningsskedet åren 1997–2001</b>	181
8.1	Fud-program 98 – allmän inriktning	181
8.2	KBS-3 i Fud-program 98	182
8.2.1	Övergripande frågor	182
8.2.2	Kapsel, inkapslingsfrågor	184
8.2.3	Buffert	185
8.2.4	Återfyllning och förslutning	186
8.2.5	Berget på förvarsdjup	187
8.2.6	Eventuellt återtag av deponerade kapslar	187
8.2.7	Deponeringsteknik, provning av teknik i full skala	189
8.2.8	Varianter av KBS-3	189
8.2.9	Säkerhetsanalys	190
8.3	Granskningen av Fud-program 98	190
8.3.1	Allmän inriktning och övergripande frågor	190
8.3.2	Kapsel, inkapslingsfrågor	192
8.3.3	Buffert, återfyllning och förslutning	193
8.3.4	Berget på förvarsdjup	194
8.3.5	Eventuellt återtag av deponerade kapslar	194
8.3.6	Deponeringsteknik, provning av teknik i full skala	195
8.3.7	Varianter av KBS-3	195
8.3.8	Säkerhetsanalys	195
8.3.9	Regeringens ställningstagande	196
8.4	Säkerhetsanalysen SR 97	196
8.4.1	Syfte och avgränsningar	196
8.4.2	Metodik	197
8.4.3	Resultat och slutsatser	197
8.4.4	Granskningen av SR 97	198
8.5	KBS-3 i Fud-K december 2000	198
8.5.1	Fud-K – syfte och innehåll	198
8.5.2	Systemanalys av KBS-3-systemet	199
8.5.3	Säkerhetsanalys	201
8.6	Granskningen av Fud-K	201
8.6.1	Fud-K – syfte och innehåll	201
8.6.2	Systemanalys av KBS-3-systemet	202
8.6.3	Säkerhetsanalys	202
8.6.4	Regeringens ställningstagande	202
8.7	KBS-3 i Fud-program 2001	203
8.7.1	Övergripande frågor	203
8.7.2	Kapsel, inkapslingsfrågor	203
8.7.3	Buffert	205
8.7.4	Återfyllning	206
8.7.5	Berget på förvarsdjup	207
8.7.6	Eventuellt återtag av deponerade kapslar	208
8.7.7	Deponeringsteknik, provning av teknik i full skala	209
8.7.8	Varianter av KBS-3	211
8.7.9	Säkerhetsanalys	212
8.8	Granskningen av Fud-program 2001	213
8.8.1	Övergripande frågor	213
8.8.2	Kapsel, inkapslingsfrågor	213
8.8.3	Buffert	214
8.8.4	Återfyllning	214
8.8.5	Berget på förvarsdjup	214
8.8.6	Eventuellt återtag av deponerade kapslar	215
8.8.7	Deponeringsteknik, provning av teknik i full skala	215
8.8.8	Varianter av KBS-3	215
8.8.9	Säkerhetsanalys	215
8.8.10	Regeringens ställningstagande	216
8.9	Utveckling av KBS-3-metoden 1995–2001	216

<b>9</b>	<b>Platsundersökningsskedet åren 2002–2009</b>	221
9.1	KBS-3 i Fud-program 2004	221
9.1.1	Övergripande frågor	221
9.1.2	Kapsel, inkapslingsfrågor	221
9.1.3	Buffert	226
9.1.4	Återfyllning, förslutning	226
9.1.5	Berget på förvarsdjup	228
9.1.6	Eventuellt återtag av deponerade kapslar	228
9.1.7	Deponeringsteknik	228
9.1.8	Varianter av KBS-3	229
9.1.9	Säkerhetsanalys	231
9.2	Granskningen av Fud-program 2004	231
9.2.1	Övergripande frågor	231
9.2.2	Kapsel, inkapslingsfrågor	231
9.2.3	Buffert	232
9.2.4	Återfyllning	233
9.2.5	Berget på förvarsdjup	233
9.2.6	Deponeringsteknik	233
9.2.7	Varianter av KBS-3	234
9.2.8	Säkerhetsanalys	234
9.2.9	Regeringens ställningstagande	234
9.3	SR-Can 2006	235
9.3.1	Syfte	235
9.3.2	Metodik	236
9.3.3	Huvudslutsatser	238
9.3.4	Granskningen av SR-Can	240
9.4	KBS-3 i Fud-program 2007	241
9.4.1	Övergripande frågor	241
9.4.2	Berglinjen	242
9.4.3	Buffertlinjen	243
9.4.4	Kapsellinjen	245
9.4.5	Återfyllningslinjen	246
9.4.6	Förslutningslinjen	247
9.4.7	Eventuellt återtag av deponerade kapslar	248
9.4.8	Deponeringsteknik	249
9.4.9	Varianter av KBS-3	249
9.4.10	Säkerhetsanalys	250
9.5	Granskningen av Fud-program 2007	251
9.5.1	Övergripande frågor	251
9.5.2	Berglinjen	251
9.5.3	Buffertlinjen	252
9.5.4	Kapsellinjen	253
9.5.5	Återfyllningslinjen	254
9.5.6	Förslutningslinjen	254
9.5.7	Eventuellt återtag av deponerade kapslar	255
9.5.8	Deponeringsteknik	255
9.5.9	Varianter av KBS-3	256
9.5.10	Säkerhetsanalys	256
9.5.11	Regeringens ställningstagande	256
9.6	SKB:s komplettering mars 2009 av Fud-program 2007 jämte regeringens ställningstagande	257
9.7	Utveckling av KBS-metoden 2001–2009	257
<b>10</b>	<b>SKB:s internationella forskningssamarbete under 30 år</b>	261
10.1	Översikt	261
10.2	Samarbete med utländska organisationer	263
10.3	Bränslelakning – Spent Fuel Workshops	263
10.4	Stripa-projektet	263
10.5	JSS-projektet	265

10.6	URL-projektet	265
10.7	INTRACOIN, HYDROCOIN, INTRAVAL och DECOVALEX	265
10.8	Samarbetsprojekt kring naturliga analogier	266
10.8.1	Poços de Caldas	266
10.8.2	Cigar Lake	267
10.8.3	Oklo	268
10.8.4	Maqarin	269
10.8.5	Palmottu	269
10.8.6	Översikt av naturliga analogier som studerats på olika håll i världen	270
10.9	Samarbete med Finland	272
10.10	Internationell samverkan inom ramen för Äspölaboratoriet	274
10.11	Samarbete med The Welding Institute i England	275
<b>Bilaga 1</b>	Sammanställning av uppgifter om beräknat antal bränsleelement och kapslar vid olika tidpunkter	277
<b>Bilaga 2</b>	Behandlingen av frågor om systemanalys	279
<b>Referenser</b>		285

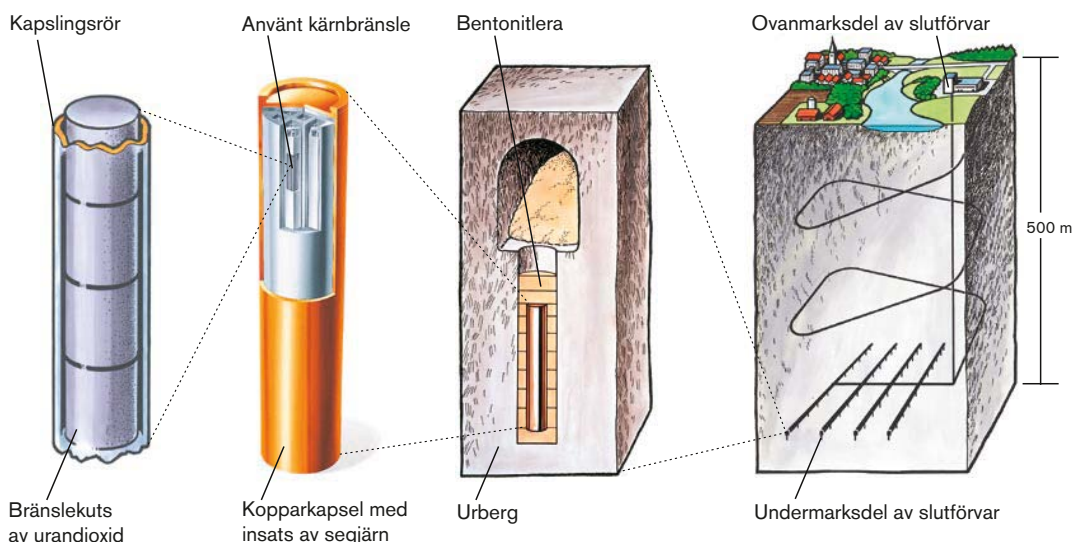
# Sammanfattning

## Rapportens syfte, bakgrund och avgränsning

Denna rapport syftar till att *översiktligt* redovisa hur den metod för slutförvaring av använt kärnbränsle (KBS-3), som Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) föreslår, har tagits fram och utvecklats till och med år 2009, det vill säga under drygt 30 år. Beteckningen KBS har använts sedan slutet av år 1976. Den stod ursprungligen som kortform för det ”Projekt KärnbränsleSäkerhet” som vid den tidpunkten startades inom ramen för dåvarande Svensk Kärnbränsleförsörjning AB. KBS-3-metoden innebär att bränslet kapslas in i kopparkapslar med insatser av segjärn och att kapslarna deponeras på 400–700 meters djup i berggrunden. Kapslarna omges av bentonitlera. Efter avslutad deponering återfylls förvaret med bentonitblock och pellets och försluts. Metoden illustreras enligt figur S-1.

Redovisningen gör inte anspråk på att täcka alla delar i det omfattande forsknings- och utvecklingsarbete som SKB har genomfört kring det tekniskt-vetenskapliga underlaget i form av att samla in data, förbättra metoderna och öka processförståelsen. Rapporten ingår i det bakgrundsmaterial som SKB har låtit ta fram som underlag för kommande ansökningar om tillåtlighet och tillstånd enligt miljöbalken och tillstånd enligt kärntekniklagen om att bland annat få uppföra och driva anläggningar för inkapsling och slutförvaring av använt kärnbränsle.

Ett framträdande drag i det industriella utvecklingsarbetet kring slutförvaring av använt kärnbränsle har varit att det hela tiden har funnits förutsättningar för insyn och påverkan från samhället och dess organ (regeringen, statliga förvaltningsmyndigheter, universitet och högskolor, kommuner samt olika sammanslutningar bland allmänheten). Denna insyn och påverkan skedde inledningsvis genom ett traditionellt remissförfarande av KBS-rapporterna 1977, 1978 och 1983 genom regeringens försorg samt från år 1984 genom kärntekniklagens bestämmelser om vad som sedan år 1992 kallas Fud-program<sup>6</sup>. Dessa bestämmelser innebär att SKB vart tredje år ska upprätta och överlämna till (numera) Strålsäkerhetsmyndigheten ”ett program för den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet och de övriga åtgärder som behövs” för att på ett säkert sätt slutförvara kärnavfall, bland annat använt kärnbränsle. Myndigheten ska granska och utvärdera programmet och därefter överlämna det till regeringen för ställningstagande. Som ett led i myndighetsgranskningen sker ett omfattande remissförfarande.



**Figur S-1.** Vid KBS-3-metoden kapslas det använda kärnbränslet in i koppar och deponeras på cirka 500 meters djup i urberget. Runt kopparkapslarna finns en buffert av bentonitlera som ska skydda mot korrosion och rörelser i berget.

<sup>6</sup> Fud står för Forskning, utveckling och demonstration.

Tidvis har slutförvarsfrågan befunnit sig i centrum för det politiska skeendet. Så var fallet framför allt från 1970-talets mitt fram till början av 1980-talet. Detta bidrog starkt till att stora resurser tidigt satsades i Sverige på att utveckla en metod för slutförvaring av använt kärnbränsle. Det tekniska och naturvetenskapliga utvecklingsarbetet kring hantering av använt kärnbränsle har därmed ända sedan början av 1970-talet och fram till våra dagar präglats av ett slags växelverkan mellan teknik, vetenskap och politik. SKB bedömer att denna växelverkan, särskilt de regelbundna återkommande granskningarna av Fud-program, har varit av stort värde. Det gäller även granskningen av SKB:s arbete med säkerhetsanalyser och av SKB:s så kallade Plan-rapporter.

I framställningen belyses utvecklingen inom ett antal områden som har central betydelse för säkerheten i ett KBS-3-förvar. Det är områden som i SKB:s Fud-program 2007 går under benämningen berglinjen, buffertlinjen, kapsellinjen, återfyllningslinjen och förslutningslinjen. Därutöver har frågor om eventuellt återtag av deponerade kapslar, om varianter av KBS-3, om deponeringsteknik samt om säkerhetsanalys uppmärksammats, liksom naturligtvis även ett antal ämnesövergripande frågor.

Utvecklingen av metoder för säkerhetsanalysen har varit en viktig del av utvecklingen av KBS-3-metoden. Arbetet med säkerhetsanalyser har lett till förbättrad förståelse och kunskap om viktiga processer i förvaret över tid och, som följd av detta, nya eller förbättrade metoder för att beskriva dessa processer. En närmare redovisning av hithörande frågeställningar skulle emellertid bli relativt omfattande och har därför lämnats utanför denna rapport.

Har den insyn i och granskning av forsknings- och utvecklingsarbetet kring KBS-3-metoden som skett resulterat i konkreta förändringar av metoden som annars inte hade kommit till stånd? För att besvara frågan måste man först betrakta rollfördelningen mellan SKB och samhällsorganen. SKB är ansvarigt för att presentera en lösning av frågan, medan samhällsorganens uppgift är att vara kravställare och bedömare av om den presenterade lösningen fyller måttet. Om granskningen av utvecklingsarbetet hade resulterat i stark kritik, i sista hand genom att regeringen skulle ha ifrågasatt inriktningen av det pågående utvecklingsarbetet, så hade arbetet med all sannolikhet getts en annan inriktning. Men resultatet av den regelbundna granskningen har inte inneburit någon så stark kritik utan har i stället resulterat i ett stöd för att fortsätta utvecklingsarbetet i den huvudriktning som SKB har förordat, men med påpekanden om behovet av fördjupade insatser inom viktiga områden. Exempel på sådana områden är kopparkorrosion, grundvattnets strömningsvägar, egenskaper hos olika typer av bentonit, frågor kring återtagbarhet, metoder för säkerhetsanalys samt andra sätt att omhänderta använt kärnbränsle. Dessa påpekanden har underlättat för SKB att leva upp till kärntekniklagens krav på allsidighet i forskningsarbetet samt resulterat i fördjupad förståelse av grundläggande frågeställningar.

I slutet av kapitlen 2, 3, 7, 8 och 9 finns tabellariska översikter över hur KBS-3-metoden har utvecklats i olika avseenden från en första idéskiss år 1977 fram till redovisningen i Fud-program 2007<sup>7</sup>. Det har varit fråga om en successiv utveckling. Denna dokumenterades i mer fullständig form för första gången i KBS-2-rapporten 1978 och KBS-3-rapporten 1983 samt därefter i de Plan-rapporter och Fud-program som SKB har upprättat och även i de olika säkerhetsanalyser som SKB har utfört sedan början av 1990-talet.

De tabellariska översikterna är uppbyggda kring vissa teman, grundade på hur KBS-3-metoden har redovisats dels i de tidiga KBS-rapporterna, dels i de olika Fud-programmen. Systematiken är följande:

- Hanteringsgång och anläggningar.
  - Mellanlager.
  - Inkapslingsanläggning.
  - Slutförvar.
- Buffert och återfyllning.
  - Buffert.
  - Återfyllning.
- Kapseln.

<sup>7</sup> De redovisningar av KBS-3-metoden som ingick i de två första allsidiga FoU-program, som SKB åren 1986 och 1989 upprättade enligt bestämmelserna i kärntekniklagen, byggde i allt väsentligt på KBS-3-rapporten 1983. Det har därför inte bedömts motiverat att ta med uppgifter ur dessa två program i de tabellariska översikterna.

Närmast sammanfattas utvecklingen inom vart och ett av dessa teman med tonvikt på viktigare förändringar som skett samt huvudskälen för dessa<sup>8</sup>. Därefter ges en sammanfattande bild av SKB:s arbete med utveckling av metoder för säkerhetsanalys samt några fakta om SKB:s internationella forskningssamarbete. Avslutningsvis sammanfattas, i tabellform, innehållet i de tabellariska översikterna.

## Hanteringsgång och anläggningar

### Mellanlager

Tanken att anlägga ett centralt mellanlager för använt kärnbränsle fanns med i AKA-utredningens<sup>9</sup> förslag år 1976. Avsikten var att i ett sådant mellanlager förvara använt kärnbränsle i avvaktan på att det skulle upparbetas inom något eller några tiotal år. I den lägesrapport om direktförvaring av använt kärnbränsle som ingick i KBS-1-rapporten år 1977 behölls tanken på mellanlagring. Motivet var nu att det behövdes en tid för kylning och för avklingning av strålningen från bränslet innan det var lämpligt att kapsla in det för vidare transport till ett slutförvar.

I lägesrapporten år 1977 om direktdeponering skisserades att det använda bränslet skulle föras från kärnkraftverkens bassänger till ett ”centralt bränslelager” för en första period av mellanlagring under vatten i cirka 10 år. Efter denna tid skulle det placeras i rostfria behållare, vilka skulle förslutas hermetiskt och förvaras under vatten i ett annat bassängsystem under ytterligare cirka 30 år. Det använda bränslet skulle alltså förvaras torrt i dessa behållare. Motivet för denna hanteringsgång var att man ville undvika vattnets förmodade korroderande inverkan på det använda bränslet. Detta andra bassängsystem förutsattes vara lokaliserat i direkt anslutning till det centrala bränslelagret. Efter dessa totalt cirka 40 år av kylning och avklingning skulle det använda bränslet kunna kapslas in och därefter transporteras till ett slutförvar.

Den mer genomarbetade lösning som presenterades i KBS-2-rapporten 1978 innebar att det använda bränslet skulle förvaras i ett ”centralt mellanlager” under vatten i cirka 40 år. Utredningsarbetet hade visat att bränslets zirkaloykapsling blir intakt i kontakt med vatten under betydligt längre tid än den som behövs för kylning och avklingning innan inkapsling kan ske. Något behov att flytta använt kärnbränsle till särskilda behållare fanns alltså inte och därigenom bortföll också behovet av två skilda bassängsystem för mellanlagringen.

Planering och byggande av ett centralt mellanlager för använt kärnbränsle, kallat Clab, påbörjades i slutet av 1970-talet. Ansökan att uppföra anläggningen prövades, utöver av berörda myndigheter, även av regeringen. Dess tillstånd enligt då gällande 136 a § byggnadslagen lämnades i december 1978 och enligt då gällande atomenergilagen i september 1979; anläggningsarbete fick dock inte inledas före maj 1980. Anläggningen, som är belägen nära Oskarshamns kärnkraftverk, togs i bruk år 1985 och används fortfarande. Den har senare byggts ut och ett andra bergrum med förvaringsbassänger togs i bruk i början av år 2008.

### Inkapslingsanläggning

1977 års koncept innebar att de rostfria behållarna med använt kärnbränsle skulle föras till en inkapslingsanläggning. Där skulle de öppnas och bränslet kapslas in för slutförvaring. Inkapslingsanläggningen förutsattes vara belägen ovan mark i anslutning till ett slutförvar för det använda bränslet.

Grundtanken om en separat inkapslingsanläggning fanns med i KBS-2-rapporten 1978 och återkom även i KBS-3-rapporten 1983. I Fud-program 92 presenterade SKB idén att inkapslingsanläggningen borde vara lokaliserad i anslutning till Clab och i Fud-program 95 underströks att det var naturligt att även belysa alternativet att lokalisera den till samma plats som slutförvaret. Enligt Fud-program 98

<sup>8</sup> Läsaren uppmärksammas på att frågor kring berggrundens roll behandlas i rapporten *Platsval – Lokaliseringen av slutförvaret för använt kärnbränsle* (R-10-42).

<sup>9</sup> AKA-utredningen var en av regeringen år 1972 tillkallad, parlamentariskt sammansatt, kommitté med uppgift att utreda bland annat frågan om hanteringen av högaktivt avfall från kärnkraftverken.

var huvudalternativet att lokalisera inkapslingsanläggningen i anslutning till Clab, men alternativ kunde vara lokalisering vid slutförvaret, vid en befintlig kärnteknisk anläggning eller på någon annan plats. Detta synsätt upprepades i Fud-program 2001. I Fud-program 2004 presenterade SKB översiktligt hur en inkapslingsanläggning, förlagd i anslutning till Clab, skulle kunna utformas, samtidigt som man skisserade en fristående inkapslingsanläggning i Forsmarksområdet. År 2006 ansökte SKB om tillstånd enligt kärntekniklagen att uppföra en inkapslingsanläggning i anslutning till Clab och att driften vid de båda anläggningarna skulle integreras. Den planerade integrerade anläggningen för mellanlagring och inkapsling benämns Clink.

## Slutförvar

Studier av slutförvaring av högaktivt avfall i Sverige inleddes i mitten av 1970-talet på initiativ av AKA-utredningen. Redan från början förutsattes att förvaringen skulle ske någonstans i det kristallina urberg som är vanligt förekommande i Sverige. De första studierna avsåg förvaring av förglasat högaktivt avfall från upparbetning. Inom KBS-projektet utarbetades den så kallade KBS-1-rapporten som publicerades i december 1977. I den rapporten skisserades också ett slutförvar för använt icke upparbetat kärnbränsle. Detta förvar skulle bestå av ett system med parallella tunnlar på cirka 500 meters djup. Det inkapslade bränslet skulle deponeras horisontellt i tunnlar. I KBS-2-rapporten 1978 förutsattes en vertikal deponering i hål borrade från botten på tunnlar med en kapsel i varje deponeringshål.

I KBS-3-rapporten 1983 behölls samma utformning, men det tillades att anläggningen skulle vara förlagd till ett ”utvalt” bergparti och att den kunde utföras i ett eller flera plan, med en nivåskillnad om cirka 100 meter. I Fud-program 95 sades uttryckligen att en anläggning i ett plan är huvudalternativ. Från och med Fud-program 98 har anläggningens djup angetts till 400–700 meter.

Av Fud-program 92 framgår att SKB tog fasta på synpunkter som hade kommit fram i samband med myndighetsgranskningen av det närmast föregående programmet och som gick ut på att ett slutförvar borde byggas i två etapper. En första etapp skulle utgöras av så kallad demonstrationsdeponering, som tänktes omfatta ungefär en tiondel av det beräknade totala antalet kapslar. Efter en tids utvärdering skulle man sedan fortsätta med resterande kapslar. Samma tankegång återkom i Fud-program 95 och i Fud-program 98. Därefter har SKB övergått till att planera för vad som numera benämns ”provdrift” under några inledande år, varefter avsikten är att övergå till ”rutinmässig drift”.

I anläggningen för slutförvaring av det högaktiva avfallet efter upparbetning hade man tänkt sig vertikal deponering av de kapslar som avfallet skulle vara inneslutet i. Det innebar att kapslarna skulle deponeras stående i hål i golvet på förvaringstunnlar. När man inom KBS-projektet år 1977 övervägde hur deponering av använt kärnbränsle skulle ske kom man först, som nyss nämnts, fram till att horisontell deponering, det vill säga att placera kapslarna liggande i förvaringstunnlar, var att föredra. En anledning var att kapslarna för direktdeponering behövde göras längre än de kapslar som skulle innehålla avfall från upparbetning och därigenom kräva större tunnelhöjd. Dessutom skulle horisontell deponering ge möjlighet att åstadkomma betydligt tjockare buffert runt kapslarna. Men redan i KBS-2-rapporten 1978 återgick man till konceptet med vertikal deponering. Motivet var att man kommit fram till att kompakterade bentonitblock, nedsänkta i hål, skulle vara lämpligare som buffertmaterial än de blandningar av sand och bentonit som skisserats i lägesrapporten 1977. Vidare såg man möjligheter att minska kapslarnas längd och att konstruera maskiner som skulle kunna sänka ner kapslarna i sina hål utan att avsevärt öka tunnlarhöjden.

Även om vertikal deponering med en kapsel per hål har utgjort huvudalternativ för utformningen av slutförvaret alltsedan KBS-2-rapporten 1978, har andra utformningar studerats. Sedan slutet av 1980-talet har studiernas gällt dels olika alternativ för horisontell deponering, dels vertikal deponering med två kapslar i varje hål. I Fud-program 2004 redovisades två utformningar, nämligen antingen KBS-3V (vertikal deponering) med en kapsel per hål eller KBS-3H (horisonell deponering). Den närmare utformningen av KBS-3H förutsattes bli föremål för fortsatta studier i samverkan med företaget Posiva (SKB:s motsvarighet i Finland). Enligt Fud-program 2007 skulle arbetet med utvärdering av KBS-3H fortsätta. SKB bedömde att om utvärderingen utfaller positivt, så skulle det krävas cirka sex års utvecklingsarbete innan detta koncept har nått en med KBS-3V likvärdig teknisk nivå.

I KBS-2-rapporten år 1978 hade man tänkt sig att bränslestavarna, innan de placerades i kapslarna, skulle skiljas från bränsleelementens metalldelar, vilka skulle gjutas in i betongkokiller för deponering i ett separat slutförvar. Tankegången hade samband med att den 20 centimeter tjocka kapseln innebar begränsat utrymme för bränsleelementen, vilket skulle leda till behov av antingen större kapslar eller fler kapslar. Denna tankegång slopades i KBS-3-rapporten 1983, då man hade kommit fram till att det räckte med 10 centimeters kapseltjocklek. Det blev då möjligt att slippa ta isär bränsleelementen och att i stället placera dem *hela* i kapslarna. Denna idé, som har stora fördelar ur strålskyddssynpunkt, har behållits.

Frågan om det skulle vara möjligt att återta kapslar med använt kärnbränsle som har placerats i ett slutförvar fanns antydd i KBS-3-rapporten 1983. Den uppmärksammades av Statens råd för kärnavfallsfrågor i slutet av 1980-talet och berördes därefter av SKB i FoU-program 89. Frågan ansågs dock länge sakna aktualitet, även om den berördes översiktligt i både Fud-programmen 1992 och 1995. I Fud-program 98 presenterade SKB en analys av hur ett återtag före förslutning skulle kunna ske. Analysen tog främst sikte på ett eventuellt återtag av de 400 första kapslar som tänktes bli deponerade under en första etapp. I Fud-programmen 2001, 2004 och 2007 fördjupades analysen, varvid bland annat redovisades resultatet av praktiska försök med återtag som hade utförts i Äspölaboratoriet.

## Buffert och återfyllning

Med buffert avses det material som ska omge kapseln i slutförvaret och fylla utrymmet mellan kapsel och berg. Återfyllning är det material som ska installeras i deponeringstunnlar för att återfylla dem.

### Buffert

Lägesrapporten 1977 byggde på horisontell deponering av kapslarna. Dessa skulle ligga på en bädd av och även omges av blandningar av kvartssand (80–90 %) och bentonit (10–20 %). Det var samma buffertmaterial som man hade tänkt använda vid deponering av de betydligt mindre kapslarna med förglasat högaktivt avfall från upparbetning, som KBS-1-rapporten primärt handlade om. Materialet hade valts med tanke på mekanisk stabilitet och långtidsbeständighet, dess låga genomsläpplighet för vatten samt dess jonbytande förmåga. Buffertens tjocklek skulle vara minst 95 centimeter.

I KBS-2-rapporten 1978 föreslogs i stället vertikal deponering efter i princip samma idé som i KBS-1-rapporten hade använts för det förglasade högaktiva avfallet. Men det faktum att bland annat kraven på kapselns livslängd är avsevärt större vid direktdeponering än för förglasat avfall från upparbetning, innebar att högre krav måste ställas på bufferten. Lösningen blev att omge kapslarna i deponeringshålen med block av högkompakterad bentonit, kombinerat med bentonit i pulverform i spalten mellan berget och blocken. Vid vattenupptagning sväller bentoniten kraftigt. Eftersom svällningen begränsas av det omgivande berget (och återfyllningen i tunneln ovanför deponeringshålen) uppkommer ett starkt svälltryck. Detta gör att alla spalter mellan och kring blocken täpps igen och en homogen buffert av tät lera bildas runt kapseln. Lerans svälltryck hindrar uppkomsten av vattenförande passager intill kapseln. Vidare pressas bentonit in i mindre sprickor i deponeringshålets väggar och tätar dessa sprickor. Leran får relativt hög täthet, god bärighet, god värmeledningsförmåga, hög jonbyteskapacitet, är långtidsstabil och innehåller inte några beståndsdelar som på ett betydande sätt skulle kunna minska kapselns korrosionsbeständighet. En buffert av högkompakterad bentonit kan ges en avsevärt mindre tjocklek än som bedömts önskvärt med en sand-bentonitblandning. I rapporten angavs tjockleken till 36,5 centimeter.

Konceptet behölls i KBS-3-rapporten 1983, men en mindre ändring av kapselns diameter ledde till att även buffertens tjocklek minskades något, då till 35 centimeter och senare till 36 centimeter.

I Fud-program 92 aviserade SKB fortsatta studier av utveckling av teknik för tillverkning av högkompakterade bentonitblock samt av teknik för injektering. Ett resultat redovisades i Fud-program 95; högkompakterad bentonit i form av ”ananasringar” förutsattes komma att omge kapslarna i deponeringshålen. Dessa ”ananasringar” skulle kunna tillverkas antingen med isostatisk pressning eller med enaxlig pressning. SKB aviserade i Fud-program 95 också fortsatta studier av egenskaperna



hos olika typer av bentonit samt av processen för transport genom bentonitbufferten av den vätgas som kan bildas om kapseln skadas och vatten kommer i kontakt med den inre behållaren av järn.

Från Fud-program 98 och framåt har arbete pågått med att ytterligare precisera buffertens funktioner och därmed också vilka typer av bentonit som är bäst lämpade i detta sammanhang.

## Återfyllning

Av lägesrapporten 1977 kan utläsas att man utgick från att återfyllning av slutförvaret skulle ske med samma material som skulle användas som buffert, alltså en blandning av kvartssand (80–90 %) och bentonit (10–20 %). I KBS-2-rapporten 1978 uttrycktes samma idé i klartext, liksom även i KBS-3-rapporten 1983. I den rapporten framhölls också att återfyllningen antingen kunde ske successivt efter hand som deponeringen avslutats inom viss del av slutförvaret, eller vid ett och samma tillfälle inför förslutningen av hela slutförvaret.

I Fud-program 1992 redovisades pågående studier kring teknik för återfyllning av tunnlar och schakt med sand/bentonitblandningar. I det följande Fud-programmet, 1995, hade man kommit fram till att i första hand studera en blandning som skulle bestå av bergkross som ballastmaterial och med 10–20 procent inblandning av bentonit. Det bedömdes nu lämpligast att återfylla och försluta deponeringstunnlarna successivt, efter hand som deponeringen avslutats. Samma ställningstagande redovisades i Fud-program 98, där SKB också kunde redovisa att praktiska försök hade påbörjats i Äspölaboratoriet.

Enligt Fud-program 2001 var en blandning av 15 procent bentonit och 85 procent bergkross lämpligast om slutförvaret förlades till en plats med sött grundvatten. Om den valda platsen hade ett saltare grundvatten kunde andelen bentonit behöva ökas. De exakta proportionerna mellan bentonit och bergkross kan alltså bestämmas först när grundvattenförhållandena på en vald plats är kända.

I både Fud-program 2004 och 2007 underströks att återfyllningens funktion inte är att utgöra en barriär i sig. I stället är dess funktion att åstadkomma att bufferten och berget ska kunna fullgöra sina barriärfunktioner. I Fud-program 2004 redovisades tre alternativ för utförande av återfyllningen. Ett första var att blandningen av bentonit och bergkross kompakteras i deponeringstunneln. Ett andra var att kompaktera bentonitlera på plats i tunneln (olika typer av bentonitleror tänkbara). Som ett tredje alternativ angavs att förkompakterade block av bentonitlera (olika typer av leror tänkbara) skulle läggas in i tunneln. Fud-program 2007 innehöll en bedömning av för vilka teknikområden det antingen finns känd och beprövad teknik som kan appliceras och för vilka områden det behövs teknikutveckling.

## Kapseln

I lägesrapporten 1977 förutsattes att kapseln skulle tillverkas av koppar eller av ett keramiskt material. Valet av material skiljde sig från vad som hade valts för de betydligt mindre kapslarna för förglasat avfall från upparbetning, där förslaget innebar kapslar med ett hölje av titan med en blyvägg för strålskärmning mellan det förglasade avfallet och titanhöljet. Det argument som anfördes för att välja koppar eller ett keramiskt material var – förenklat uttryckt – att det behövs ett material med betydligt längre livslängd än vad som kunnat beläggas för titan därför att strålningen hos använt kärnbränsle avtar långsammare än hos förglasat avfall. En sammanvägning av tillgång, ekonomi och tillverkningsbarhet hade också gjorts.

KBS-2-rapporten 1978 förordade kapslar av koppar, men studier av olika keramiska material skulle fortsätta. Tålighet mot yttre last skulle skapas på så sätt, att kapseln efter fyllning med bränslestavar skulle göras massiv. Detta kunde åstadkommas genom att bränslestavarna (sedan de demonterats från bränsleelementens metalldelar) placerades i den förtillverkade kapseln, hålrummen fylldes med smält bly och ett tättslutande lock applicerades med elektronstrålesvetsning. Som motiv för att välja koppar som kapselmateriell framhölls två huvudskäl. Det ena var att koppar är ett praktiskt användbart material som är termodynamiskt stabilt i närvaro av vatten och att andra metaller med denna egenskap (silver, guld, platina) är uteslutna av ekonomiska skäl. Det andra skälet var att kopparkapslar (med den inkapslingsteknik som förutsattes) har tillräcklig hållfasthet för att motstå de mekaniska påkänningar som kan förekomma.

I KBS-3-rapporten 1983 förutsattes att kapslarna skulle tillverkas av koppar. Liksom i KBS-2-rapporten 1978 bedömdes att tålighet mot yttre last skulle åstadkommas genom att kapseln efter fyllning skulle göras massiv. Men en viktig skillnad var att kapslarna nu skulle fyllas med *hela* bränsleelement. Två alternativa inkapslingssätt presenterades. Båda var avsedda att åstadkomma en massiv kropp. Det ena alternativet gick ut på att bränsleelementen placerades i den förtillverkade kapseln, hålrummen fylldes med smält bly och ett tättslutande lock applicerades med elektronstrålesvetsning, alltså i princip samma tillvägagångssätt som enligt KBS-2-rapporten 1978. Det andra alternativet innebar att bränsleelementen skulle placeras i den förtillverkade kapseln, hålrummen fyllas med kopparpulver och ett lock monteras, varefter hela paketet skulle behandlas i en ugn för het isostatisk pressning och på så sätt bli en solid kropp.

När Fud-program 92 presenterades hade utvecklingsarbetet resulterat i ett reviderat koncept för kapseln. Som huvudalternativ tänkte man sig nu en cylinder av stål med ett yttre hölje av koppar. Tålighet mot yttre last skulle uppnås genom stålcyllindern, där bränsleelementen skulle placeras. Genom att processen vid själva inkapslingen kunde göras "kall", det vill säga vid rumstemperatur, blev den mindre komplicerad än de år 1983 skisserade processerna med smält bly, alternativt kopparpulver och följande het isostatisk sammanpressning av kopparcyllindern. Varje kapsel skulle rymma antingen tolv BWR-element eller fyra PWR-element. Olika inkapslingssätt skulle utredas, bland annat att fylla hålrummen mellan bränsleelementen med sand eller glaspärlor. Det år 1983 presenterade alternativet med blyfyllning behölls dock som ett reservalternativ.

Resultatet av fortsatt utvecklingsarbete framgick av Fud-program 95. Huvudalternativet var nu att i stället för stålcyllinder använda en gjuten innerbehållare av stål, järn eller gjutgods med hål (positioner) för bränsleelementen. Den gjutna innerbehållaren skulle ge den nödvändiga hållfastheten mot yttre last. Det yttre höljet skulle som tidigare utgöras av koppar. Antalet positioner skulle fortfarande vara tolv för BWR-element och fyra för PWR-element. Denna utformning med angivet antal positioner för antingen PWR- eller BWR-element har därefter behållits. Ännu år 1995 sågs emellertid 1983 års utformning som ett reservalternativ.

I Fud-program 98 beskrevs kapseln som en yttre korrosionsbarriär av koppar och en tryckbärande insats av segjärn. Insatsen skulle gjutas i ett stycke tillsammans med sin botten. Insatsens lock skulle vara av stål och skruvas fast. I senare Fud-program har denna lösning behållits i princip. I Fud-program 2004 och 2007 rapporterades att provtillverkning av segjärnsinsatser pågick.

Olika alternativ för tillverkning av kopparhöljet har redovisats sedan Fud-program 92. I Fud-program 2004 pekade SKB på följande fyra, nämligen rullformning, extrudering, dornpressning och smide. I Fud-program 2007 drogs slutsatsen att de tre sistnämnda metoderna verkar mest intressanta.

Som nämnts ovan tänkte man sig i KBS-3-rapporten 1983 att kopparkapselns lock skulle appliceras med elektronstrålesvetsning. Denna metod sågs länge som ett förstahandsalternativ. Men i Fud-program 92 antydde ett annat alternativ, nämligen friktionssvetsning. Efter ett intensivt utvecklingsarbete sedan mitten av 1990-talet föll valet år 2005 på detta alternativ.

Utvecklingsarbetet kring kapseln har också lett till att de yttre dimensionerna har varierat. Den horisontellt deponerade kapsel av koppar som skisserades i 1977 års lägesrapport hade en längd av 490 centimeter och en yttre diameter av 91 centimeter. Kopparhöljets tjocklek skulle vara 20 centimeter, vilket innebar att den inre diametern skulle vara 51 centimeter. I lägesrapporten skisserades också en keramisk kapsel med längden 300 centimeter, en yttre diameter av 50 centimeter och en inre diameter av 30 centimeter.

Den kapsel för vertikal deponering som förutsattes i KBS-2-rapporten 1978 var något mindre, med en längd av 470 centimeter och en yttre diameter av 77 centimeter. Eftersom tjockleken av kopparhöljet fortfarande var 20 centimeter, blev den inre diametern endast 37 centimeter. I den mer genomarbetade KBS-3-rapporten 1983 gjordes bedömningen att en vägg-tjocklek av 10 centimeter koppar var tillräcklig. Eftersom kapselns yttre diameter nu förutsattes vara 80 centimeter, kunde innerdiametern ökas till 60 centimeter. Det redovisade motivet för att övergå från koppartjockleken 20 centimeter till 10 centimeter var, något förenklat uttryckt, att enligt gjorda beräkningar var tiden för genomfrätning av en kapsel med både 10 och 20 centimeters tjocklek mer än en miljon år, både i ett sannolikt och i ett ogynnsamt fall. En ytterligare följd av minskningen av koppartjockleken blev att kapselns längd nu kunde minskas med 20 centimeter till 450 centimeter.

Övergången till en stålkapsel med hölje av koppar enligt Fud-program 92 innebar ytterligare justeringar. Man räknade nu med en längd av 485 centimeter och en yttre diameter av 88 centimeter. Kapselväggens tjocklek bedömdes fortfarande behöva vara 10 centimeter, bestående av fem centimeter stål och fem centimeter koppar. Med denna vägg tjocklek blev innerdiametern 68 centimeter. Övergången till en gjuten tryckbärande insats med positioner för bränsleelementen enligt Fud-program 95 föranledde fortsatta studier av vilka exakta dimensioner kapseln skulle ha. Väggtjockleken skulle dock fortfarande vara minst 10 centimeter, varav minst fem centimeter för den gjutna innerbehållaren och minst fem centimeters kopparhölje. Man gjorde nu bedömningen att det räckte med ett kopparhölje om fem centimeter, eftersom man inte lyckats identifiera några processer som kan leda till genombrott på kapseln på grund av korrosion av kopparhöljet på kortare tid än en miljon år.

I Fud-program 98 och Fud-program 2001 redovisade SKB utvecklingsarbete med syfte att kunna reducera kopparhöljets tjocklek till tre centimeter. Slutsatsen, efter provtillverkning av enstaka rör med tre och fyra centimeters tjocklek, blev dock att behålla fem centimeter.

Utveckling av metoder för oförstörande provning av kapslar har pågått sedan mitten av 1990-talet. I Fud-program 2007 identifierades ett antal frågeställningar vid kapseltillverkning med anknytning dels till materialfrågor, dels till hållfasthetsfrågor där det krävdes ytterligare insatser.

## Utveckling av metoder för säkerhetsanalys

Den första mer genomarbetade säkerhetsanalysen för ett slutförvar för använt kärnbränsle presenterade SKB i *KBS-3-rapporten 1983* (en säkerhetsanalys ingick också i *KBS-2-rapporten 1978*).

I FoU-programmen 86 och 89 aviserade SKB fortsatt arbete med att utveckla den säkerhetsanalytiska metodiken. Vid granskningen av FoU-program 86 hade framförts önskemål om att SKB skulle utarbeta en lättillgänglig och klargörande skrift om metoder och arbetssätt inom säkerhetsanalys. SKB konstaterade i FoU-program 89 att man hade underskattat resursbehovet för att ta fram en sådan skrift och aviserade samtidigt att en säkerhetsanalys, benämnd SKB 91, skulle genomföras för att kunna bedöma den säkerhetsmässiga betydelsen av förläggningsplatsens geologi. Den analysen skulle utgå från ett sådant förvar som hade förutsatts i *KBS-3-rapporten*, men i mindre grad än denna utnyttja säkerhetsmarginaler och pessimistiska förenklingar för att etablera en viss säkerhetsnivå.

Säkerhetsanalysen *SKB 91* avsåg ett fiktivt slutförvar och förelåg i maj 1992. För att med olika beräkningar kunna utnyttja verkliga data från berggrundsundersökningar, använde SKB data från ett område vid Finnsjön som hade undersökts tidigare. Analysen granskades av en arbetsgrupp inom Statens kärnkraftinspektion, som menade att SKB 91 var ett lovvärt initiativ, samtidigt som gruppen kritiserade analysen för alltför långtgående slutsatser. I Fud-program 92 presenterade SKB ett program för den säkerhetsanalytiska verksamheten under de närmaste sex åren. I programmet ingick vidareutveckling av analysmodeller och analysmetodik. Granskningen av Fud-program 92 ledde till att regeringen krävde att SKB skulle komplettera programmet med bland annat ett program för de säkerhetsanalyser som SKB avsåg att upprätta.

Det program för säkerhetsanalyser som SKB presenterade i sin komplettering av Fud-program 92 ansåg Kärnkraftinspektionen vara ändamålsenligt. KASAM – Statens råd för kärnavfallsfrågor betecknade programmet som ett framsteg. I Fud-program 95 nämnde SKB att man höll på att ta fram en mall för säkerhetsrapporter.

Mallen presenterades i december 1995 i dokumentet *SR 95 Mall för säkerhetsrapporter med beskrivande exempel*. Dokumentet utgjorde ingen säkerhetsanalys eller säkerhetsrapport. Den presenterades som en synopsis för kommande säkerhetsrapporter med inriktning på den långsiktiga säkerheten för ett slutförvar för använt kärnbränsle. I denna synopsis ingick bland annat analyserande redovisningar av hur förvaret skulle utvecklas med tiden i ett antal valda scenarier. Redovisningarna utgjorde samtidigt en detaljerad genomgång av de metoder och modellverktyg som SKB vid den tidpunkten hade till förfogande för kommande säkerhetsanalyser. SR 95 kommenterades i positiva ordalag av både Kärnkraftinspektionen och KASAM.

Från mitten av 1980-talet hade man inom Statens kärnkraftinspektion börjat att mer systematiskt bygga upp kompetens och resurser för att säkerställa sin förmåga att bedöma SKB:s säkerhetsanalytiska arbete. Denna kompetens- och resursuppbyggnad skedde främst inom ramen för två projekt, vilka genom Kärnkraftinspektionens försorg blev föremål för internationell granskning. Det första, *Projekt -90*, innebar en säkerhetsanalys av ett KBS-3-förvar, placerat på en hypotetisk plats med egenskaper som förutsattes vara typiska för svenska förhållanden. I det andra projektet, *SITE 94*, utnyttjade man verkliga data om berggrunden vid Äspölaboratoriet, data som SKB hade ställt till förfogande.

I Fud-program 98 meddelade SKB att arbete pågick med en ny säkerhetsanalys, kallad SR 97. I denna var avsikten att analysera och jämföra förhållandena på tre olika platser i Sverige.

*Säkerhetsanalysen SR 97* publicerades i slutet av år 1999. Analysen hade fyra syften, nämligen att:

- Ge underlag för att påvisa möjligheten att finna en plats i svensk berggrund där KBS-3-metoden uppfyller de krav på långsiktig säkerhet och strålskydd som anges i Kärnkraftinspektionens och Strålskyddsinstitutets föreskrifter.
- Demonstrera metodik för säkerhetsanalys.
- Ge underlag för att precisera de faktorer som ligger till grund för val av områden för platsundersökningar och härleda vilka parametrar som behöver bestämmas och vilka övriga krav som bör ställas på en platsundersökning.
- Ge underlag för att härleda preliminära funktionskrav på kapseln och de övriga barriärerna.

Kärnkraftinspektionen och Strålskyddsinstitutet hade, som ett led i sin granskning av SR 97, uppdragit åt Kärnenergi byrån inom Organisationen för ekonomiskt samarbete och utveckling (Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency, OECD/NEA) att låta en internationell expertgrupp granska rapporten. De båda myndigheterna sammanfattade sina slutsatser av granskningen av SR 97 i sex punkter:

- Det har inte kommit fram några omständigheter som gör att geologisk förvaring enligt SKB:s metod skulle ha avgörande brister i förhållande till de krav på säkerhet och strålskydd som myndigheterna kräver.
- De beståndsdelar som krävs för en allsidig belysning av säkerhet och strålskydd finns.
- Metodiken för säkerhetsanalys har förbättrats inom flera viktiga områden, till exempel vad gäller dokumentation av processer och egenskaper som kan påverka slutförvarets funktion, och utveckling av modeller för säkerhetsanalysens beräkningar.
- Metodiken har dock en del brister, till exempel när det gäller att ange vilka framtida händelser som säkerhetsanalysen ska beskriva. Ogynnsamma förhållanden som kan påverka ett slutförvars framtida säkerhet har behandlats alltför lite.
- SKB säger att resultaten har använts i arbetet med att formulera krav och önskemål på berget vid ett slutförvar. Myndigheterna menar att det inte framgår av SR 97 hur detta har gjorts. Kopplingen mellan säkerhetsanalys och platsundersökningar bör förbättras.
- En säkerhetsanalys av ett slutförvar för använt kärnbränsle kommer alltid att vara behäftad med osäkerheter och brister i kunskapsunderlaget. Man blir då beroende av tillgång till experter som kan göra bästa möjliga bedömningar. SKB bör ta fram bättre procedurer för expertbedömningar.

I Fud-program 2001 redogjorde SKB för de slutsatser som hade dragits av SR 97 och vid granskningen av den. Arbetet med säkerhetsanalyser var nu närmast inriktat på att ta fram en så kallad Metodrapport för de säkerhetsanalyser som skulle baseras på data från de kommande platsundersökningarna. I den rapporten skulle bland annat behandlas:

- Format för systembeskrivningen och planerna på en så kallad Processrapport.
- Scenariehantering.
- Metod för dataval till konsekvensanalyser.
- Metod för probabilistiska beräkningar, inklusive rollfördelning mellan analytiska och numeriska modeller.

- Naturliga analogiers roll i kommande analyser.
- Möjligheterna till återkoppling från säkerhetsanalyser till platsundersökningarna och förvarsutformningen.
- Program för kommande säkerhetsanalyser, inklusive eventuella delanalyser inför de omfattande analyser som ska baseras på data från platsundersökningarna.

SKB förklarade i Fud-program 2001 också att avsikten var att ta fram en säkerhetsanalys som underlag för kommande ansökan att bygga en inkapslingsanläggning samt en ytterligare säkerhetsanalys som underlag för kommande ansökan att bygga ett slutförvar för använt kärnbränsle.

Vikten av en internationell granskning av säkerhetsanalyserna underströks av Statens kärnkraftinspektion, liksom av regeringen i dess beslut i december 2002 med anledning av Fud-program 2001.

Av Fud-program 2004 framgick att arbetet med säkerhetsanalyserna hade påbörjats och att de båda analyserna gick under arbetsnamnen *SR-Can* (efter engelskans ”canister”, det vill säga kapsel) respektive *SR-Site* (efter engelskans ”site”, det vill säga plats).

Arbetet med *SR-Can* gavs emellertid under år 2005 en förändrad funktion. *SR-Can* skulle inte längre utgöra något formellt underlag för tillståndsansökan. I stället skulle den fylla funktionen att utgöra ett förberedande steg inför säkerhetsanalysen *SR-Site*.

SKB publicerade i oktober 2006 huvudrapporten från *SR-Can*. Rapporten angavs ha tre syften, nämligen att:

- Preliminärt bedöma säkerheten för KBS-3-förvar vid Forsmark och Laxemar med kapslar enligt inlämnad ansökan för inkapslingsanläggningen (härmed avsågs den ansökan om tillstånd enligt kärntekniklagen avseende ”Inkapslingsanläggning och centralt mellanlager för använt kärnbränsle vid Simpevarp, Oskarshamns kommun” som SKB i oktober 2006 inlämnade till Statens kärnkraftinspektion).
- Ge återkoppling till kapselutveckling, till anläggningsutformning för slutförvaret, till fortsatta platsundersökningar, till SKB:s program för forskning kring frågor av betydelse för långsiktig säkerhet samt till kommande säkerhetsanalyser.
- Bereda Statens kärnkraftinspektion och Statens strålskyddsinstitut tillfälle att granska SKB:s preliminära säkerhetsredovisning inför tillämpningen i ansökningarna om ett slutförvar för använt kärnbränsle.

Den metodik som hade utvecklats för *SR-Can* var uppbyggd i tio olika steg, vilkas innehåll beskrevs utförligt.

De båda tillsynsmyndigheterna Kärnkraftinspektionen och Strålskyddsinstitutet genomförde åren 2006–2008 en granskning av *SR-Can*. Resultatet presenterades i en gemensam rapport i mars 2008. I rapporten betecknades *SR-Can* som:

”en i huvudsak bra utgångspunkt för det fortsatta arbetet med att ta fram *SR-Site* och underlag för ansökan om att bygga ett slutförvar för använt kärnbränsle i Sverige. I jämförelse med tidigare säkerhetsanalyser har *SR-Can* baserats på en bättre och mer fullständig metodik. Det framgår också tydligt att SKB:s omfattande och konkreta forsknings- och utvecklingsarbete under senare år har skapat en mera realistisk och välgrundad bas för säkerhetsanalysen. Här ingår bl a platsundersökningarna i Forsmark och Laxemar, utveckling och tillverkning av kopparkapslar samt försök och demonstrationer vid Äspölaboratoriet. SKB har också jämfört med tidigare säkerhetsanalyser genomfört en fullständigare och mera integrerad modellering av hur slutförvaret påverkas av stora klimatförändringar som kan förväntas på mycket lång sikt t ex kommande istider och perioder med permafrost. *SR-Can* har dock i vissa avseenden luckor och avsnitt av mycket preliminär karaktär. Myndigheternas granskning har fokuserat på att identifiera brister som behöver åtgärdas inför *SR-Site*, men utan att föregå den granskning som då kommer att göras.”

Myndigheterna sammanfattade sina huvudsatsatser från granskningen av *SR-Can* i följande fem punkter:

- SKB:s metodik för säkerhetsanalys är i huvudsak i överensstämmelse med myndigheternas föreskriftskrav, men delar av metodiken behöver vidareutvecklas inför en tillståndsansökan.

- Kvalitetssäkringen av säkerhetsanalysen är otillräcklig.
- Inför tillståndsansökan behövs ett bättre kunskapsunderlag kring vissa kritiska processer med potentiellt stor påverkan på risken från slutförvaret, bland annat erosion av buffert i deponeringshål.
- SKB behöver styrka att det antagna initialtillståndet hos slutförvaret är realistiskt och uppnåeligt.
- Redovisningen av risken för tidiga utsläpp bör förstärkas.

Säkerhetsanalysen SR-Site kommer att ingå i SKB:s ansökningar om att få bygga och driva ett slutförvar för använt kärnbränsle.

## Internationellt forskningssamarbete

Alltsedan starten av KBS-projektet hösten 1976 har samarbete i olika former med utländska experter och internationella organisationer varit en integrerad del av SKB:s forsknings- och utvecklingsarbete. Kapitel 10 ger en bild av detta samarbete under perioden från år 1976 fram till nuläget.

År 1977 inleddes ett svenskt-amerikanskt samarbete, med SKB och Department of Energy i USA som finansiärer, för att i den nedlagda järnmalmgruvan i Stripa, norr om Lindesberg, utveckla teknik för att mäta termomekaniska, geofysiska och geokemiska egenskaper i graniten. Arbetet väckte ett brett internationellt intresse, vilket år 1980 resulterade i det internationella så kallade *Stripa-projektet*. I projektet deltog åtta länder med OECD/NEA som huvudman och SKB som samordnande part. Forskningen var inriktad på bland annat hydrogeologiska undersökningar av Stripagraniten, spårämnesförsök i enkla och komplexa spricksystem, kemiska undersökningar av grundvattnet, teknik för att upptäcka och karakterisera spricksystem, studier av bentonitlera för användning som återfyllnings- och tätmassa i en sprickfylld berggrund, karakterisering och bedömning av en begränsad bergvolym och dess egenskaper, provning och utvärdering av långtidsstabiliteten hos material som kan användas för att täta sprickor i berget samt utveckling av teknik för att injektera dessa material i bergets sprickor. När projektet avslutades år 1992 hade det resulterat i närmare 170 rapporter.

SKB deltog under denna tid aktivt även i fyra större internationella forskningsprojekt som under 1980-talet initierades av Statens kärnkraftinspektion och som var inriktade på bland annat utveckling av olika datorprogram för beskrivning av hur radionuklider transporteras i berggrunden. Projekten gick under beteckningarna INTRACOIN, HYDROCOIN, INTRAVAL och DECOVALEX (för uttydningar av dessa benämningar, se avsnitt 10.7).

Under 1980-talet startades, med bland andra SKB som initiativtagare, ett antal internationella projekt med syfte att undersöka så kallade *naturliga analogier*. Härmed avses fenomen i naturen som kan belysa bland annat hur och i vilken mån naturlig spridning av radioaktiva ämnen har skett under förhållanden som liknar dem som skulle råda i ett slutförvar för högaktivt kärnavfall eller använt kärnbränsle. Bland mer kända projekt kan nämnas *Poços de Caldas (Brasilien)*, *Cigar Lake (Kanada)* och *Oklo (Gabon)*.

Forskningssamarbete med *Finland* etablerades inom ramen för Stripa-projektet och har sedan år 1988 haft en betydande omfattning. SKB:s samarbetar numera nära med sin motsvarighet i Finland, det finska företaget Posiva. Detta samarbete har successivt utvecklats till allt fler områden. I avsnitt 10.9 finns en sammanställning av de 40–50 ämnesområden som samarbetet har omfattat.

Verksamheten i *Äspölaboratoriet* väckte tidigt stort internationellt intresse. I Fud-program 95 redovisade SKB avtal om deltagande med organisationer från Finland, Frankrike, Japan, Kanada, Schweiz, Storbritannien, Tyskland och USA. Även Spanien har deltagit. Numera deltar, förutom SKB, åtta organisationer från sju länder (Finland, Frankrike, Japan, Kanada, Schweiz, Tjeckien och Tyskland) i forskningen. Det praktiska samarbetet har skett genom att organisationerna har haft personal på plats i Äspö och deltagit i genomförandet av olika experiment. De utländska organisationerna har också haft möjlighet att företa experiment som enbart har haft intresse för den egna organisationen.

Metoder för att *svetsa på locket till kopparkapseln* har utvecklats i ett nära samarbete med The Welding Institute i Storbritannien.

## Översikt av utvecklingen av KBS-3-metoden

De redovisningar av KBS-3-metoden som ingick i de två första allsidiga FoU-program, som SKB åren 1986 och 1989 upprättade enligt bestämmelserna i kärntekniklagen, byggde i allt väsentligt på KBS-3-rapporten 1983. Det har därför inte bedömts motiverat att ta med uppgifter ur dessa två program i de tabellariska översikterna.

### Hanteringsgång och anläggningar

#### Mellanlager

Lägesrapport 1977 (KBS-1-rapporten)	KBS-2-rapport 1978	KBS-3-rapport 1983	Fud-program 92	Fud-program 95	Fud-program 98	Fud-program 2001	Fud-program 2004	Fud-program 2007
Använt kärnbränsle förs från kärnkraftverken till ett "centralt bränslelager" för en första period av mellanlagring under vatten i cirka tio år.  Därefter placeras det använda kärnbränslet i rostfria behållare som försluts hermetiskt och förvaras under vatten i ytterligare cirka 30 år.  De båda anläggningarna lokaliseras i direkt anslutning till varandra.	Använt kärnbränsle förs från kärnkraftverken till ett centralt mellanlager där det förvaras under vatten i cirka 40 år.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Clab i drift sedan 1985.	Clab i drift sedan 1985.	Clab i drift sedan 1985.	Clab i drift sedan 1985.	Clab i drift sedan 1985.	Clab i drift sedan 1985. (Ytterligare ett bergtrum med förvaringsbassänger togs i bruk 2008.)

#### Inkapslingsanläggning

Lägesrapport 1977 (KBS-1-rapporten)	KBS-2-rapport 1978	KBS-3-rapport 1983	Fud-program 92	Fud-program 95	Fud-program 98	Fud-program 2001	Fud-program 2004	Fud-program 2007
De rostfria behållarna förs till en inkapslingsanläggning där de öppnas och bränslet kapslas in för slutförvaring.	Det använda bränslet förs till en anläggning för inkapsling.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.
Inkapslingsanläggningen förutsätts vara belägen ovan mark i anslutning till ett slutförvar.	Ingen ändring jämfört med Lägesrapport 1977.	Ingen ändring jämfört med Lägesrapport 1977.	Inkapslingsanläggning förutsätts bli förlagd i anslutning till Clab.	Inkapslingsanläggning förutsätts bli förlagd i anslutning till Clab, men lokalisering till samma plats som för slutförvaret ska belysas.	Huvudalternativet är lokalisering i anslutning till Clab. Men alternativa lokaliseringar möjliga.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.	Huvudalternativet är lokalisering i anslutning till Clab, utformningen presenteras översiktligt. Samtidigt skisseras möjligheten av en fristående inkapslingsanläggning i Forsmarksområdet.	Ansökan enligt kärntekniklagen att uppföra inkapslingsanläggning (integrerad med Clab) inlämnad år 2006.  Den integrerade anläggningen för mellanlager och inkapsling benämns Clink.

## Slutförvar

Lägesrapport 1977 (KBS-1-rapporten)	KBS-2-rapport 1978	KBS-3-rapport 1983	Fud-program 92	Fud-program 95	Fud-program 98	Fud-program 2001	Fud-program 2004	Fud-program 2007
Förvaret består av ett system av parallella förvaringstunnlar på cirka 500 m djup i kristallint urberg, med tillhörande transport- och servicetunnlar och schakt.	Ingen ändring jämfört med Lägesrapport 1977.	Förvaret består av ett system av parallella förvaringstunnlar på cirka 500 m djup i ett utvalt bergparti. Förvaret kan utföras i ett eller flera plan (nivåskillnad cirka 100 m).	Ingen ändring jämfört med KBS-3-rapporten 1983.	Ingen ändring jämfört med KBS-3-rapporten 1983, men deponeringstunnlar i <i>ett plan</i> sågs uttryckligen vara huvudalternativ.	Ingen ändring jämfört med KBS-3-rapporten 1983, men tunnelsystemet anges ligga på 400–700 m djup i <i>ett plan</i> . Även alternativet med två plan studeras.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.
			Utbyggnad i två etapper: • Demonstrationsdeponering, cirka 500 kapslar. • Därefter resterande kapslar.	Utbyggnad i två steg: • Demonstrationsdeponering, cirka 400 kapslar. • Därefter resterande kapslar.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.	Övergripande tidsplan: Inledande drift startar 2015, reguljär drift startar i början av 2020-talet. Under den inledande driften deponeras 200–400 kapslar.	Övergripande tidsplan: Förvarssystemet ska kunna tas i drift år 2017, reguljär drift från år 2023.	Övergripande tidsplan: Provdraft av hela systemet år 2020, rutinmässig drift från år 2022.
Horisontell deponering i förvaringstunnlar.	Vertikal deponering i hål i förvaringstunnlar.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.
	Förvaringshål borras i deponeringstunnlarnas golv med 1,5 m diameter, 7,7 m djup.  I varje hål deponeras 1 kapsel.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978, utom att förvaringshålens djup nu anges till 7,5 m. <i>Motiv:</i> Ändring av kapselns ytterdimensioner.	Ingen ändring jämfört med KBS-3-rapporten 1983 utom att förvaringshålens djup nu anges till 7,58 m och diametern till 1,6 m. <i>Motiv:</i> Ändring av kapselns ytterdimensioner.	Inga uppgifter om deponeringshålens diameter och djup.  Studier dels av horisontell placering i hål borrade i tunnelväggen åt båda håll, dels av vertikal deponering med 2 kapslar per hål.	Inga uppgifter om deponeringshålens diameter och djup.  Vertikal deponering med 1 kapsel per hål är huvudalternativ, men fortsatta studier av vertikal deponering med 2 kapslar per hål samt av deponering i horisontella hål.	Inga uppgifter om deponeringshålens diameter och djup.  Studier av fyra alternativa utformningar av KBS-3 redovisas: • Vertikal deponering, 1 alternativt 2 kapslar per hål. • Horisontell deponering, 1 alternativt flera kapslar per hål. Slutsatser: • Vertikal deponering, 1 kapsel per hål kvarstår som huvudalternativ. • Fortsatta studier av horisontell deponering.	Hålens diameter: 1,75 m. Hålens djup: Anges inte.  Två alternativ. Utöver KBS-3V med 1 kapsel per hål studeras "att kapslarna deponeras i långa horisontella hål" (upp till 300 m) som utgår från deponeringstunnlarna och vars diameter är 1,85 m (KBS-3H).	Ingen ändring jämfört med Fud-program 2004.  Fortsatt utvärdering av KBS-3H, tillsammans med Posiva (Finland). Om utvärderingen utfaller positivt förutses utvecklingsarbete under cirka sex år för att nå en med KBS-3V likvärdig teknisk nivå.
	Före inkapsling skiljs bränslestavarna från elementens metaldelar, som gjuts in i betongkokiller för deponering i ett separat slutförvar.	Bränsleelementen stoppas in <i>hela</i> i kapslarna, bränsleboxar tas dock bort från BWR-element och gjuts in i betongkokiller för deponering i ett separat slutförvar.	Bränsleelementen stoppas in <i>hela</i> i kapslarna.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.
Deponeringstunnlars höjd: cirka 4,9 m. Deponeringstunnlars bredd: cirka 3,5 m. Avstånd mellan deponeringstunnlar: cirka 25 m.	Deponeringstunnlars höjd: cirka 4 m. Deponeringstunnlars bredd: cirka 3,7 m. Avstånd mellan deponeringstunnlar: cirka 25 m.	Deponeringstunnlars höjd: 4,5 m. Deponeringstunnlars bredd: 3,3 m. Avstånd mellan deponeringstunnlar: cirka 25 m om ett plan, cirka 33 m om två plan.	Deponeringstunnlars höjd: 4 m. Deponeringstunnlars bredd: 3,4 m. Avstånd anges ej.	Inga uppgifter om deponeringstunnlars höjd, bredd och inbördes avstånd.	Inga uppgifter om deponeringstunnlars höjd, bredd och inbördes avstånd.	Inga uppgifter om deponeringstunnlars höjd, bredd och inbördes avstånd.	Inga uppgifter om deponeringstunnlars höjd, bredd och inbördes avstånd.	Inga uppgifter om deponeringstunnlars höjd, bredd och inbördes avstånd.
		Återtagsfrågan antyds.	Återtagsfrågan antyds.	Återtagsfrågan antyds.	Återtag: Analys av hur deponerade kapslar kan återtas före förslutning.  Analysen tar främst sikte på eventuellt återtag av de 400 kapslar som deponeras under etapp 1.	Återtag: Utförligare analys än i Fud-program 98 av hur deponerade kapslar kan återtas före förslutning.  Praktiska försök med metodik och utrustning för återtag har påbörjats i Äspölaboratoriet.	Återtag: Ska vara möjligt, även om formella krav på återtagbarhet inte har ställts i gällande författningar.  Fortsatta studier av metodik och utrustning för återtag sker i Äspölaboratoriet.	Återtag: Ingen ändring i förhållande till Fud-program 2004.  Fortsatta studier av metodik och utrustning för återtag koncentreras på "hydrodynamiska metoder", vilka innebär att kapseln friläggts genom att bentoniten spolats bort med vatten.



## Buffert och återfyllning

### Buffert

Lägesrapport 1977 (KBS-1-rapporten)	KBS-2-rapport 1978	KBS-3-rapport 1983	Fud-program 92	Fud-program 95	Fud-program 98	Fud-program 2001	Fud-program 2004	Fud-program 2007
Kapseln (horisontell deponering) omges av blandningar av kvartssand (80–90 %) och bentonit (10–20 %).	Kapseln (vertikal deponering) omges med block av högkompakterad bentonit i deponeringshålen. Vidare appliceras bentonit i pulverform i spalten mellan blocken och det omgivande berget.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.  Fortsatt teknikutveckling för tillverkning av högkompakterade bentonitblock samt för injektering av bentonit.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.  Block av högkompakterad bentonit i form av "anasringar" kring kapslarna, framställda genom isostatisk pressning eller enaxlig pressning.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.  Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.  Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.  Ingen ändring jämfört med Fud-program 95, men block och ringar har tillverkats med enaxlig pressning, möjligheten att använda isostatisk pressning utreds.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.  Ingen ändring jämfört med Fud-program 2004.
				Fortsatta studier av dels egenskaper hos olika typer av bentonit, dels processen för transport genom bentonitbufferten av den vätgas som kan bildas i händelse av att hål bildas i kopparkapseln och vatten tränger in i kapseln.	En mer detaljerad redovisning än i Fud-program 95 av fortsatta studier kring bentonitens egenskaper.	Utifrån ytterligare (i förhållande till i Fud-program 98) preciserade krav på buffertmaterialets funktioner presenteras slutsatser av genomförda studier kring bentonitens egenskaper. SKB väljer naturlig bentonit av Wyoming-typ (MX-80) som referensmaterial, men håller öppet för att det kan finnas andra material som är lika lämpliga.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 2001.  Forskningsuppgifter preciseras inom områdena: • Buffertens initialtillstånd. • Processer i bufferten.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 2001.  Med utgångspunkt från preciserade krav på buffertens huvuduppgifter anges för vilka teknikområden det <i>antingen</i> finns känd och beprövad teknik som kan appliceras <i>eller</i> det behövs teknikutveckling.
Buffertens tjocklek: Minst 95 cm (horisontell deponering).	Buffertens tjocklek: 36,5 cm (vertikal deponering).	Buffertens tjocklek; 35 cm. <i>Motiv:</i> Ändring av kapselns diameter.	Buffertens tjocklek: 36 cm.	Inga uppgifter om buffertens tjocklek.	Inga uppgifter om buffertens tjocklek.	Inga uppgifter om buffertens tjocklek.	Buffertens tjocklek: 35 cm.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 2004.

## Aterfyllning

Lägesrapport 1977 (KBS-1-rapporten)	KBS-2-rapport 1978	KBS-3-rapport 1983	Fud-program 92	Fud-program 95	Fud-program 98	Fud-program 2001	Fud-program 2004	Fud-program 2007
Aterfyllning består av blandningar av kvartssand (80–90 %) och bentonit (10–20 %).	Förvarings-, transport- och servicetunnlar samt schakt återfylls med blandningar av kvartssand (80–90 %) och bentonit (10–20 %).	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Studier av teknik för återfyllning av tunnlar och schakt med sand/bentonitblandningar.	För återfyllning av förvarings-tunnlar och bergrum studeras i första hand bergkross som ballastmaterial och med 10–20 % inblandning av bentonit.	Med utgångspunkt från preciserade krav på återfyllningens funktioner är slutsatsen att blandningar av bentonit och krossat berg, eller bentonit och kvartssand visat sig lämpliga.	Med utgångspunkt från ytterligare (i förhållande till Fud-program 98) preciserade krav på återfyllningens funktioner dras slutsatsen att: <ul style="list-style-type: none"> <li>• En blandning av 15 % bentonit och 85 % bergkross kan vara lämplig för en plats med sött grundvatten.</li> <li>• En blandning med högre andel bentonit kan behövas för en plats med saltare grundvatten,</li> <li>• Exakt sammansättning av återfyllnadsmaterial kan bestämmas först när förhållandena på aktuell plats är kända.</li> </ul>	Med utgångspunkt från återfyllningens funktioner studeras främst tre alternativ: <ul style="list-style-type: none"> <li>• En blandning av bentonit och bergkross kompakteras i tunneln.</li> <li>• Svällande lera kompakteras på plats i tunneln; Friedland-lera referensmaterial, men många olika leror tänkbara.</li> <li>• Förkompakterade block av Friedlandlera (många olika leror tänkbara) läggs in i tunneln.</li> </ul>	Med utgångspunkt från angivna krav på återfyllningens funktioner preciseras för vilka teknikområden det <i>antingen</i> finns känd och beprövad teknik som kan appliceras <i>eller</i> det behövs teknikutveckling.
		Funktioner: Ge mekanisk stabilitet och återställa de hydrologiska förhållandena i området.	Funktioner: Nämnas ej.	Funktioner: Motverka utsvällning av bentonit från deponeringshål, förhindra/begränsa strömning av vatten i tunnel kring kapselpositioner, motverka kemisk omvandling av bufferten.	Funktioner: Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.	Funktioner: Utgör ingen barriär i sig, utan är nödvändig för att bufferten och berget ska få önskad funktion.	Funktioner: Ingen ändring jämfört med Fud-program 2001.	Funktioner: Begränsa buffertens expansion uppåt i deponeringshålet (KBS-3V) och förhindra att det utvecklas hydrauliska transportvägar i deponeringstunnlarna.
		Återfyllning kan ske successivt efter hand som deponering avslutats inom viss del av förvaret <i>eller</i> vid ett och samma tillfälle inför förslutning av förvaret.		Av tekniska skäl lämpligt att återfylla och försluta deponeringstunnlarna efter hand som deponeringen avslutats.	Praktiska försök har påbörjats i Äspölaboratoriet.  Behovet av permanenta förslutningar av deponeringstunnlar kan inte bedömas utan kännedom om förhållandena på den valda platsen.	Material och tekniker för återfyllning och förslutning utprovas vid Äspölaboratoriet.	Förslutningar för olika ändamål studeras: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Driftförslutningar vid mynningen av deponeringstunnlar när dessa har återfyllts, men fortsatt deponering pågår i närheten.</li> <li>• Permanenta förslutningar i undermarksdelen mellan t ex olika deponeringsområden.</li> <li>• Förslutningar för att förhindra eller försvåra intrång i undermarksanläggningen sedan den återfyllts.</li> </ul>	Med utgångspunkt från preciserade krav på förslutningen anges för vilka teknikområden det <i>antingen</i> finns känd och beprövad teknik som kan appliceras <i>eller</i> för vilka områden det behövs teknikutveckling.

## Kapseln

Lägesrapport 1977 (KBS-1-rapporten)	KBS-2-rapport 1978	KBS-3-rapport 1983	Fud-program 92	Fud-program 95	Fud-program 98	Fud-program 2001	Fud-program 2004	Fud-program 2007
Kapseln tillverkas av koppar eller ett keramiskt material. (För kapslar med förglasat högaktivt avfall hade föreslagits titan.)  <i>Motiv:</i> Material med längre livslängd än titan behövs därför att strålningen hos använt kärnbränsle avtar långsammare än hos förglasat avfall.	Förordas att kapseln tillverkas av koppar, men studier av keramiska material (varm isostatisk pressning av aluminiumoxidpulver) fortsätter.  <i>Motiv för koppar:</i> • Termodynamiskt stabil i närvaro av vatten; andra metaller med denna egenskap (silver, guld, platina) uteslutna av ekonomiska skäl.  Tålighet mot yttre last fås genom att kapseln efter fyllning med <i>bränslestavar</i> görs massiv.	Kapseln tillverkas av koppar.  <i>Motiv för koppar:</i> Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978, men mer utvecklat.  Tålighet mot yttre last fås genom att kapseln efter fyllning med <i>bränsleelement</i> görs massiv.	<i>Huvudalternativ:</i> Kapseln består av en cylinder av stål med ett yttre hölje av koppar (kallad "komposit-kapsel" eller "stålkapsel med kopparhölje").  Tålighet mot yttre last fås genom stålcyllindern.	<i>Huvudalternativ:</i> Kapseln består av en gjuten innerbehållare av stål, järn eller gjutbrons med hål (positioner) för bränsleelementen samt ett yttre hölje av koppar.  Tålighet mot yttre last fås genom den gjutna innerbehållaren.	Kapseln består av en yttre korrosionsbarriär av koppar och en tryckbärande insats av segjärn.  <i>Motiv för val av koppar som hölje:</i> • Har den livslängd som behövs. • Har minimal påverkan på övriga barriärer.  Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.  Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.  Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.  Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.  Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 98 (program för fortsatt utveckling av koppar-kapslarna, se nedan).  Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.  Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.
	<i>Inkapslings sätt:</i> <i>Bränslestavar</i> placeras i förtillverkad kapsel, hålrummen fylls med smält bly, tättslutande lock appliceras med elektronstrålesvetsning.	<i>Alternativa inkapslings sätt:</i> • <i>Bränsleelement</i> placeras i förtillverkad kapsel, hålrummen fylls med smält bly, tättslutande lock appliceras med elektronstrålesvetsning. • <i>Bränsleelement</i> placeras i förtillverkad kapsel, hålrummen fylls med kopparpulver, ett lock monteras. Hela paketet behandlas i en ugn för het isostatisk pressning och blir en solid kropp.	<i>Motiv för huvudalternativet:</i> • En inre stålstruktur är dimensionerad för att motstå de tryck som är aktuella på deponeringsdjupet. • En "kall" process vid inkapslingen är mindre komplicerad än processerna med smält bly, alternativt kopparpulver, och isostatisk sammanpressning av cylindern.  <i>Reservalternativ:</i> Kapseln består av en blyfylld cylinder av massiv koppar enligt KBS-3-rapporten 1983.  <i>Alternativa inkapslings sätt utreds,</i> bl a att hålrum mellan bränsleelementen fylls med sand eller glaspärlor.	<i>Motiv för huvudalternativet:</i> En mindre komplicerad process vid inkapslingen än fyllning av mellanrummen mellan bränsleelementen i en stålcyllinder. En gjuten insats är robustare mot yttre laster och lättare att utforma med hänsyn till kriticitetsrisk.  <i>Reservalternativ:</i> Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.
		<i>Antal bränsleelement per kapsel:</i> 8 eller 9 BWR-element (beroende av valt alternativt inkapslings sätt).	<i>Antal bränsleelement per kapsel</i> (huvudalternativet): 12 BWR-element, alternativt 4 PWR-element.	<i>Antal bränsleelement per kapsel</i> (huvudalternativet): Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.	<i>Antal bränsleelement per kapsel:</i> Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.	<i>Antal bränsleelement per kapsel:</i> Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.	<i>Antal bränsleelement per kapsel:</i> Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.	<i>Antal bränsleelement per kapsel:</i> Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.
		<i>Alternativa tillvägagångssätt för tillverkning av kopparhöljet:</i> • Varmpressning av kopparrör. • Valsning och formning av en kopparplåt med långsgående svets.	<i>Alternativa tillvägagångssätt för tillverkning av kopparhöljet:</i> • Rullpressning/Kantpressning av rörhalvor som sammanfogas med elektronstrålesvetsning. • Extrudering av hela rör.	<i>Tillvägagångssätt vid tillverkning av kopparhöljet:</i> • Rullformning av valsad plåt till rörhalvor som fogas samman med elektronstrålesvetsning. • Bottnar och lock maskinbearbetas från smidda ämnen; bottnarna anbringas på rören med elektronstrålesvetsning.	<i>Tillvägagångssätt vid tillverkning av kopparhöljet:</i> Flera olika tillverkningsmetoder finns; val mellan dem bör anstå tills fabriken börjar projekteras.	<i>Tillvägagångssätt vid tillverkning av kopparhöljet:</i> Fyra olika tillverkningsmetoder har använts: rullformning, extrudering, dornpressning och smide. Av dessa är de tre sistnämnda mest tillförlitliga resultat.	<i>Tillvägagångssätt vid tillverkning av kopparhöljet:</i> Fyra olika tillverkningsmetoder har använts: rullformning, extrudering, dornpressning och smide. Av dessa är de tre sistnämnda mest intressanta.	
					Segjärnsinsatsen gjuts med botten i ett stycke. Insatsens lock av stål med ventil skruvas fast.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.	Provtillverkning av segjärnsinsatser pågår.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 2004.
			<i>Alternativa svetsmetoder för kopparlock:</i> • Elektronstrålesvetsning (alt 1). • Friktionssvetsning (alt 2).	<i>Alternativa svetsmetoder för kopparlock:</i> Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.	<i>Alternativa svetsmetoder för kopparlock:</i> Fortsatt utvecklingsarbete kring elektronstrålesvetsning.	<i>Alternativa svetsmetoder för kopparlock:</i> Fortsatt utvecklingsarbete kring elektronstrålesvetsning, och studier av friktionssvetsning.	<i>Alternativa svetsmetoder för kopparlock:</i> Fortsatt utvecklingsarbete kring elektronstrålesvetsning och kring friktionssvetsning.  Systematisk genomgång av inkapslingsprocessen inför till år 2006 aviserad ansökan om att uppföra inkapslingsanläggningen.	<i>Alternativa svetsmetoder för kopparlock:</i> Från 2005 utgör friktionssvetsning referensmetod; fortsatt utveckling pågår.
<i>Kopparkapselns dimensioner:</i> Längd: 4,9 m. Yttre diameter: 91 cm. Inre diameter: 51 cm. Kopparhöljets tjocklek: 20 cm.  <i>Keramkapselns dimensioner:</i> Längd: 3 m. Yttre diameter: 50 cm. Inre diameter: 30 cm.	<i>Kopparkapselns dimensioner:</i> Längd: 4,7 m. Yttre diameter: 77 cm. Inre diameter: 37 cm. Kopparhöljets tjocklek: 20 cm.	<i>Kopparkapselns dimensioner:</i> Längd: 4,5 m. Yttre diameter: 80 cm. Inre diameter: 60 cm. Kopparhöljets tjocklek: 10 cm.	<i>Kapselns dimensioner:</i> Längd: 4,85 m. Yttre diameter: 88 cm. Inre diameter: 68 cm. Väggens tjocklek: 10 cm, varav 5 cm stål, 5 cm koppar.	<i>Kapselns dimensioner:</i> Fortsatta studier av exakta dimensioner för kapseln och av val av materialkvaliteter. Väggens tjocklek: Minst 10 cm, varav minst 5 cm den gjutna innerbehållaren, 5 cm koppar.	<i>Kapselns dimensioner:</i> Längd: 4,83 m. Yttre diameter: 105 cm. Inre diameter: 85 cm. Vägg tjocklek: Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.	<i>Kapselns dimensioner:</i> Längd: 4,835 m. Yttre diameter: 105 cm. Inre diameter: 85 cm. Vägg tjocklek: Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.	<i>Kapselns dimensioner:</i> Längd: 4,835 m. Yttre diameter: 105 cm. Inre diameter: 85 cm. Vägg tjocklek: Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.	<i>Kapselns dimensioner:</i> Ingen ändring jämfört med Fud-program 2001. Vägg tjocklek: Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.
				Metodutveckling för oförstörande provning av kapslar.	Fortsatt metodutveckling för oförstörande provning av kapslar.	Fortsatt metodutveckling för oförstörande provning av kapslar (pågår i Kapsellaboratoriet i Oskarshamn).	Ingen ändring jämfört med Fud-program 2001.	Identifiering av ett antal områden med anknytning till dels materialfrågor, dels hälffasthetsfrågor där vidare insatser krävs.

# Summary

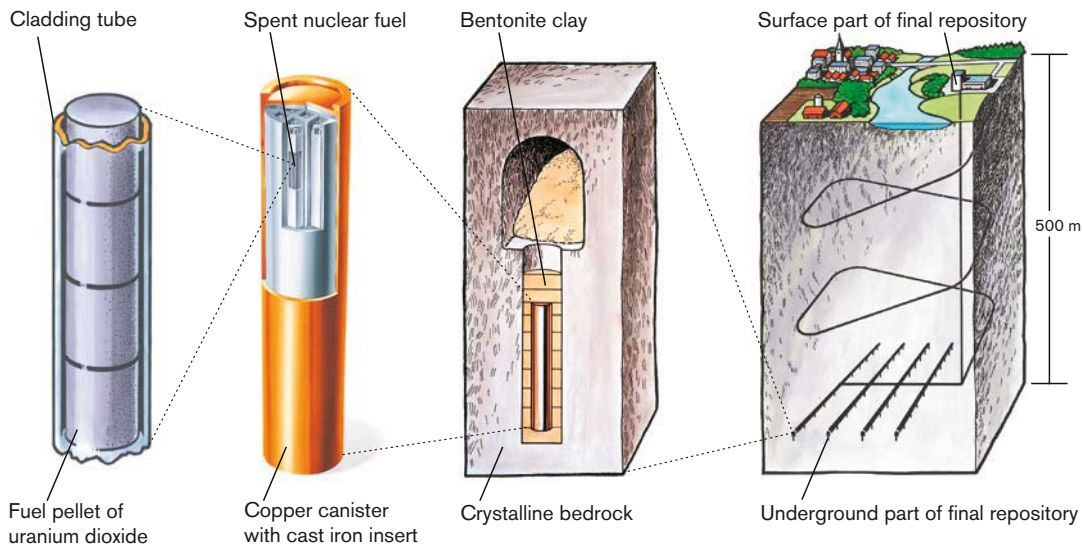
## Purpose, background and scope of the report

A translation of the title of this report is *Development of the KBS-3 method. Survey of SKB's research programs and safety assessments, reviews by Government authorities and SKB's international research cooperation.*

The purpose of this report is to outline the origin and development over the past 30 years (up to 2009) of the KBS-3 method<sup>10</sup> proposed by the Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co (SKB) for final disposal of spent nuclear fuel. The KBS-3 method is based on three protective barriers. The spent nuclear fuel is encapsulated in impermeable copper canisters. The canisters are placed in crystalline basement rock at a depth of 400–700 metres, embedded in bentonite clay. After disposal the tunnels and rock caverns are sealed. An illustration of the method can be found as Figure S-2.

The account does not claim to cover all parts of the extensive technical and scientific research and development work conducted by SKB in form of collecting data, refining methods and increasing process understanding. The report forms part of the background material which SKB has gathered as a basis for future applications regarding permits under the Environmental Code and the Nuclear Activities Act to build and operate facilities for encapsulation and final disposal of spent nuclear fuel.<sup>11</sup>

A prominent feature of the industrial development work on the final disposal of spent nuclear fuel has been an openness for a constant input of ideas and opinions from society and public bodies (the Government, national authorities, universities and other institutes of higher education, municipalities and various non-governmental organizations). This input of ideas and opinions initially took place via a traditional Government-mediated process of circulation for commentary of the 1977, 1978 and 1983 KBS reports and from 1984 via the Nuclear Activities Act's provisions regarding RD&D



**Figure S-2.** In the KBS-3 method the spent nuclear fuel is encapsulated in copper and deposited at a depth of about 500 metres in the crystalline bedrock. The canisters are surrounded by a buffer of bentonite clay intended to protect against corrosion and movements in the rock.

<sup>10</sup> The acronym KBS has been used since late 1976. Originally it was a short form in Swedish for the “Projekt **K**ärn**B**ränsle**S**äkerhet” (the Nuclear Fuel Safety Project) which at that time was set up within the then Swedish Nuclear Fuel Supply Co.

<sup>11</sup> According to current plans, these applications will be submitted during 2011.

programmes. These provisions required SKB to prepare and submit to what is now the Swedish Radiation Safety Authority “a programme for the comprehensive research and development work and other measures needed” for the safe disposal of nuclear waste, including spent nuclear fuel. The Authority is supposed to review and evaluate the programme and then submit it to the Government for a decision. The regulatory review includes an extensive process of circulation for commentary.

The final repository issue has occasionally been at the centre of political events in Sweden. This was particularly the case from the mid-1970s up to the start of the 1980s. As a result, large resources were devoted to the development of a method for final disposal of spent nuclear fuel. From the early 1970s up to the present, the technical and scientific development work on the management of spent nuclear fuel has thereby been characterized by a kind of interaction between technology, science and politics. SKB believes that this interaction, and in particular the periodic reviews of the RD&D programmes, has been of great value. This also applies to the scrutiny of SKB’s work with safety assessments and SKB’s “Plan” reports.

The presentation sheds light on developments in a number of areas that are of central importance for safety in a KBS-3 repository. In SKB’s RD&D Programme 2007, these areas go under the headings rock line, buffer line, canister line, backfilling line and closure line. Furthermore, attention has been given to issues related to the possible retrieval of deposited canisters, variants of KBS-3, deposition technology and safety assessment, as well as a number of interdisciplinary issues.

The development of methods for the safety assessment has been an important part of the development of the KBS-3 method. The work with safety assessments has led to an improved understanding and knowledge of important processes in the repository over time and, as a consequence of this, new or improved methods for describing these processes. A detailed account of related issues would be relatively extensive, however, and has therefore not been included in this report.

Has the insight into and scrutiny of the research and development work on the KBS-3 method that has occurred resulted in concrete changes of the method that would otherwise not have come about? To answer this question one must first consider the division of roles and responsibilities between SKB (acting on behalf of the owners of the nuclear power reactors) on the one hand and Government and its authorities on the other. SKB is responsible for presenting a solution to the problem, while the task of Government and its authorities is to specify requirements and assess whether the solution presented fills the bill. If the scrutiny of the development work had resulted in strong criticism, and ultimately led to the Government’s questioning of the focus of the ongoing development work, the work would in all likelihood have been interrupted or given a different focus. But rather than leading to strong criticism, the regular scrutiny has instead resulted in support for continuing the development work along the lines ordained by SKB, albeit with reminders of the need for more in-depth efforts in certain important areas. Examples of such areas are copper corrosion, groundwater flow paths, properties of different types of bentonite, questions concerning retrievability, methods for safety assessment and other methods for disposing of spent nuclear fuel. These comments have made it easier for SKB to comply with the requirements of the Nuclear Activities Act on comprehensiveness in the research work and have resulted in a deeper understanding of some fundamental issues.

There are tabular overviews (in Swedish) at the end of chapters 2, 3, 7, 8 and 9 showing how the KBS-3 method has developed in various respects from an initial concept in 1977 to the detailed account in RD&D Programme 2007<sup>12</sup>. These tabular overviews are merged at the end of this summary.

The method has undergone gradual development. This was fully documented for the first time in the 1978 KBS-2 report and then in the 1983 KBS-3 report, and subsequently in the Plan reports and RD&D programmes published by SKB as well as in the various safety assessments carried out by SKB since the early 1990s.

---

<sup>12</sup> The accounts of the KBS-3 method included in the two first comprehensive R&D programmes published by SKB in 1986 and 1989 pursuant to the provisions of the Nuclear Activities Act were based in all essential respects on the 1983 KBS-3 report. It has therefore not been deemed warranted to include information from these two programmes in the tabular overviews.

The tabular overviews are structured around certain themes, based on how the KBS-3 method has been described in the early KBS reports and in the different RD&D programmes. The following thematic breakdown is used:

- Waste management sequence and facilities.
  - Interim storage facility.
  - Encapsulation plant.
  - Final repository.
- Buffer and backfill.
  - Buffer.
  - Backfill.
- Canister.

The development of each of these thematic areas is described with an emphasis on important changes that have occurred and the reasons for them<sup>13</sup>. A summarizing picture is then provided of SKB's work with the development of methods for safety assessment, plus some facts concerning SKB's international research cooperation.

## **Waste management sequence and facilities**

### **Interim storage facility**

The idea of building a central interim storage facility for spent nuclear fuel was included among the AKA Committee's proposals in 1976<sup>14</sup>. The idea was to store spent nuclear fuel in such an interim storage facility pending its reprocessing a few decades later.

The first report (1977) of the KBS-project, set up by the nuclear industry in late 1976, included a status report on direct disposal of spent nuclear fuel. In this status report it was argued that interim storage for some time was needed for cooling and decay of the radiation from the fuel before it could be encapsulated for further transport to a final repository.

The 1977 status report on direct disposal mentioned that the spent fuel would be taken from the pools at the nuclear power plants to "a central fuel storage facility" for an initial period of intermediate storage under water lasting about 10 years. After this it would be placed in stainless steel containers, which would be hermetically sealed and kept under water in another pool system for an additional 30 years. The spent nuclear fuel would thus be stored dry in these containers. The reason for this management sequence was to prevent the presumed corrosive effect of the water on the spent nuclear fuel. It was assumed that this second pool system would be located immediately adjacent to the central fuel storage facility. After a total of about 40 years of cooling and decay, the spent fuel could be encapsulated and subsequently transported to a final repository.

The more well-thought-out solution presented in the KBS-2 report in 1978 entailed storing the spent nuclear fuel in a "central interim storage facility" under water for about 40 years. Research had shown that the fuel's Zircaloy cladding will remain intact in contact with water for a much longer time than is needed for cooling and decay before encapsulation can take place. There was thus no need to move spent nuclear fuel to special containers, which also eliminated the need for two separate pool systems for interim storage.

Planning and construction of a central interim storage facility for spent nuclear fuel, called Clab, started at the end of the 1970s. An application for a permit to build the facility was examined not only by the concerned authorities, but also by the Government. Its license under the then applicable

---

<sup>13</sup> The reader's attention is called to the fact that questions concerning the role of the bedrock are dealt with in the report *Platsval – Lokaliseringen av slutförvaret för använt kärnbränsle (R-10-42)* ("Site selection – Siting of the final repository for spent nuclear fuel", in Swedish only).

<sup>14</sup> The AKA Committee was set up by the Government in 1972 with the task to investigate the problem of handling high-level nuclear waste from nuclear power plants.

Section 136 a of the Building Act was issued in December 1978 and under the then applicable Atomic Energy Act in September 1979; however construction work was not allowed to start before May 1980. The facility, which is situated near the Oskarshamn nuclear power plant, was put into service in 1985 and is still in use. It has subsequently been expanded, and a second rock cavern with storage pools was brought on line in early 2008.

### **Encapsulation plant**

The 1977 concept entailed that the stainless steel containers with spent nuclear fuel would be taken to an encapsulation plant. There they would be opened and the fuel encapsulated for final disposal. The encapsulation plant was assumed to be located on the surface adjacent to a final repository for the spent fuel.

The basic idea of a separate encapsulation plant was included in the KBS-2 report in 1978 and recurred in the KBS-3 report in 1983. In RD&D-Programme 92, SKB presented the idea of locating the encapsulation plant adjacent to Clab, and RD&D-Programme 95 emphasized that it was natural to examine the alternative of locating the encapsulation plant on the same site as the future final repository. According to RD&D-Programme 98, the main alternative was to locate the encapsulation plant adjacent to Clab, but other siting alternatives could be at the future final repository, at an existing nuclear facility or at some other location. This view was reiterated in RD&D-Programme 2001. In RD&D-Programme 2004, SKB presented a general design of an encapsulation plant located adjacent to Clab, at the same time as a standalone encapsulation plant was sketched in the Forsmark area. In 2006, SKB applied for a permit under the Nuclear Activities Act to build an encapsulation plant adjacent to Clab, with integrated operation of the two facilities. The new integrated facility for interim storage and encapsulation was named Clink.

### **Final repository**

Studies of final disposal of high-level waste in Sweden were initiated in the mid-1970s at the initiative of the AKA Committee. From the start it was assumed that final disposal would take place somewhere in the crystalline bedrock that occurs so widely in Sweden. The first studies concerned disposal of vitrified high-level waste from reprocessing. Within the KBS project, the KBS-1 report was published in December 1977. That report also sketched a final repository for spent unprocessed nuclear fuel. This repository would consist of a system of parallel tunnels at a depth of about 500 metres. The encapsulated fuel would be deposited horizontally in the tunnels. The 1978 KBS-2 report called for vertical deposition in holes bored from the bottom of tunnels with one canister in each deposition hole.

The same design was retained in the 1983 KBS-3 report, but it was added that the facility should be situated in a “selected” rock volume and that it could be built in one or more levels, with a level difference of about 100 metres. It was stated expressly in RD&D-Programme 95 that a facility in *one* level is the main alternative. As from RD&D-Programme 98, the depth of the facility has been stipulated at 400–700 metres.

In RD&D-Programme 92 it was clear that SKB had heeded viewpoints that had been expressed in connection with the regulatory review of the preceding programme to the effect that a final repository should be built in two stages. A first stage would consist of “demonstration deposition”, which was envisioned as encompassing about one-tenth of the estimated total number of canisters. After a period of evaluation, deposition would then continue with the remaining canisters. The same idea recurred in RD&D-Programme 95 and RD&D-Programme 98. Since then SKB has switched to planning for what is termed “trial operation” lasting a few initial years, after which the intention is to switch to “routine operation”.

In the facility for final disposal of the high-level waste after reprocessing, the plan outlined in the KBS-1 report called for vertical deposition of the canisters containing the waste. This meant that the canisters would be deposited upright in holes in the floor of the deposition tunnels. When the question of how deposition of spent nuclear fuel was to take place was being considered in the KBS project in 1977, the conclusion reached was, as mentioned above, that horizontal deposition (i.e. with the canisters lying down in the deposition tunnels) was preferable. One reason was that the

direct disposal canisters would have to be longer than the canisters that would contain waste from reprocessing and would therefore require greater tunnel height if positioned vertically. Furthermore, horizontal deposition would make it possible to have a much thicker buffer around the canisters. But the KBS-2 report in 1978 returned to the concept with vertical deposition. The reason was that it had been concluded that compacted bentonite blocks, lowered into holes, would be more suitable as a buffer material than the mixtures of sand and bentonite sketched in the 1977 status report. Furthermore, it was found possible to reduce the length of the canisters and to design machines that could lower the canisters into their holes without significantly increasing the height of the tunnels.

Even though vertical deposition with one canister per hole has been the main alternative for the design of the final repository ever since the KBS-2 report in 1978, other options have been studied. Since the end of the 1980s, the studies have focused on different alternatives for horizontal deposition and on vertical deposition with two canisters in each hole. Two designs were presented in RD&D-Programme 2004: KBS-3V (vertical deposition) with one canister per hole and KBS-3H (horizontal deposition). It was assumed that the detailed design of KBS-3H would be the subject of further studies in collaboration with Posiva (SKB's counterpart in Finland). According to RD&D Programme 2007, the work of evaluating KBS-3H would continue. SKB estimated that if the evaluation has a positive outcome, it will take about six years of development work before this concept has reached a level equivalent to that of KBS-3V.

In the 1978 KBS-2 report, it was foreseen that the fuel rods, prior to being placed in the canisters, would be separated from the metal parts of the fuel assemblies, which would be embedded in concrete moulds for deposition in a separate final repository. The reason was that a canister with 20 centimetre thick walls had limited room for the fuel assemblies, which would lead to the need for either larger canisters or more canisters. This problem was solved in the 1983 KBS-3 report, since it had been concluded that 10 centimetres would be enough. This meant that the fuel assemblies would not have to be taken apart but could instead be placed *intact* in the canisters. This idea, which has great advantages from a radiation protection viewpoint, has been retained.

The question of whether it would be possible to retrieve canisters of spent nuclear fuel that had been emplaced in a final repository was hinted at in the KBS-3 report in 1983. It was raised once again by the Swedish National Council for Nuclear Waste in the late 1980s and subsequently addressed by SKB in R&D-Programme 89. However, for a number of years, the idea was not considered to be of immediate topicability, even though it was discussed in general terms in both RD&D programmes 1992 and 1995. In RD&D-Programme 98, SKB presented an analysis of how a pre-closure retrieval could take place. The analysis was mainly focused on a possible retrieval of the first 400 canisters that would be deposited in an initial stage. The analysis was pursued further in RD&D programmes 2001, 2004 and 2007, where the results of practical retrieval trials that had been conducted in the Äspö Hard Rock Laboratory were reported.

## **Buffer and backfill**

Buffer is the material that will surround the canister in the final repository and fill the space between canister and rock. Backfill is the material that will be installed in deposition tunnels to fill them up.

### **Buffer**

The 1977 status report was based on horizontal deposition of the canisters. They were to lie on a bed of, and also be surrounded by, mixtures of quartz sand (80–90%) and bentonite (10–20%). It was the same buffer material that were to have been used for deposition of the much smaller canisters with vitrified high-level waste from reprocessing that had been the main subject of the KBS-1 report. The material had been chosen for its mechanical stability and durability, its low permeability to water and its ion exchange capacity. The thickness of the buffer was to be at least 95 centimetres.

The 1978 KBS-2 report instead proposed vertical deposition according to the same basic idea as had been used in the 1977 KBS-1 report for the vitrified high-level waste. But because the requirements on canister life are much greater for direct disposal than for vitrified waste from reprocessing,



tougher requirements had to be made on the buffer. The solution was to surround the canisters in the deposition holes with blocks of highly compacted bentonite, combined with powdered bentonite in the gap between the rock and the blocks. The bentonite swells greatly as it absorbs water. Since swelling is prevented by the surrounding rock (and the backfill in the tunnel above the deposition holes), a strong swelling pressure builds up. As a result, all gaps between and around the blocks are plugged, and a homogeneous buffer of impervious clay is formed around the canister. The clay's swelling pressure prevents the creation of water-conducting passages around the canister. Furthermore, bentonite is forced into small fractures in the walls of the deposition holes and seals these fractures. The resultant clay will have relatively high density, good loadbearing strength, high thermal conductivity, high ion exchange capacity and good long-term stability and will not contain any constituents that could significantly reduce the canister's corrosion resistance. A buffer of highly compacted bentonite can be made much less thick than is judged desirable with a sand-bentonite mixture. The thickness stipulated in the report was 36.5 centimetres.

The concept was retained in the 1983 KBS-3 report, but a small change in the diameter of the canister led to a slight reduction in the thickness of the buffer as well, first to 35 centimetres and later to 36 centimetres.

In RD&D-Programme 92, SKB announced plans for further development of technology for fabrication of highly compacted bentonite blocks and of technology for grouting. One result was reported in RD&D-Programme 95: highly compacted bentonite in the form of "pineapple rings" was to surround the canisters in the deposition holes. These "pineapple rings" could be fabricated by means of either isostatic pressing or uniaxial pressing. In RD&D-Programme 95, SKB also announced plans for further studies of the properties of different types of bentonite and of the process of transport through the bentonite buffer of the hydrogen gas that may form if the canister is damaged and water comes into contact with the inner container of iron.

From RD&D-Programme 98 and onward, the work has involved further defining the functions of the buffer and thereby also which types of bentonite are best suited in this context.

## **Backfill**

It was assumed in the 1977 status report that backfilling of the final repository would be done using the same material as would be used as buffer, i.e. a mixture of quartz sand (80–90%) and bentonite (10–20%). The same idea was stated explicitly in the 1978 KBS-2 report, as well as in the KBS-3 report in 1983. The latter report also noted that backfilling can either be done progressively as deposition is concluded in a certain part of the final repository, or all at once prior to closure of the entire repository.

The 1992 RD&D programme presented ongoing studies of the technology for backfilling of tunnels and shafts with sand/bentonite mixtures. In the following RD&D programme in 1995, the plan was to study a mixture consisting of crushed rock as aggregate with 10–20 percent bentonite. It was now deemed most suitable to backfill and close the deposition tunnels progressively as deposition proceeds. The same strategy was described in RD&D-Programme 98, where SKB was also able to report that practical trials had commenced in the Äspö Hard Rock Laboratory.

According to RD&D-Programme 2001, a mixture of 15 percent bentonite and 85 percent crushed rock was most suitable if the final repository was located at a site with non-saline groundwater. If the selected site had a more saline groundwater, it could be necessary to increase the bentonite proportion. Thus, the exact proportions between bentonite and crushed rock cannot be determined until the groundwater conditions on a selected site are known.

In both RD&D programmes 2004 and 2007, it was emphasized that the function of the backfill is not to constitute a barrier in itself. Instead, its function is to enable the buffer and the rock to perform their barrier functions. RD&D-Programme 2004 presented three alternatives for backfilling. The first is that the mixture of bentonite and crushed rock is compacted in the deposition tunnel. A second is to compact the bentonite clay in place in the tunnel (different types of bentonite clay are possible). A third alternative is to place precompacted blocks of bentonite clay (different types of clay are possible) in the tunnel. RD&D Programme 2007 contained an assessment of in which technical areas known and proven technology exists that can be applied, and in which areas technology development is needed.

## The canister

In the 1977 status report it was assumed that the canister would be fabricated of copper or of a ceramic material. The choice of material differed from what had been chosen for the much smaller canisters for vitrified waste from reprocessing, where the proposal entailed canisters with a shell of titanium and with a lead wall for radiation shielding between the vitrified waste and the titanium shell. The argument advanced for choosing copper or a ceramic material was, in simplified terms, that a material is needed with a much longer life than can be assumed for titanium, because the radioactivity of spent nuclear fuel declines more slowly than that of vitrified waste. Availability, cost and ease of fabrication were also weighed against each other.

The 1978 KBS-2 report recommended canisters of copper, but studies of different ceramic materials would continue. Mechanical loadbearing strength would be provided by making the canister solid after filling it with fuel rods. This could be accomplished by placing the fuel rods (after separating them from the metal parts of the fuel assemblies) in the prefabricated canister, filling the cavities with molten lead and applying a tight-sealing lid by electron beam welding. Two main reasons were given for choosing copper as a canister material. One was that copper is an easy-to-fabricate material that is thermodynamically stable in the presence of water and that other metals with this property (silver, gold, platinum) are too expensive. The second reason was that copper canisters (with the assumed encapsulation technology) have sufficient strength to withstand the mechanical stresses that can be expected.

It was assumed in the 1983 KBS-3 report that the canisters would be made of copper. As in the 1978 KBS-2 report, it was judged that mechanical loadbearing strength would be provided by making the canister solid after filling. But an important difference was that the canisters would now be filled with *intact fuel assemblies*. Two alternative encapsulation methods were presented. Both were intended to achieve a solid body. The one alternative involved placing the fuel assemblies in the prefabricated canister, filling the cavities with molten lead and applying a tight-sealing lid by electron beam welding, in other words the same procedure as described in the 1978 KBS-2 report. The other alternative involved placing the fuel assemblies in the prefabricated canister, filling the cavities with copper powder and fitting a lid, after which the whole package would be treated in a furnace for hot isostatic pressing, making it into a solid body.

When RD&D-Programme 92 was presented, the development work had resulted in a revised concept for the canister. The main alternative was now a cylinder of steel with an outer shell of copper. Mechanical loadbearing strength was to be provided by the steel cylinder, where the fuel assemblies were to be placed. Because the actual encapsulation process could be done “cold”, i.e. at room temperature, it was less complicated than the processes sketched in 1983 with molten lead, or copper powder with subsequent hot isostatic pressing of the copper cylinder. Each canister would contain either twelve BWR assemblies or four PWR assemblies. Different encapsulation methods would be studied, one being to fill the cavities between the fuel assemblies with sand or glass beads. The alternative with lead filling presented in 1983 was retained as a backup alternative, however.

The results of continued development work were presented in RD&D-Programme 95. Now the main alternative, instead of a steel cylinder, was to use a cast inner container of steel, iron or casting with holes (positions) for the fuel assemblies. The cast inner container would provide the necessary mechanical loadbearing strength. The outer shell would be made of copper, as before. The number of positions would still be twelve for BWR assemblies and four for PWR assemblies. This design with the stipulated number of positions for either PWR or BWR assemblies has been retained since then. However, still in 1995 the 1983 design was regarded as a backup alternative.

In RD&D-Programme 98, the canister was described as an outer corrosion barrier of copper and a loadbearing insert of nodular iron. The insert was to be cast in one piece together with its bottom. The insert lid was to be of steel and screwed on. This solution has been retained in principle in subsequent RD&D programmes. RD&D programmes 2004 and 2007 reported that trial fabrication of nodular iron inserts was under way.

Different alternatives for fabrication of the copper shell have been presented since RD&D-Programme 92. In RD&D-Programme 2004, SKB mentioned the following four: roll forming, extrusion, pierce and draw processing and forging. In RD&D Programme 2007, the conclusion was drawn that the latter three methods appear most interesting.

As mentioned above, the 1983 KBS-3 report proposed that the lid on the copper canister should be applied by electron beam welding. This method was long viewed as the preferred alternative. But in RD&D-Programme 92 another alternative was mentioned, namely friction stir welding. After intensive development work since the mid-1990s, the choice fell on this alternative in 2005.

The development work on the canister has also led to variation in the outside dimensions. The horizontally deposited copper canister sketched in the 1977 status report had a length of 490 centimetres and an outside diameter of 91 centimetres. The thickness of the copper shell was 20 centimetres, which meant that the inside diameter was 51 centimetres. The status report also sketched a ceramic canister with a length of 300 centimetres, an outside diameter of 50 centimetres and an inside diameter of 30 centimetres.

The canister for vertical deposition foreseen in the 1978 KBS-2 report was slightly smaller, with a length of 470 centimetres and an outside diameter of 77 centimetres. Since the thickness of the copper shell was still 20 centimetres, the inside diameter was only 37 centimetres. In the more detailed KBS-3 report in 1983, a wall thickness of 10 centimetres of copper was deemed sufficient. Since the outside diameter of the canister was now assumed to be 80 centimetres, the inside diameter could be increased to 60 centimetres. The reason reported for switching from a copper thickness of 20 centimetres to one of 10 centimetres was, in simplified terms, that according to calculations, the time required to corrode through a canister with a wall thickness of either 10 or 20 centimetres was more than a million years, in both a probable and an unfavourable case. Another consequence of the reduction in copper thickness was that the length of the canister could now be reduced by 20 centimetres to 450 centimetres.

The changeover to a steel canister with a copper shell according to RD&D-Programme 92 entailed further adjustments. The canister now had a length of 485 centimetres and an outside diameter of 88 centimetres. The required thickness of the canister wall was still deemed to be 10 centimetres, consisting of five centimetres of steel and five of copper. With this wall thickness the inside diameter was now 68 centimetres. The changeover to a cast loadbearing insert with positions for fuel assemblies according to RD&D-Programme 95 occasioned further studies of what exact dimensions the canister should have. The wall thickness should still be at least 10 centimetres, however: at least five centimetres for the cast inner container and at least five centimetres for the copper shell. The judgement was now made that a five centimetre thick copper shell was enough, since no processes had been identified that could lead to penetration of the canister due to corrosion of the copper shell in less than one million years.

In RD&D-Programme 98 and RD&D-Programme 2001, SKB presented development work aimed at reducing the thickness of the copper shell to three centimetres. The conclusion, after trial fabrication of tubes with a wall thickness of three and four centimetres, was, however, to retain five centimetres.

Development of methods for nondestructive testing of canisters has been pursued since the mid-1990s. A number of questions relating to canister fabrication were identified in RD&D Programme 2007 associated with material issues and strength issues where further efforts were required.

## **Development of methods for safety assessment**

The first more detailed safety assessment of a final repository for spent nuclear fuel was presented by SKB in *the 1983 KBS-3 report* (although a safety assessment was also included in the 1978 KBS-2 report).

In R&D programmes 86 and 89, SKB announced that work would continue on development of the safety assessment methodology. In connection with the review of RD&D-Programme 86, the wish had been expressed that SKB should publish an easy-to-understand and clarifying booklet on methods and means in safety assessment. SKB noted in RD&D-Programme 89 that they had underestimated the resources needed to compile such a booklet, and announced at the same time that a safety assessment, called SKB 91, would be carried out in order to assess the safety-related importance of the geology of the repository site. The assessment would be based on the kind of repository that had been described in the KBS-3 report, but would to a lesser extent than this report utilize safety margins and pessimistic simplifications to establish a given safety level.

The safety assessment *SKB 91* concerned a fictional final repository and was published in May 1992. In order to be able to utilize actual data from bedrock investigations in various calculations, SKB used data from an area at Finnsjön that had been investigated previously. The assessment was reviewed by a panel of experts within the Swedish Nuclear Power Inspectorate, who said that SKB 91 was a laudable initiative at the same time as they criticized the assessment for drawing too far-reaching conclusions. In RD&D-Programme 92, SKB presented a programme for safety assessment activities during the coming six years. The programme included further development of analytical models and analysis methodology. Based on the review of RD&D-Programme 92, the Government required SKB to supplement the programme with a programme for the safety assessments SKB intended to conduct.

The Swedish Nuclear Power Inspectorate considered the programme for safety assessments which SKB presented in its supplement to RD&D-Programme 92 to be adequate. KASAM – the Swedish National Council for Nuclear Waste – called the programme a step in the right direction. In RD&D-Programme 95, SKB mentioned that they were developing a template for safety reports.

The template was presented in December 1995 in the document *SR 95 – Template for safety reports with descriptive examples*. The document was not a safety assessment or a safety report. It was presented as synopsis for future safety reports with a focus on the long-term safety of a final repository for spent nuclear fuel. This synopsis included analytical accounts of how the repository would evolve with time in a number of selected scenarios. The accounts also comprised a detailed survey of the methods and modelling tools SKB had at its disposal at that time for future safety assessments. SR 95 received positive comments from both the Swedish Nuclear Power Inspectorate and KASAM.

From the mid-1980s, the Swedish Nuclear Power Inspectorate had begun more systematically to build up competence and resources to ensure its capability to evaluate SKB's safety assessment work. This competence and resource buildup took place within the framework of two projects, which were subjected to international review through the offices of the Swedish Nuclear Power Inspectorate. The first one, *Project -90*, involved a safety assessment of a KBS-3 repository, located on a hypothetical site with features assumed to be typical for Swedish conditions. The second project, *SITE 94*, utilized actual data on the bedrock at the Äspö HRL, data which SKB had made available.

In RD&D-Programme 98, SKB announced that work was under way on a new safety assessment, called SR 97. The intention in SR 97 was to analyze and compare conditions at three different sites in Sweden.

*Safety assessment SR 97* was published at the end of 1999. The assessment had four purposes, namely to:

- Serve as a basis for demonstrating the feasibility of finding a site in Swedish bedrock where the KBS-3 method meets the requirements on long-term safety and radiation protection stipulated in the Swedish Nuclear Power Inspectorate's and the Swedish Radiation Protection Authority's regulations.
- Demonstrate methodology for safety assessment.
- Serve as a basis for specifying the factors that serve as a basis for the selection of areas for site investigations and for deriving which parameters need to be determined and which other requirements ought to be made on a site investigation.
- Serve as a basis for deriving preliminary functional requirements on the canister and the other barriers.

As a part of their review of SR 97, the Swedish Nuclear Power Inspectorate and the Swedish Radiation Protection Authority had commissioned the Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency (OECD/NEA) to have an international expert panel review the report. The two regulatory authorities summarized their conclusions from the review of SR 97 in six points:

- SR 97 does not indicate any conditions that would mean that geological final disposal in accordance with SKB's method would have significant deficiencies in relation to the safety and radiation protection requirements of the authorities.

- SR 97 contains the elements required for a comprehensive assessment of safety and radiation protection.
- SKB's safety assessment methodology has improved within several important areas, such as the documentation of processes and properties that can affect repository performance and the development of models for safety assessment calculations.
- The methodology used in SR 97 has some deficiencies, for example the specification of future events to be described in the safety assessment. SR 97 has not, to an adequate extent, dealt with unfavourable conditions that can affect the future safety of a repository.
- SKB states that the results of SR 97 have been applied to formulate requirements and preferences regarding the host rock for a repository. In the authorities' opinion, SR 97 does not include a description how this has been done. The coupling between safety assessment and site investigations should be improved.
- A safety assessment of a final repository for spent nuclear fuel will always contain uncertainties and deficiencies in the underlying data. Access to experts who can provide expert judgement is therefore vital. SKB should improve its procedures for obtaining expert judgment.

In RD&D-Programme 2001, SKB summarized the conclusions that had been drawn by SR 97 and in its review. The work of safety assessments was now aimed more at producing a so-called "Method Report" for the safety assessments that would be based on data from the future site investigations. This report would deal with:

- Format for the system description and plans for a so-called "Process Report".
- Scenario development.
- Method for choice of data for consequence analyses.
- Method for probabilistic calculations, including role division between analytical and numerical models.
- Role of natural analogues in future assessments.
- Possibilities for feedback from safety assessments to the site investigations and the repository design.
- Programme for future safety assessments, including interim assessments in preparation for the comprehensive assessments that will be based on data from the site investigations.

SKB also explained in RD&D-Programme 2001 that the intention was to develop a safety assessment as a basis for a future application for a permit to build an encapsulation plant and an additional safety assessment as a basis for a future application for permit to build a final repository for spent nuclear fuel.

The importance of an international review of the safety assessments was underscored by the Swedish Nuclear Power Inspectorate, as well as by the Government in its decision in December 2002 regarding RD&D-Programme 2001.

RD&D-Programme 2004 explained that the work with the safety assessments had begun and that the two assessments went under the working names *SR-Can* (from "canister") and *SR-Site*.

The work with SR-Can was assigned a different function in 2005, however. SR-Can would no longer serve as a formal basis for a permit application. Instead it would serve as a preparatory step for the safety assessment SR-Site.

In October 2006, SKB published the main report from SR-Can. The report was said to have three purposes:

- To make a first assessment of the safety of potential KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar to dispose of canisters as specified in the application for the encapsulation plant<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> This referred to the permit application under the Nuclear Activities Act regarding "Encapsulation plant and central interim storage for spent nuclear fuel at Simpevarp, Oskarshamn Municipality" which SKB submitted to the Swedish Nuclear Power Inspectorate in October 2006.

- To provide feedback to design development, to SKB's R&D programme, to further site investigations and to future safety assessment projects.
- To foster a dialogue with the authorities that oversee SKB's activities, i.e. the Swedish Nuclear Power Inspectorate and the Swedish Radiation Protection Authority, regarding interpretation of applicable regulations, as a preparation for the SR-Site project.

The methodology that had been developed for SR-Can was divided into ten different steps, whose content was described in detail.

The two regulatory authorities, the Swedish Nuclear Power Inspectorate and the Swedish Radiation Protection Authority, carried out a review of SR-Can during the period 2006–2008. The results were presented in a joint report in March 2008. In the report, SR-Can is described as:

“a substantially good starting point for continued work to produce SR-Site and a basis for the application to construct a repository for spent nuclear fuel in Sweden. In comparison with previous safety analyses, SR-Can has been based on a better and more complete methodology. It is also evident that SKB's extensive and concrete research and development work in recent years has created a more realistic and well-founded basis for the safety assessment. This includes, among other things, site investigations at Forsmark and Laxemar, development and manufacture of copper canisters and experiments and demonstrations at the Äspö laboratory. SKB has also, compared with previous safety analyses, carried out a more complete and more integrated modelling of how the repository is affected by major climatic changes which may be expected in the very long term, for example future ice ages and periods with permafrost. However, SR-Can has in certain respects gaps and sections of a very preliminary nature. The authorities' review has focused on identifying what needs to be remedied prior to SR-Site, but without forestalling the review that will then be made.”

The authorities summarized their conclusions from the review of SR-Can in the following five points:

- SKB's methodology for safety assessment mainly complies with the authorities' regulatory requirements, although parts of the methodology need to be further developed prior to a permit application.
- SKB's quality assurance of the safety assessment is insufficient in SR-Can.
- Prior to the permit application, a better knowledge base is needed with respect to certain critical processes with a potentially great impact on the risk from the repository, including erosion of the buffer in deposition holes.
- SKB needs to confirm that the assumed initial state of the repository is realistic and achievable.
- Reporting of the risk of early releases should be strengthened.

The safety assessment SR-Site will be included in SKB's applications for a permit to build and a licence to operate a final repository for spent nuclear fuel.

## **International research cooperation**

Ever since the start of the KBS project in the autumn of 1976, cooperation in various forms with foreign experts and international organizations has been an integral part of SKB's research and development work. Chapter 10 provides a picture of this cooperation during the period from 1976 up to the present.

A joint Swedish-American project, funded by SKB and US DOE (Department of Energy), was initiated in 1977 in the Stripa Mine, an abandoned iron mine in central Sweden, to develop technology for measuring thermomechanical, geophysical and geochemical properties in granite. The work attracted broad international interest, resulting in 1980 in the international *Stripa Project*. Eight countries participated in the project, which was conducted under the auspices of the OECD/NEA and managed by SKB. The research involved hydrogeological investigations of the Stripa granite, tracer tests in simple and complex fracture systems, chemical investigations of the groundwater, technology for detecting and characterizing fracture systems, studies of bentonite clay for use as backfill and sealant in fracture-filled bedrock, characterization and assessment of a limited rock volume and

its properties, testing and evaluation of the long-term stability of materials that can be used to seal fractures in the rock, and development of technology for injecting these materials into fractures in the rock. When the project was concluded in 1992 it had resulted in nearly 170 reports.

During this period, SKB also participated in four large international research projects initiated in the 1980s by the Swedish Nuclear Power Inspectorate and concerned with the development of different computer programs for description of how radionuclides are transported in the bedrock. The projects went under the designations INTRACON, HYDROCON, INTRAVAL and DECOVALEX (see section 10.7 for explanations of these names).

A number of international projects were started in the 1980s, initiated by SKB among others, for the purpose of investigating so-called *natural analogues*. These are phenomena in nature that can illustrate how and to what extent migration of radioactive substances has occurred under conditions similar to those that would prevail in a final repository for high-level nuclear waste or spent nuclear fuel. The more well-known projects include *Poços de Caldas (Brazil)*, *Cigar Lake (Canada)* and *Oklo (Gabon)*.

Research cooperation with *Finland* was established within the framework of the Stripa project and has been of considerable scope since 1988. SKB now cooperates closely with its corporate counterpart in Finland, Posiva. This cooperation has gradually extended to more and more areas. Section 10.9 lists the 40–50 disciplines included in the cooperation.

Activities in the *Äspö Hard Rock Laboratory* aroused great international interest from the start. In RD&D-Programme 95, SKB presented agreements with organizations from Finland, France, Japan, Canada, Switzerland, the UK, Germany and the USA. Spain has participated as well. In addition to SKB, eight organizations from seven countries (Finland, France, Japan, Canada, Switzerland, the Czech Republic and Germany) are now participating in the research. The organizations have had personnel stationed in Äspö and have participated in the execution of different experiments. The foreign organizations have also had an opportunity to conduct experiments solely of interest to them.

Methods for *welding the lid onto the copper canister* have been developed in close cooperation with The Welding Institute in the UK.

## Overview of the development of the KBS-3 method

The accounts of the KBS-3 method included in the two first comprehensive R&D programmes published by SKB in 1986 and 1989 pursuant to the provisions of the Nuclear Activities Act were based in all essential respects on the 1983 KBS-3 report. It has therefore not been deemed warranted to include information from these two programmes in the tabular overviews.

### Waste management sequence and facilities

#### Interim storage facility

Status report 1977 (KBS-1 report)	KBS-2 report 1978	KBS-3 report 1983	RD&D-Programme 92	RD&D-Programme 95	RD&D-Programme 98	RD&D-Programme 2001	RD&D-Programme 2004	RD&D Programme 2007
Spent nuclear fuel is taken from the nuclear power plants to a "central fuel storage facility" for an initial period of interim storage under water for about ten years.  The spent nuclear fuel is then placed in stainless steel containers that are hermetically sealed and kept under water for an additional 30 years.  The two facilities are located immediately adjacent to each other.	Spent nuclear fuel is taken from the nuclear power plants to a central interim storage facility, where it is kept under water for about 40 years.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.	Clab in operation since 1985.	Clab in operation since 1985.	Clab in operation since 1985.	Clab in operation since 1985.	Clab in operation since 1985.	Clab in operation since 1985. (Another rock cavern with storage pools was put into service in 2008.)

#### Encapsulation plant

Status report 1977 (KBS-1 report)	KBS-2 report 1978	KBS-3 report 1983	RD&D-Programme 92	RD&D-Programme 95	RD&D-Programme 98	RD&D-Programme 2001	RD&D-Programme 2004	RD&D Programme 2007
The stainless steel containers are taken to an encapsulation plant, where they are opened and the fuel is encapsulated for final disposal.	The spent fuel is taken to an encapsulation plant.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.
The encapsulation plant is assumed to be situated above ground, adjacent to a final repository.	No change compared to the 1977 Status report.	No change compared to the 1977 Status report.	The encapsulation plant is assumed to be situated adjacent to Clab.	The encapsulation plant is assumed to be situated adjacent to Clab, but location on the same site as the final repository will be explored.	The main alternative is siting adjacent to Clab. But alternative sitings are possible.	No change compared to RD&D-Programme 98.	The main alternative is siting adjacent to Clab; the design is described in general terms. At the same time, the possibility of a standalone encapsulation plant in the Forsmark area is sketched.	Application for a permit under the Nuclear Activities Act to build an encapsulation plant (integrated with Clab) submitted in 2006.  The integrated facility for interim storage and encapsulation was named Clink.



## Final repository

Status report 1977 (KBS-1 report)	KBS-2 report 1978	KBS-3 report 1983	RD&D-Programme 92	RD&D-Programme 95	RD&D-Programme 98	RD&D-Programme 2001	RD&D-Programme 2004	RD&D Programme 2007
The repository consists of a system of parallel disposal tunnels at a depth of about 500 m in crystalline bedrock, with associated transport and service tunnels and shafts.	No change compared to the 1977 status report.	The repository consists of a system of parallel disposal tunnels at a depth of about 500 m in a selected rock volume. The repository can be built in one or more levels (level difference about 100 m).	No change compared to the 1983 KBS-3 report.	No change compared to the 1983 KBS-3 report, but deposition tunnels in <i>one level</i> was expressly said to be the main alternative.	No change compared to the 1983 KBS-3 report, but the tunnel system is stipulated to be in <i>one level</i> at a depth of 400–700 m. The alternative with two levels is also being studied.	No change compared to RD&D-Programme 98.	No change compared to RD&D-Programme 98.	No change compared to RD&D-Programme 98.
			Construction in two stages: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Demonstration deposition, about 500 canisters.</li> <li>• Then the remaining canisters.</li> </ul>	Construction in two stages: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Demonstration deposition, about 400 canisters.</li> <li>• Then the remaining canisters.</li> </ul>	No change compared to RD&D-Programme 95.	Overall timetable: Initial operation starts in 2015, regular operation starts in the early 2020s. 200–400 canisters will be deposited during initial operation.	Overall timetable: The repository system must be ready for operation in 2017, regular operation from 2023.	Overall timetable: Trial operation of the entire system in 2020, routine operation from 2022.
Horizontal deposition in disposal tunnels.	Vertical deposition in holes in disposal tunnels.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.
	Disposal holes with a diameter of 1.5 m and a depth of 7.7 m are bored in the floor of the deposition tunnels.  One canister is deposited in each hole.	No change compared to the 1978 KBS-2 report, except that the depth of the disposal holes is now 7.5 m. <i>Reason:</i> Change of outer dimensions of the canister.  No change compared to the 1978 KBS-2 report.	No change compared to the 1983 KBS-3 report, except that the depth of the disposal holes is now 7.58 m and the diameter 1.6 m. <i>Reason:</i> Change of outer dimensions of the canister.  No change compared to the 1978 KBS-2 report.	No information on the diameter and depth of the deposition holes.  Studies of horizontal emplacement in holes bored in the tunnel wall in both directions, and of vertical deposition with two canisters per hole.	No information on the diameter and depth of the deposition holes.  Vertical deposition with one canister is the main alternative, but continued studies of vertical deposition with two canisters per hole and of deposition in horizontal holes.	No information on the diameter and depth of the deposition holes.  Studies of four alternative designs of KBS-3 are presented: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertical deposition, one or two canisters per hole.</li> <li>• Horizontal deposition, one or more canisters per hole.</li> </ul> Conclusions: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertical deposition, one canister per hole, is still the main alternative.</li> <li>• Further studies of horizontal deposition.</li> </ul>	Diameter of the holes: 1.75 m. Depth of the holes: not specified.  Two alternatives. Besides KBS-3V with one canister per hole, deposition of the canisters in long horizontal holes (up to 300 m) extending from the deposition tunnels and with a diameter of 1.85 m (KBS-3H) is being studied.	No change compared to RD&D-Programme 2004.  Continued evaluation of KBS-3H, together with Posiva (Finland). If the outcome of the evaluation is positive, about six years of development work is expected to be needed to reach a technical level equivalent to KBS-3V.
	Prior to encapsulation, the fuel rods are separated from the metal parts of the assemblies, which are embedded in concrete moulds for deposition in a separate repository.	The fuel assemblies are placed <i>intact</i> in the canisters, but fuel boxes are removed from BWR assemblies and embedded in concrete moulds for deposition in a separate repository.	The fuel assemblies are placed <i>intact</i> in the canisters.	No change compared to RD&D-Programme 92.	No change compared to RD&D-Programme 92.	No change compared to RD&D-Programme 92.	No change compared to RD&D-Programme 92.	No change compared to RD&D-Programme 92.
Height of deposition tunnels: about 4.9 m. Width of deposition tunnels: about 3.5 m. Distance between deposition tunnels: about 25 m.	Height of deposition tunnels: about 4 m. Width of deposition tunnels: about 3.7 m. Distance between deposition tunnels: about 25 m.	Height of deposition tunnels: 4.5 m. Width of deposition tunnels: 3.3 m. Distance between deposition tunnels: about 25 m if one level, about 33 m if two levels.	Height of deposition tunnels: 4 m. Width of deposition tunnels: 3.4 m. Distance not specified.	No information on height, width and spacing of deposition tunnels.	No information on height, width and spacing of deposition tunnels.	No information on height, width and spacing of deposition tunnels.	No information on height, width and spacing of deposition tunnels.	No information on height, width and spacing of deposition tunnels.
		Retrieval issue hinted at.	Retrieval issue hinted at.	Retrieval issue hinted at.	Retrieval: Analysis of how deposited canisters can be retrieved prior to closure.  The analysis is mainly concerned with possible retrieval of the 400 canisters deposited during stage 1.	Retrieval: More detailed analysis than in RD&D programmes 98 of how deposited canisters can be retrieved prior to closure.  Practical trials with methodology and equipment for retrieval have commenced in the Äspö Hard Rock Laboratory.	Retrieval: Must be possible, even though formal requirements on retrievability have not been made in applicable legislation.  Continued studies of methodology and equipment for retrieval are being pursued in the Äspö HRL.	Retrieval: No change in relation to RD&D-Programme 2004.  Continued studies of methodology and equipment for retrieval are being concentrated on "hydrodynamic methods", where the canister is freed by washing away the bentonite with water.

## Buffer and backfill

### Buffer

Status report 1977 (KBS-1 report)	KBS-2 report 1978	KBS-3 report 1983	RD&D-Programme 92	RD&D-Programme 95	RD&D-Programme 98	RD&D-Programme 2001	RD&D-Programme 2004	RD&D Programme 2007
The canister (horizontal deposition) is surrounded by mixtures of quartz sand (80–90%) and bentonite (10–20%).	The canister (vertical deposition) is surrounded by blocks of highly compacted bentonite in the deposition holes. Furthermore, bentonite powder is applied between the blocks and the surrounding rock.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.  Continued development of technology for fabrication of highly compacted bentonite blocks and injection of bentonite.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.  Blocks of highly compacted bentonite in the form of "pineapple rings" around the canisters, fabricated by isostatic pressing or uniaxial pressing.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.  No change compared to RD&D-Programme 95.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.  No change compared to RD&D-Programme 95.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.  No change compared to RD&D-Programme 95, but blocks and rings have been fabricated by uniaxial pressing; the possibility of using isostatic pressing is being investigated.	No change compared to the 1978 KBS-2 report.  No change compared to RD&D-Programme 2004.
				Further studies of the properties of different types of bentonite and of the process for transport through the bentonite buffer of the hydrogen gas that may form in the event holes are formed in the copper canister and water enters the canister.	A more detailed account than in RD&D-Programme 95 of further studies of the properties of the bentonite.	Based on more specific (compared to in RD&D-Programme 98) requirements on the functions of the buffer material, conclusions of studies of the properties of the bentonite are presented. SKB has opted for natural bentonite of the Wyoming type (MX-80) as a reference material, but is open to the possibility that there may be other materials that are equally suitable.	No change compared to RD&D-Programme 2001.  Research tasks are specified in the areas: • Initial state of the buffer. • Processes in the buffer.	No change compared to RD&D-Programme 2001.  Based on stipulated requirements regarding the main functions of the buffer, the programme indicates <i>either</i> for which technical areas known and proven technology exists that can be applied <i>or</i> for which areas technology development is needed.
Buffer thickness: At least 95 cm (horizontal deposition).	Buffer thickness: 36.5 cm (vertical deposition).	Buffer thickness: 35 cm. <i>Reason:</i> Change in canister diameter.	Buffer thickness: 36 cm.	No data on buffer thickness.	No data on buffer thickness.	No data on buffer thickness.	Buffer thickness: 35 cm.	No change compared to RD&D-Programme 2004.

## Backfill

Status report 1977 (KBS-1 report)	KBS-2 report 1978	KBS-3 report 1983	RD&D-Programme 92	RD&D-Programme 95	RD&D-Programme 98	RD&D-Programme 2001	RD&D-Programme 2004	RD&D Programme 2007
Backfill consists of mixtures of quartz sand (80–90%) and bentonite (10–20%).	Disposal, transport and service tunnels and shafts are backfilled with mixtures of quartz sand (80–90%) and bentonite (10–20%).	No change compared to the 1978 KBS-2 report.	Studies of technology for backfilling of tunnels and shafts with sand/bentonite mixtures.	Mixtures with crushed rock as aggregate and with 10–20% bentonite are being studied for backfilling of disposal tunnels and rock caverns.	Based on stipulated requirements on the functions of the backfill, the conclusion is that mixtures of bentonite and crushed rock, or bentonite and quartz sand, have proved suitable.	Based on more specific (compared to in RD&D-Programme 98) requirements on the functions of the backfill, the conclusion is drawn that: <ul style="list-style-type: none"> <li>• A mixture of 15% bentonite and 85% crushed rock may be suitable for a site with non-saline groundwater.</li> <li>• A mixture with a higher proportion of bentonite may be needed for a site with more saline groundwater.</li> <li>• The exact composition of the backfill material cannot be determined until the groundwater conditions on a particular site are known.</li> </ul>	Based on the functions of the backfill, three alternatives are being studied above all: <ul style="list-style-type: none"> <li>• A mixture of bentonite and crushed rock compacted in the tunnel.</li> <li>• Swelling clay compacted in place in the tunnel; Friedland Clay is the reference material, but many different clays are conceivable.</li> <li>• Precompacted blocks of Friedland Clay (many different clays are conceivable) are deposited in the tunnel.</li> </ul>	Based on stipulated requirements regarding the functions of the backfill, the programme indicates <i>either</i> for which technical areas known and proven technology exists that can be applied <i>or</i> for which areas technology development is needed.
		Functions: Provide mechanical stability and restore the hydrological conditions in the area.	Functions: Not mentioned.	Functions: Counteracts swelling-out of bentonite from deposition holes, prevents or limits flow of water in tunnel around canister positions, counteracts chemical transformation of the buffer.	Functions: No change compared to RD&D-Programme 95.	Functions: Constitutes no barrier in itself, but is necessary for the buffer and the rock to have the desired function.	Functions: No change compared to RD&D-Programme 2001.	Functions: Limit upward expansion of the buffer in the deposition hole (KBS-3V) and prevent the creation of hydraulic transport pathways in the deposition tunnels.
		Backfilling can be done progressively as deposition is concluded in a certain part of the final repository <i>or</i> all at once prior to closure of the repository.		For technical reasons it has been found suitable to backfill and close the deposition tunnels progressively as deposition proceeds.	Practical trials have commenced in the the Äspö HRL.  The need for permanent closures of deposition tunnels cannot be determined without knowledge of conditions on the selected site.	Materials and methods for backfilling and closure are being tested in the Äspö HRL.	Closures for different purposes are being studied: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temporary plugs at the mouth of deposition tunnels after they have been backfilled but while deposition is still going on nearby.</li> <li>• Permanent closures in the underground part, for example between different deposition areas.</li> <li>• Closures to prevent or hinder intrusion in the underground facility after it has been backfilled.</li> </ul>	Based on stipulated requirements on closure, the programme indicates <i>either</i> for which technical areas known and proven technology exists that can be applied <i>or</i> for which areas technology development is needed.

## The canister

Status report 1977 (KBS-1 report)	KBS-2 report 1978	KBS-3 report 1983	RD&D-Programme 92	RD&D-Programme 95	RD&D-Programme 98	RD&D-Programme 2001	RD&D-Programme 2004	RD&D Programme 2007
<p>The canister is fabricated of copper or a ceramic material. (Titanium had been proposed for canisters for vitrified high-level waste.)</p> <p><i>Reasons:</i> Material with a longer life than titanium is needed because the radioactivity of spent nuclear fuel declines more slowly than that of vitrified waste.</p>	<p>It is recommended that the canister be fabricated of copper, but studies of ceramic materials continue (hot isostatic pressing of powdered aluminium oxide).</p> <p><i>Reasons for copper:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermodynamically stable in the presence of water; other metals with this property (silver, gold, platinum) are too expensive.</li> </ul> <p>Mechanical loadbearing strength is provided by making the canister solid after filling it with <i>fuel rods</i>.</p>	<p>The canister is fabricated of copper.</p> <p><i>Reasons for copper:</i> No change compared to the 1978 KBS-2 report, but more elaborated.</p> <p>Mechanical loadbearing strength is provided by making the canister solid after filling it with <i>fuel assemblies</i>.</p>	<p><i>Main alternative:</i> The canister consists of a steel cylinder with an outer copper overpack or shell (called "composite canister" or "steel canister with copper shell").</p> <p>Mechanical loadbearing strength is provided by the steel cylinder.</p>	<p><i>Main alternative:</i> The canister consists of a cast inner container of steel, iron or bronze with holes (positions) for the fuel assemblies and an outer overpack or shell of copper.</p> <p>Mechanical loadbearing strength is provided by the cast inner container.</p>	<p>The canister consists of an outer corrosion barrier of copper and a pressure-bearing insert of nodular iron.</p> <p><i>Reasons for choice of copper as shell:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Has the service life that is needed.</li> <li>• Has minimal effect on other barriers.</li> </ul> <p>No change compared to RD&amp;D-Programme 95.</p>	<p>No change compared to RD&amp;D-Programme 98.</p> <p>No change compared to RD&amp;D-Programme 98.</p> <p>No change compared to RD&amp;D-Programme 95.</p>	<p>No change compared to RD&amp;D-Programme 98.</p> <p>No change compared to RD&amp;D-Programme 98.</p> <p>No change compared to RD&amp;D-Programme 95.</p>	<p>No change compared to RD&amp;D-Programme 98 (programme for continued development of the copper canisters, see below).</p> <p>No change compared to RD&amp;D-Programme 98.</p> <p>No change compared to RD&amp;D-Programme 95.</p>
	<p><i>Encapsulation method:</i> The <i>fuel rods</i> are placed in a prefabricated canister, the cavities are filled with molten lead, and a tight-sealing lid is applied by electron beam welding.</p>	<p><i>Alternative encapsulation methods:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Fuel assemblies</i> are placed in a prefabricated canister, the cavities are filled with molten lead, and a tight-sealing lid is applied by electron beam welding.</li> <li>• <i>Fuel assemblies</i> are placed in a prefabricated canister, the cavities are filled with copper powder, and a lid is fitted. The whole package is treated in a furnace for hot isostatic pressing, making it into a solid body.</li> </ul>	<p><i>Reasons for main alternative:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• An inner steel structure is designed to withstand the pressures that exist at the deposition depth.</li> <li>• A "cold" encapsulation process is less complicated than the processes with molten lead, or copper powder, and isostatic pressing of the cylinder.</li> </ul> <p><i>Backup alternative:</i> The canister consists of a lead-filled cylinder of solid copper as described in the 1983 KBS-3 report.</p> <p><i>Alternative encapsulation methods</i> are being investigated, for example filling the cavities between the fuel assemblies with sand or glass beads.</p>	<p><i>Reasons for main alternative:</i> A less complicated encapsulation process than filling of the spaces between the fuel assemblies in a steel cylinder. A cast insert is more robust against external loads and easier to design with regard to the risk of criticality.</p> <p><i>Backup alternative:</i> No change compared to RD&amp;D-Programme 92.</p>	<p>No change compared to RD&amp;D-Programme 95.</p>	<p>No change compared to RD&amp;D-Programme 95.</p>	<p>No change compared to RD&amp;D-Programme 95.</p>	<p>No change compared to RD&amp;D-Programme 95.</p>
		<p><i>Number of fuel assemblies per canister:</i> 8 or 9 BWR assemblies (depending on which encapsulation method is chosen).</p>	<p><i>Number of fuel assemblies per canister (main alternative):</i> 12 BWR assemblies, or 4 PWR assemblies.</p>	<p><i>Number of fuel assemblies per canister (main alternative):</i> No change compared to RD&amp;D-Programme 92.</p>	<p><i>Number of fuel assemblies per canister:</i> No change compared to RD&amp;D-Programme 92.</p>	<p><i>Number of fuel assemblies per canister:</i> No change compared to RD&amp;D-Programme 92.</p>	<p><i>Number of fuel assemblies per canister:</i> No change compared to RD&amp;D-Programme 92.</p>	<p><i>Number of fuel assemblies per canister:</i> No change compared to RD&amp;D-Programme 92.</p>

## The canister

Status report 1977 (KBS-1 report)	KBS-2 report 1978	KBS-3 report 1983	RD&D-Programme 92	RD&D-Programme 95	RD&D-Programme 98	RD&D-Programme 2001	RD&D-Programme 2004	RD&D Programme 2007
			<p><i>Alternative methods for fabrication of the copper shell:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hot pressing of copper tubes.</li> <li>Rolling and forming of a copper plate with a longitudinal weld.</li> </ul>	<p><i>Alternative methods for fabrication of the copper shell:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Roll forming or press brake forming of tube halves that are joined together by electron beam welding.</li> <li>Extrusion of whole tubes.</li> </ul>	<p><i>Procedure for fabrication of the copper shell:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Roll forming of rolled plate to tube halves that are joined together by electron beam welding.</li> <li>Bottoms and lids are machined from forged blanks; the bottoms are applied to the tubes by electron beam welding.</li> </ul>	<p><i>Procedure for fabrication of the copper shell:</i></p> <p>There are several different fabrication methods; choice of method should wait until factory design has been decided.</p>	<p><i>Procedure for fabrication of the copper shell:</i></p> <p>Four different methods have been used: roll forming, extrusion, pierce and draw processing and forging. Of these, extrusion gives the most reliable results.</p>	<p><i>Procedure for fabrication of the copper shell:</i></p> <p>Four different methods have been used: roll forming, extrusion, pierce and draw processing and forging. Of these, the last three are the most interesting.</p>
					<p>The nodular iron insert is cast in one piece with the bottom. The steel insert lid with valve is screwed on.</p>	<p>No change compared to RD&amp;D-Programme 98.</p>	<p>Trial fabrication of nodular iron inserts is under way.</p>	<p>No change compared to RD&amp;D-Programme 2004.</p>
			<p><i>Alternative welding methods for copper lid:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Electron beam welding (alt. 1).</li> <li>Friction stir welding (alt. 2).</li> </ul>	<p><i>Alternative welding methods for copper lid:</i></p> <p>No change compared to RD&amp;D-Programme 92.</p>	<p><i>Alternative welding methods for copper lid:</i></p> <p>Continued development work on electron beam welding.</p>	<p><i>Alternative welding methods for copper lid:</i></p> <p>Continued development work on electron beam welding, and studies friction stir welding.</p>	<p><i>Alternative welding methods for copper lid:</i></p> <p>Continued development work on electron beam welding and on friction stir welding.</p> <p>Systematic review of the encapsulation process prior to 2006 application for a permit to build the encapsulation plant.</p>	<p><i>Alternative welding methods for copper lid:</i></p> <p>From 2005, friction stir welding is the reference method; development work continues.</p>
<p><i>Dimensions of copper canister:</i></p> <p>Length: 4.9 m. Outside diameter: 91 cm. Inside diameter: 51 cm. Thickness of copper shell: 20 cm.</p> <p><i>Dimensions of ceramic canister:</i></p> <p>Length: 3 m. Outside diameter: 50 cm. Inside diameter: 30 cm.</p>	<p><i>Dimensions of copper canister:</i></p> <p>Length: 4.7 m. Outside diameter: 77 cm. Inside diameter: 37 cm. Thickness of copper shell: 20 cm.</p>	<p><i>Dimensions of copper canister:</i></p> <p>Length: 4.5 m. Outside diameter: 80 cm. Inside diameter: 60 cm. Thickness of copper shell: 10 cm.</p>	<p><i>Dimensions of canister:</i></p> <p>Length: 4.85 m. Outside diameter: 88 cm. Inside diameter: 68 cm. Wall thickness: 10 cm, of which 5 cm steel, 5 cm copper.</p>	<p><i>Dimensions of canister:</i></p> <p>Continued studies of exact dimensions of canister and of choice of material. Wall thickness: At least 10 cm, of which at least 5 cm cast inner container, 5 cm copper.</p>	<p><i>Dimensions of canister:</i></p> <p>Length: 4.83 m. Outside diameter: 105 cm. Inside diameter: 85 cm. Wall thickness: No change compared to RD&amp;D-Programme 95.</p>	<p><i>Dimensions of canister:</i></p> <p>Length: 4.835 m. Outside diameter: 105 cm. Inside diameter: 85 cm. Wall thickness: No change compared to RD&amp;D-Programme 95.</p>	<p><i>Dimensions of canister:</i></p> <p>No change compared to RD&amp;D-Programme 2001. Wall thickness: No change compared to RD&amp;D-Programme 95.</p>	<p><i>Dimensions of canister:</i></p> <p>No change compared to RD&amp;D-Programme 2001. Wall thickness: No change compared to RD&amp;D-Programme 95.</p>
				<p>Method development for nondestructive testing of canisters.</p>	<p>Continued method development for nondestructive testing of canisters.</p>	<p>Continued method development for nondestructive testing of canisters (being pursued at Canister Laboratory in Oskarshamn).</p>	<p>No change compared to RD&amp;D-Programme 2001.</p>	<p>Identification of a number of areas associated with material issues or strength issues where further efforts are required.</p>

## Bakgrund och avgränsning

Som påpekas i förordet har utvecklingsarbetet kring framtagandet av KBS-3-metoden alltsedan starten exponerats för ett starkt inflytande från samhället och dess organ.

Denna insyn och påverkan skedde inledningsvis genom ett traditionellt remissförfarande av KBS-rapporterna 1977, 1978 och 1983 genom regeringens försorg. Systemet hade sin legala grund i den så kallade villkorslagen år 1977. I den ställdes upp villkor när det gäller hantering av kärnkraftens avfall. Villkoren måste uppfyllas för att de reaktorer som vid den tidpunkten var uppförda eller planerade också skulle få tas i bruk. Det var regeringens sak att bedöma om de uppställda villkoren var uppfyllda i varje enskilt fall.

Lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet, som ersatte bland annat villkorslagen, innebär att det fortsatta utvecklingsarbetet sker inom ramen för ett system som entydigt lägger ansvaret hos kärnkraftsindustrin, samtidigt som samhällets organ har legala möjligheter att korrigera inriktningen av utvecklingsarbetet om så bedöms önskvärt.

Systemet innebär bland annat att innehavarna av kärnkraftsreaktorer vart tredje år ska redovisa hur utvecklingsarbetet kring omhändertagandet av kärnkraftens restprodukter fortgår. Uppgiften att utforma dessa redovisningar – och att genomföra nödvändiga steg från forskning till drift och förslutning – har reaktorinnehavarna lagt på Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB. De två första redovisningarna (åren 1986 och 1989) kallades FoU-program, men sedan år 1992 används benämningen Fud-program<sup>16</sup>. Statliga förvaltningsmyndigheter, universitet och högskolor, kommuner samt olika sammanslutningar bland allmänheten, exempelvis miljöorganisationer, granskar dessa redovisningar. De synpunkter som kommer fram vid granskningen ställs samman av den myndighet som regeringen bestämmer – sedan år 2008 ligger uppgiften hos Strålsäkerhetsmyndigheten – som ett underlag för regeringens ställningstagande till programmet. Regeringen har möjlighet att ställa villkor för den fortsatta forsknings- och utvecklingsverksamheten. Frågorna uppmärksammas dessutom i riksdagen av ledamöter från alla politiska partier och i massmedia.

Den metod för slutförvaring av använt kärnbränsle som SKB föreslår utgör alltså resultatet av ett tekniskt och naturvetenskapligt utvecklingsarbete som reaktorägarna startade under 1970-talet. Detta utvecklingsarbete har alltsedan starten och fram till våra dagar präglats av ett slags växelverkan mellan teknik, vetenskap och politik. SKB bedömer att denna växelverkan, och särskilt de regelbundna återkommande granskningarna av Fud-program har varit av stort värde. Detta gäller även granskningen av SKB:s arbete med säkerhetsanalyser och av SKB:s så kallade Plan-rapporter (se nedan).

I föreliggande rapport belyses utvecklingen inom ett antal områden som har central betydelse för säkerheten i ett KBS-3-förvar. Det är områden som i SKB:s Fud-program 2007 går under benämningen berglinjen, buffertlinjen, kapsellinjen, återfyllningslinjen och förslutningslinjen. Därutöver har frågor om eventuellt återtagande av deponerade kapslar, om varianter av KBS-3, om deponeringsteknik samt om säkerhetsanalys uppmärksammats, liksom naturligtvis även ett antal ämnesövergripande frågor.

SKB har i skilda sammanhang presenterat analyser av den långsiktiga säkerheten för ett slutförvar för använt kärnbränsle. En första sådan säkerhetsanalys utgjorde en del av den så kallade KBS-2-rapporten. En mer ingående säkerhetsanalys ingick i den rapport år 1983 där metoden presenterades mer i detalj, den så kallade KBS-3-rapporten. Därefter har SKB presenterat säkerhetsanalyser benämnda SKB 91 (1992), SR 97 (1999) och SR-Can (2006; Can, från engelskans canister – kapsel). SKB publicerade även år 1995 dokumentet SR 95 Mall för säkerhetsrapporter, vilket kom att utgöra ett underlag för analysen i SR 97. Vidare presenterade SKB år 2004 en interimsversion av SR-Can, fokuserad på metodik.

De erfarenheter som dragits av arbetet med de tidigare säkerhetsanalyserna utgör viktiga utgångspunkter inför den säkerhetsanalys, SR-Site (Site – plats), som avses utgöra underlag för

<sup>16</sup> Fud står för Forskning, utveckling och demonstration.

ansökningarna om tillstånd att anlägga ett slutförvar för använt kärnbränsle i Forsmark. De olika säkerhetsanalyserna är gjorda med utgångspunkt från den utformning som KBS-3-metoden har haft vid olika tidpunkter och de speglar hur metoden har utvecklats. Redogörelser för huvudinnehållet i dessa säkerhetsanalyser ingår därför i föreliggande rapport.

Också dåvarande Statens kärnkraftinspektion har redovisat rapporter om metodutveckling kring säkerhetsanalys och då utgått från KBS-3-systemet sådant det presenterats av SKB vid den aktuella tidpunkten. En redogörelse för huvudinnehållet i dessa säkerhetsanalyser har också inarbetats i föreliggande rapport.

Utvecklingen av metoder för säkerhetsanalysen har varit en viktig del av utvecklingen av KBS-3-metoden. Arbetet med säkerhetsanalyser har lett till förbättrad förståelse och kunskap om viktiga processer i förvaret över tid och, som följd av detta, nya eller förbättrade metoder för att beskriva dessa processer. En närmare redovisning av hithörande frågeställningar skulle emellertid bli relativt omfattande och har därför lämnats utanför denna rapport.

Det finns ytterligare ett område av central betydelse för säkerheten i ett KBS-3-förvar där omfattande studier har pågått alltsedan arbetet med konceptet direktförvaring av använt kärnbränsle påbörjades. Redan i KBS-2-rapporten år 1978 konstaterades att det använda kärnbränslet från de svenska kärnkraftsreaktorerna är svårslösligt och att bränslet därför i sig verkar som en mycket viktig barriär mot spridning av radioaktiva ämnen. Fortsatta studier av bränsleupplösning har gjorts och redovisats i Fud-programmen. Resultaten har bekräftat bränslets svårslöslighet och har därmed gett en ökad trovärdighet åt direktförvaring av använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden. En närmare redovisning av resultatet av dessa studier har emellertid bedömts föra alltför långt och de tas sålunda inte upp i denna rapport.

För att täcka kostnaderna för bland annat forskning, utveckling och genomförande av slutförvaring av använt kärnbränsle infördes i början av 1980-talet ett finansieringssystem vars grundprinciper gäller fortfarande. Systemet innebär att kärnkraftverkens ägare ska betala avgifter till av staten förvaltade fonder. Ur dessa fonder har ägarna rätt att få ersättning för sina löpande kostnader för att ta hand om det använda kärnbränslet. Storleken av avgifterna beslutas av regeringen efter förslag av myndighet som regeringen bestämmer (numera Strålskyddsmyndigheten). SKB har att beräkna de kostnader som behöver täckas. Kostnadsberäkningarna har skett årligen under perioden 1982–2008<sup>17</sup> och presenterats i så kallade Plan-rapporter. Kostnadsberäkningarna i dessa rapporter är baserade på ett antal grundläggande antaganden om och beskrivningar av hur slutförvaring av använt kärnbränsle kommer att gå till.

Läsaren uppmärksammas på att redovisningen i del II är inriktad på de delar av forsknings- och utvecklingsprogrammen sedan år 1986 som belyser SKB:s arbete med att utveckla KBS-3-metoden. Det innebär att andra väsentliga delar av programmen skildras ofullständigt eller inte alls. Det gäller bland annat SKB:s studier och värdering av andra metoder än KBS-3 samt arbetet med att välja en lämplig plats för ett slutförvar för använt kärnbränsle.

---

<sup>17</sup> Sedan år 2008 ska kostnadsberäkningarna redovisas vartannat och från år 2011 vart tredje år.

## **Del I**

**KBS-3-metoden tar form – utvecklingsarbetet  
fram till mitten av 1980-talet**



# 1 Kärnavfallsfrågan förs upp på den politiska dagordningen

## 1.1 Ett svenskt kärnkraftsprogram växer fram

Redan hösten 1945 hade staten och näringslivet i samverkan beslutat sätta igång forskning kring vad som då kallades ”atomenergin”. Det var fråga om en satsning där forskningspolitiska, energipolitiska och industripolitiska motiv dominerade, samtidigt som det också fanns en militär aspekt. I det första betänkandet av den av regeringen tillsatta så kallade atomkommittén i mars 1946 underströks ”de förhoppningar, som de nya framstegen inom kärnforskningen och dess tillämpningar väckt, att en ny och mäktig energikälla skall kunna ställas i det fredliga framåtskridandets tjänst” /1-1 s 7/.

I mitten av 1950-talet hade elkraften slagit igenom som en bärande infrastruktur både för hushållens välfärdsutveckling och för industrins produktionsförutsättningar. En fortsatt ökning av elproduktionen sågs allmänt som en förutsättning för en fortsatt välfärdsutveckling. Den fredliga användningen av ”atomkraft” för att producera el kunde vara lösningen när vattenkraftstillgångarna snart var helt utbyggda samtidigt som kol- eller oljebaserade kraftverk sågs som ett från försörjningssynpunkt alltför osäkert kort. Det var denna vision som ledde de första efterkrigsdecenniernas rikspolitiker och ledare inom näringslivet till en unikt stor satsning på den nya teknologin. Snabbt kom det fram betydande resurser för utbyggnad av universitetsinstitutioner och annan forskningspotential.

Satsningarna under de närmaste två decennierna kom att fokuseras på forskningsreaktorer och på att utveckla den ”svenska linjen” med tungvattenreaktorer för produktion av fjärrvärme och elkraft. En bärande tanke var att så långt möjligt med inhemska resurser utveckla lämpliga reaktorer och att som bränsle utnyttja uran från de betydande svenska tillgångarna. Några forskningsreaktorer togs i bruk under 1950-talet. År 1958 godkände riksdagen planer på en kraftreaktor som skulle förläggas till Marviken (nordöst om Norrköping). Konstruktionen var dock omstridd och projektet lades ner år 1970, bland annat sedan det stod klart att det var nödvändigt att bygga om viktiga säkerhetssystem. En kraftvärmereaktor (Ågesta) försörjde åren 1964–1974 södra delarna av Stor-Stockholm med värme och producerade även begränsade mängder el.

Avgörande för utvecklingen av det svenska kärnkraftsprogrammet – liksom i en rad andra länder – blev i stället det faktum att de tre dåvarande kärnvapenmakterna (USA, Sovjetunionen och Storbritannien) år 1955 hade markerat att de var villiga att frisläppa stora mängder tidigare hemlighållna information kring kärnklyvningsprocessen. I mitten av 1960-talet stod det alltmera klart att teknikutvecklingen i framför allt USA visade att lättvattentekniken skulle komma att dominera när det gällde kärnkraftverk.

Oskarshamns Kraftgrupp AB (OKG) ansökte år 1965 om koncession för den lättvattenreaktor som kom att bli den första kärnkraftsreaktorn i Sverige (Oskarshamn 1). Året därpå tillsatte regeringen en ”atomenergiutredning” för att se över organisationen och finansieringen av det industriella utvecklingsarbetet kring kärnkraften. Detta utvecklingsarbete fick en alltmer tydlig näringspolitisk inriktning. Mellan åren 1968 och 1972 beställde ägarna till de blivande kärnkraftverken i Oskarshamn, Ringhals, Barsebäck och Forsmark ytterligare sju lättvattenreaktorer (Oskarshamn 2, Ringhals 1, 2 och 3, Barsebäck 1 och 2 samt Forsmark 1).

Det bör emellertid framhållas att detta ”kärnkraftsprogram” inte utgjorde resultatet av några entydiga energipolitiska riktlinjer som riksdag och regering hade fattat beslut om. I stället utgjorde det resultatet av olika kraftproducenters – privatägda såväl som kommun- och statsägda – initiativ. Denna satsning på utbyggnad av kärnkraften ifrågasattes före år 1972 inte av något av de dåvarande fem riksdagspartierna.

Att hantering av radioaktivt avfall måste ske med omsorg och försiktighet stod klart tidigt. Mängderna avfall från den svenska kärnforskningen var emellertid förhållandevis små innan de kommersiella kraftreaktorernas intåg på arenan. Frågor om kärnavfall fick under dessa decennier endast begränsad uppmärksamhet i den allmänna debatten och knappast alls hos ledande politiker i riksdagspartierna.

## 1.2 Kärnavfallsfrågan förs in i politiken

Åren kring 1970 kom – under inflytande av en diskussion som hade sitt ursprung i USA – diskussioner kring kärnavfallsfrågan att spela en viktig roll i den energipolitiska debatt om kärnkraftens roll som då startade. Kritiska röster menade att frågorna om omhändertagande av avfallet från kärnkraften hade försumrats och att det skulle vara oansvarigt att fortsätta kärnkraftsutbyggnaden innan avfallsfrågorna hade fått en tillfredsställande lösning.

Första gången som avfallshanteringsfrågorna behandlas mer ingående i ett dokument som var avsett för spridning utanför kretsen av rena experter var sannolikt år 1971. Dokumentet publicerades av Industridepartementet med titeln Upparbetning av kärnbränsle – studie av arbetsgrupp inom industri-, jordbruks- och civildepartementen /1-2/. Bakgrunden var att staten hade köpt in ett landområde vid Sannäs i Bohuslän. Detta område bedömdes vara tänkbart för lokalisering av en svensk upparbeitungsanläggning och även som plats för slutförvaring av avfallet från en sådan anläggning. Planerna hade mött kraftigt lokalt motstånd år 1969 och i början av år 1970. I studien, som är daterad mars 1971, konstaterades att möjligheter att upparbeta det använda kärnbränslet erbjöds utomlands, men att ansvaret för avfallet från upparbetningen måste ligga hos ursprungslandet. Att det skulle finnas metoder för en säker slutförvaring av upparbeitungsavfallet ifrågasattes inte i arbetsgruppens rapport.

Avfallsproblemen berördes ett år senare i en proposition om Sveriges försörjning med kärnbränsle /1-3/ som den socialdemokratiska regeringen lämnade till riksdagen. Regeringens syn var att ”förvaringen utgör inget omedelbart problem för Sveriges del, eftersom avfallet tas om hand vid upparbetningen i utländska anläggningar av bränselement från svenska reaktorer” (s 32). Det tillades dock att på längre sikt måste sannolikt möjligheter skapas för en förvaring inom landet. Riksdagens näringsutskott kommenterade inte detta uttalande i sitt betänkande /1-4/ med anledning av propositionen. Men utskottets centerpartister fogade till betänkandet ett särskilt yttrande där de fäste uppmärksamheten på problem kring kärnavfallshanteringen. De menade ”att det kan bli svårt att i Sverige finna platser som från geologisk och hydrologisk synpunkt är lämpliga för nedgrävning av radioaktivt avfall” (s 7).

Nobelpristagaren och plasmafysikern Hannes Alfvén framträdde sommaren 1972 med ett föredrag vid en ”alternativ” parallellkonferens (Folkets forum) till FN:s miljökonferens i Stockholm. Hans budskap var att någon acceptabel metod för att långsiktigt ta hand om kärnkraftens radioaktiva avfall på ett säkert sätt inte stod till buds och att kärnkraftsutbyggnaden därför borde stoppas omedelbart.

Inom centerpartiets riksdagsgrupp hade Birgitta Hambraeus börjat intressera sig för kärnkraftsfrågorna och blev under år 1972 alltmer skeptiskt inställd, bland annat efter kontakter med Alfvén och kärnkraftskritiker från USA i samband med FN:s miljökonferens. Hon menade att de svar som hon fick av olika specialister på frågor om avfallshanteringen var långtifrån tillfredsställande och att förespråkarna för kärnkraften inte ägnade avfallsfrågorna tillräcklig uppmärksamhet. I oktober 1972 tog hon i en interpellation i riksdagen upp frågorna kring det högaktiva kärnkraftsavfallet och begärde att industriministern (Rune Johansson) skulle klargöra den socialdemokratiska regeringens inställning. En av hennes frågor gällde om det var moraliskt försvarbart ”att producera ämnen som måste övervakas och skötas med tekniskt komplicerade metoder av kommande generationer i oöverskådlig framtid”. En annan fråga var om de ökande mängderna högaktivt avfall från kärnkraftverken utgjorde ett tillräckligt stort problem för att regeringen skulle hänskjuta frågan om fortsatt kärnkraftsutbyggnad till riksdagens prövning. Hennes interpellation innebar det första ifrågasättandet i riksdagen av kärnkraftsutbyggnaden, och då med avfallsproblematiken som främsta argument<sup>18</sup>.

Industriministern anförde i sitt svar på interpellationen i slutet av november 1972 /1-5/ att avfallsproblematiken inte föranledde någon omprövning av det svenska kärnkraftsprogrammet (s 34 ff).

<sup>18</sup> Det bör understrykas att det kärnavfall som Birgitta Hambraeus främst syftade på var det högaktiva avfallet från *upparbetning* av det använda kärnbränslet. Använt kärnbränsle sågs allmänt vid denna tid inte som ett avfall utan som en resurs för fortsatt utnyttjande och delvis återanvändning efter upparbetning. Inte minst hoppades man att kunna utnyttja det använda kärnbränslet från lättvattenreaktorerna i framtida så kallade bridreaktorer. Alternativet med direktdeponering av använt kärnbränsle sågs snarast som ett slöseri med potentiella energiresurser och hade vid denna tid ännu inte någon aktualitet.

Svaret innehöll samtidigt ett erkännande av att det ännu inte fanns någon internationellt accepterad slutlig lösning på avfallsproblemet. Men industriministern räknade med att ”helt tillfredsställande metoder” skulle stå till buds i framtiden när slutförvaring av avfallet blev aktuellt. I svaret aviserade industriministern också att en parlamentariskt sammansatt utredning om kärnavfallsfrågorna skulle tillsättas. Så skedde också några veckor senare (om denna utredning, se avsnitt 1.3).

## 1.3 Aka-utredningen

### 1.3.1 Uppdrag

Regeringens direktiv för utredningen utformades ursprungligen mot bakgrund av den då förhärskande synen att använt kärnbränsle inte utgjorde kärnavfall utan en resurs för fortsatt utnyttjande efter upparbetning. I maj 1974 fick utredningen tilläggsdirektiv av innebörd att uppgiften utvidgades till att omfatta även ”frågor rörande hantering och förvaring av låg- och medelaktivt avfall”. Utredningen blev känd under kortformen ”Aka-utredningen”<sup>19</sup>. Arbetet leddes av dåvarande landshövdingen och tidigare statsrådet Gösta Netzén. I kommittén ingick så småningom såväl riksdagsledamöter från alla partier som expertis från olika fackområden.

I slutbetänkandet år 1976 /1-6/ sammanfattade utredningen de frågor som skulle behandlas i följande tio punkter (s 7-13):

1. Analysera de tekniska, ekonomiska och säkerhetsmässiga problemen vid upparbetning av använt kärnbränsle, vid behandling och förvaring av radioaktivt avfall samt vid transporter av radioaktivt material.
2. Ange lämpliga metoder för hantering av radioaktivt avfall i Sverige med hänsyn till landets speciella förutsättningar.
3. Undersöka om hanteringen av det låg- och medelaktiva avfallet kan samordnas med omhändertagandet av det högaktiva avfallet.
4. Studera möjligheterna att bygga en upparbetningsanläggning i Sverige och därvid beakta möjligheterna till samlokalisering med bl a kärnkraftverk och med förvaringsanläggning för radioaktivt avfall.
5. Bedöma behovet av ett svenskt forsknings- och utvecklingsarbete på avfallsområdet samt eventuellt föreslå allmänna riktlinjer för ett sådant.
6. Undersöka möjligheterna till internationellt och i synnerhet nordiskt samarbete i frågor som rör radioaktivt avfall.
7. Överväga organisatoriska former för avfallshanteringen varvid som förutsättning gäller att staten ska ombesörja den verksamhet som rör den slutliga förvaringen.
8. Föreslå former för finansiering av behandling, transport och förvaring av radioaktivt avfall samt av forsknings- och utvecklingsprogram, varvid som förutsättning gäller, att kostnader skall bäras av den som ger upphov till avfallet.
9. Översiktligt bedöma hur stora insatser som behövs för en tillfredsställande svensk beredskap på upparbetnings- och avfallsområdet.
10. Komplettera befintlig lagstiftning.

### 1.3.2 Viktigare händelser under utredningstiden

Aka-utredningen arbetade åren 1973–1976 och i en tid med tilltagande opinionsbildning mot kärnkraftssatsningen. Samtidigt skedde en partipolitisering av både kärnkrafts- och kärnavfallsfrågorna. De överväganden och förslag som utredningen presenterade bör ses mot bakgrund av ett antal viktigare händelser som föranleddes av och/eller påverkade detta politiska skeende. I det följande antyds några av dessa händelser.

<sup>19</sup> Akronymen Aka stod för ”Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall” (upplysning september 2009 från Philip Moding, huvudsekreterare i utredningen).

- *Riksdagsbeslut år 1973 om temporärt stopp för kärnkraftsutbyggnaden.* Av en redogörelse som den socialdemokratiska regeringen i januari 1973 lämnade till riksdagen /1-7/ hade framgått att kraftindustrin planerade för en utbyggnad med ytterligare 13 reaktorer utöver de elva (Barsebäck 1 och 2, Ringhals 1, 2, 3 och 4), Oskarshamn 1, 2 och 3 samt Forsmark 1 och 2) som redovisades såsom ”färdigställda, beställda eller planerade” (s 86). Riksdagens näringsutskott tog initiativ till en hearing med experter och forskare om avfallsfrågorna. Utskottsmajoritetens slutsats /1-8/ – som riksdagen ställde sig bakom – blev att inga beslut om ytterligare utbyggnad av kärnkraften ”bör fattas förrän ett nytt, allsidigt beslutsunderlag, innefattande bl a information om forskningsresultat och utvecklingstendenser, har förelagts riksdagen” (s 19). Centerpartiet och vänsterpartiet reserverade sig till förmån för en mer kärnkraftsrestriktiv skrivning och markerade här för första gången i riksdagen en länge bestående politisk motsättning rörande kärnkraftspolitiken, bland annat med hänvisning till avfallsproblematiken.
- *Tillkomsten åren 1972–1973 av Svensk Kärnbränsleförsörjning AB (SKBF).* I början av år 1973 inregistrerades det företag, Svensk Kärnbränsleförsörjning AB (SKBF), som hösten 1984 fick sitt nuvarande namn, Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB). Bakgrunden var ett förslag i den i avsnitt 1.2 nämnda propositionen om Sveriges försörjning med kärnbränsle. Förslaget innebar att det skulle ingås ett konsortialavtal mellan Statens Vattenfallsverk och övriga kärnkraftsproducenter (kommun- och privatägda) om att bilda ett särskilt aktieföretag för att säkerställa försörjningen av nytt kärnbränsle till de svenska kraftreaktorerna. Riksdagen ställde sig bakom förslaget och en interimstyrelse för bolaget tillsattes sommaren 1972. Men i och med att frågorna om kärnavfall kom mer i fokus, ökade behovet av samverkan mellan reaktorinnehavarna även på detta område och bolaget kom snabbt att få en betydelsefull roll som beställare av forskning och teknikutveckling kring hantering av olika typer av kärnavfall. Regeringen hade redan i direktiven för Aka-utredningen (se avsnitt 1.3.1) uttalat att som förutsättning för utredningens förslag om former för finansiering av ”behandling, transport och förvaring av radioaktivt avfall samt av forsknings- och utvecklingsprogram” skulle gälla ”att kostnader skall bäras av den som ger upphov till avfallet”. Det sågs sannolikt som naturligt att bolagets verkställande direktör (Erik Svenke) förordnades som expert till Aka-utredningen, något som i sin tur troligen ytterligare bidrog till att förstärka SKBF:s roll som reaktorinnehavarnas specialorgan på avfallshanteringsområdet.
- *Begynnande diskussion om upparbetning.* Fram till i början av 1970-talet fanns i Europa konkurrens om att erbjuda upparbetningstjänster. Ägaren till de två första kärnkraftsreaktorerna i Oskarshamn hade tidigt lyckats ingå ett kontrakt om att kunna sända 140 ton använt kärnbränsle till England för upparbetning. Men några år in på 1970-talet förändrades situationen på upparbetningsmarknaden helt. Planer fanns visserligen på stora utbyggnader av upparbetningskapaciteten i de engelska och franska anläggningarna och även på en ny upparbetningsanläggning i dåvarande Västtyskland. Men den snabba utbyggnaden av kärnkraft i Europa förutsågs ändå leda till en flaskhals i slutet av 1970-talet när det gällde kapacitet för upparbetning av de stora volymer använt kärnbränsle som då skulle bli aktuella.

Frågor om kontrakt för upparbetningstjänster avseende det använda bränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet kom i ökande utsträckning att handläggas inom ramen för SKBF. Under mitten av 1970-talet ägde förhandlingar rum med olika upparbetningsanläggningar med syfte att komma fram till överenskommelser om upparbetning av allt använt kärnbränsle från de elva reaktorer som det svenska kärnkraftsprogrammet då omfattade.

Men samtidigt började man från både säkerhetspolitiska och kommersiella utgångspunkter i många stater – däribland i Sverige – ifrågasätta själva grundidén med upparbetning. Med viss förenkling kan man säga att följande två frågor började kräva svar: Kunde man vara säker på att det inte fanns risk för att det plutonium som avskiljdes genom upparbetningen kom till användning vid framställning av kärnvapen? Var det verkligen rimligt att betala de sannolikt ökande priserna på upparbetningstjänster för att få fram nytt kärnbränsle innehållande plutonium när priset på råvaran uran sjunkit till nivåer som innebar att nytt ”färskt” kärnbränsle från uranmalm blev betydligt billigare? Härtill kom en växande insikt om svårigheterna att få de planerade storskaliga och kostsamma upparbetningsanläggningarna att fungera med tillfredsställande tillförlitlighet och säkerhet samt på ett miljömässigt godtagbart sätt.

- *Riksdagsbeslut år 1975 om högst 13 kärnkraftreaktorer.* Våren 1975 föreslog den socialdemokratiska regeringen att riksdagen skulle besluta om vissa riktlinjer inom det energipolitiska området /1-9/. Dessa riktlinjer innebar bland annat ”en fortsatt försiktig utbyggnad av kärnkraften” med två reaktorer (lokaliserade till Forsmark) utöver de elva som det hittills fanns beslut om (s 20).

Aka-utredningen hade i juni 1974 lämnat en lägesrapport, Kärnkraftens högaktiva avfall /1-10/, till industriministern. I propositionen om energipolitiska riktlinjer /1-9/ återgavs huvudinnehållet i denna rapport, bland annat utredningens uppfattning att det inte hade funnit några skäl som talade mot att avfallsproblemen tekniskt och säkerhetsmässigt är möjliga att lösa. Regeringens slutsats var att ”det behövs ett inhemskt utvecklingsarbete på avfallsområdet för att anpassa metoder för avfallshanteringen till de speciella svenska förhållandena” och att det var Aka-utredningens uppgift att ge förslag till ett lämpligt program för ett sådant arbete (bilaga 1 s 425–426).

En majoritet i riksdagen ställde sig bakom regeringens uppfattning att det svenska kärnkraftsprogrammet skulle omfatta högst 13 reaktorer. Motsättningarna i kärnkraftsfrågan mellan centerpartiet och vänsterpartiet på den ena sidan och övriga partier på den andra hade nu blivit ännu tydligare. I de två kärnkraftskritiska partiernas motiveringar för att avslå de föreslagna riktlinjerna för kärnkraftutbyggnaden nämndes avfallsproblematiken, men tonvikten låg på risker i samband med driften av kärnkraftverk och på risken för bidrag till kärnvapenspridning /1-11/.

- *Programrådet för radioaktivt avfall skapas år 1975, m m.* Forsknings- och utvecklingsarbete kring frågorna om hantering av i första hand det låg- och medelaktiva kärnavfallet hade kommit igång år 1973 i regi både av det statsägda AB Atomenergi och av kärnkraftproducenterna. Våren 1975 beslöt kraftindustrin att genom SKBF finansiera vissa insatser vid AB Atomenergi som en start på ett forsknings- och utvecklingsprogram för högaktivt kärnavfall. Olika statliga myndigheter anslog också medel för forskningsinsatser på avfallshanteringsområdet. Ett samlat grepp behövdes och i en särskild skrivelse till industriministern föreslog Aka-utredningen hösten 1975 att ett ansvarigt programråd eller organ skulle inrättas med uppgift att inrikta och följa upp pågående och ytterligare behövligt utvecklingsarbete om kärnkraftens radioaktiva avfall. Rådet – som förutsattes fungera som en tillfällig lösning i avvaktan på utredningens kommande förslag – borde stå självständigt gentemot kärnkraftindustrin men arbeta i nära kontakt med denna. Kostnaderna borde bäras av industrin.

Regeringen beslöt i november 1975 att tillsätta Programrådet för radioaktivt avfall (PRAV) med uppgifter i huvudsak enligt de riktlinjer som Aka-utredningen hade föreslagit. Rådet kansli lokaliserades till samma adress som SKBF. För rådets arbete preciserades följande fem delprogram:

1. Hantering av reaktoravfall.
2. Lagring av använt kärnbränsle och reaktorkomponenter.
3. Upparbetning och överföring av högaktivt avfall i fast form samt alternativa metoder till upparbetning.
4. Slutlig förvaring av radioaktivt avfall.
5. Internationellt samarbete och övriga stödjande uppgifter av FoU-karaktär.

Arbetet inom PRAV kom igång under våren 1976. Men det faktum att avfallshanteringsfrågan några månader senare kom att få en central politisk betydelse, ledde till att förutsättningarna för PRAV:s arbetsuppgifter blev annorlunda än vad som avsetts vid starten. Ansvar för det tekniska utvecklingsarbetet kom att ligga hos SKBF och i början av 1980-talet avvecklades PRAV /1-12/.

### **1.3.3 Överväganden om organisation för och finansiering av omhändertagande av kärnkraftens högaktiva avfall**

Aka-utredningen presenterade sitt slutbetänkande i april 1976. Dess arbete kom att lägga grunden för bland annat den mellanlagring av använt kärnbränsle som sedan år 1985 sker i det centrala mellanlagret för använt kärnbränsle (Clab) i Oskarshamn samt för ett från hösten 1976 intensifierat utvecklingsarbete kring frågorna om slutligt omhändertagande av det högaktiva avfallet från kärnkraftverken, inklusive det använda kärnbränslet. Innebörden av utredningens viktigare överväganden kan sammanfattas i följande punkter /1-6 s 7–13 och 84–98/:

- Använt kärnbränsle bör lagras i en central anläggning i avvaktan på att det kan upparbetas. Anläggningen bör kunna tas i bruk senast år 1982 och kunna byggas ut i etapper.
- Kraftföretagen bör snarast säkra tillgång till ett transportsystem för använt kärnbränsle, baserat på järnväg eller båt.
- Förberedande arbete bör starta för att bygga en svensk upparbetningsanläggning.

- Studier bör påbörjas i syfte att närmare klarlägga förutsättningarna att betrakta använt kärnbränsle uteslutande som avfall och hur det då bör slutförvaras direkt. Utredningen betonade samtidigt att den förordade upparbetning då dess utgångspunkt var att använt kärnbränsle utgjorde en energiresurs, eftersom energiinnehållet i uranet och plutoniet borde tas till vara.
- Planering bör påbörjas med sikte på att en anläggning för slutförvaring av högaktivt avfall från upparbetning ska stå färdig cirka år 1990, det vill säga den tidpunkt när man bedömde att avfallet från redan kontrakterade utländska upparbetningstjänster skulle komma att återsändas. Anläggningen bör helst lokaliseras i närheten av den svenska upparbetningsanläggning som utredningen förordade.
- Låg- och medelaktivt avfall bör lagras i en central anläggning. Planeringen av en anläggning för långtidsförvaring av sådant avfall bör samordnas med planeringen av anläggningen för slutförvaring av högaktivt avfall.
- Ansvaret för att ta hand om radioaktivt avfall bör i första hand vila på det företag eller den institution där avfallet uppstår.
- En särskild statlig organisation bör bildas för ”all långsiktig hantering av radioaktivt avfall och därmed sammanhängande arbetsuppgifter”.
- SKBF bör få en central roll i det fortsatta forsknings- och planeringsarbetet med avfallshanteringsfrågorna.
- Kostnaderna för alla nödvändiga åtgärder bör bäras av dem som producerar avfallet, det vill säga i första hand kärnkraftsindustrin. Alternativa lösningar för att säkerställa finansieringen av framtida kostnader antyddes.

### 1.3.4 Överväganden kring metoder för omhändertagande av kärnkraftens högaktiva avfall

Redan i den i avsnitt 1.3.2 nämnda lägesrapporten år 1974 /1-10/ hade utredningen beskrivit pågående utvecklingsarbeten i andra länder för hantering av högaktivt kärnavfall. Utredningen hade i det sammanhanget även redovisat hur den geologiska fackmyndigheten i Sverige – Sveriges Geologiska Undersökning – såg på möjligheterna att i svensk berggrund deponera högaktivt kärnavfall i fast form. Den analysen kom att bilda utgångspunkten för utredningens fortsatta överväganden.

Utredningen redovisade i slutbetänkandet /1-13/ de tekniker som användes för upparbetning av använt kärnbränsle samt de metoder som man i andra länder hade utvecklat eller höll på att utveckla för slutförvaring av det högaktiva avfallet från upparbetning (s 45–112). Det utvecklingsarbete som gick ut på att förglasa det flytande högaktiva upparbetningsavfallet bedömdes som särskilt lovande och ett särskilt kapitel ägnades åt att diskutera förutsättningarna för slutlig förvaring av högaktivt fast avfall i svensk berggrund. Utredningens slutsats var (s 126):

”att förvaring av förglasat högaktivt avfall i berggrunden är en metod som i allt väsentligt kan bygga på dagens teknik i fråga om gruvbrytning, bergborrning, bergtätning, kärnbränsleupparbetning, framställning av förglasat avfall och inkapsling. Med denna metod kan berggrundens täthet, avfallsglasets svårslöslighet och en vattentät, i berget beständig inkapsling beräknas ge ett trefaldigt skydd mot avfallets spridning med grundvattnet. Ytterligare skydd kan åstadkommas genom att omge varje avfallscylinder med ett lager av jonuppfångande lera. Utöver detta finns ett mycket gott naturligt skydd mot att avfallet skall nå jordytan genom grundvattnets långa uppehållstid i berggrunden och de naturliga adsorptionsprocesserna, men dessa moment kan idag inte överblickas på motsvarande sätt. Däremot är möjligheterna goda att tekniskt kontrollera avfallet och dess närmaste omgivning, och det bedöms som ytterst sannolikt att avfall, som förvaras i gott berg på föreslaget sätt ännu efter hundratusen år inte har kommit i beröring med grundvattnet.”

Utredningen beskrev den tänkta berganläggningen enligt i huvudsak följande (s 119–120):

”Den består ... av ett schakt till önskat djup, ett system av orter (tunnlar) för att köra ut avfallsbehållarna, och slutligen borrhål förvaringshål, i vilka avfallet skall placeras... Proportionen mellan schakt, orter och borrhål kan variera inom vida gränser. Runt schakt och orter finns en s k löskärna,

dvs en zon med uppsprucket berg som bildas vid sprängningsarbetena. Utanför denna zon har berget sina ursprungliga egenskaper.

Under anläggningstiden och driften kommer den hydrauliska gradienten att vara riktad in mot bergrummet, vilket kan resultera i inläckning från vattenförande sprickor. Detta ger i så fall goda möjligheter att klarlägga deras förekomst och att i viss utsträckning tätas dem, samt att placera ut lämpliga mätceller för att i framtiden övervaka grundvattnets nivå och sammansättning.

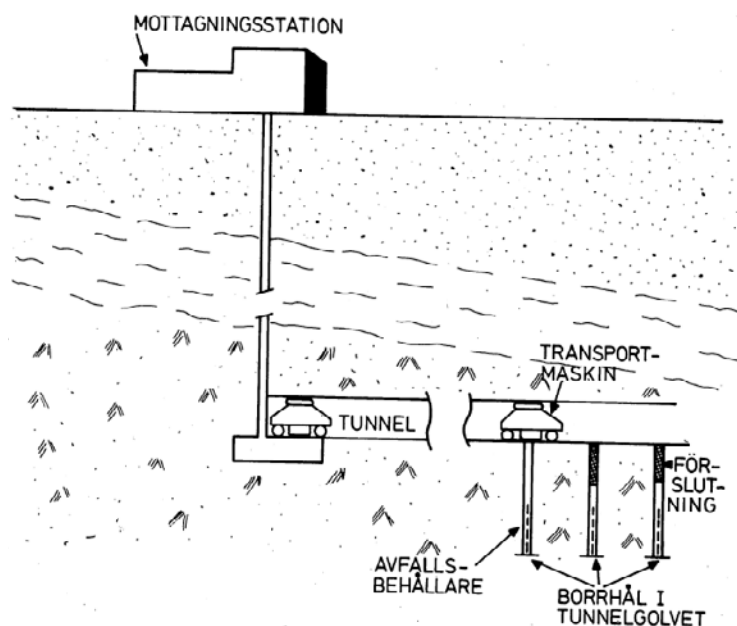
När driften läggs ned fyller man igen anläggningen med lösa fyllnadsmaterial, t ex sprängsten eller sand och jord, och försluter schaktet med betong för att återställa markytan och minska åtkomligheten. Självfallet kan avfallet förvaras så att det blir åtkomligt igen om man så önskar. Kontrollmätningar rörande grundvatten, temperatur och radioaktivitet kan fortgå också efter det att anläggningen fyllts igen.

Anläggningen kommer sedan att på naturlig väg sakta vattenfyllas tills den ursprungliga grundvattenytan återställts...”

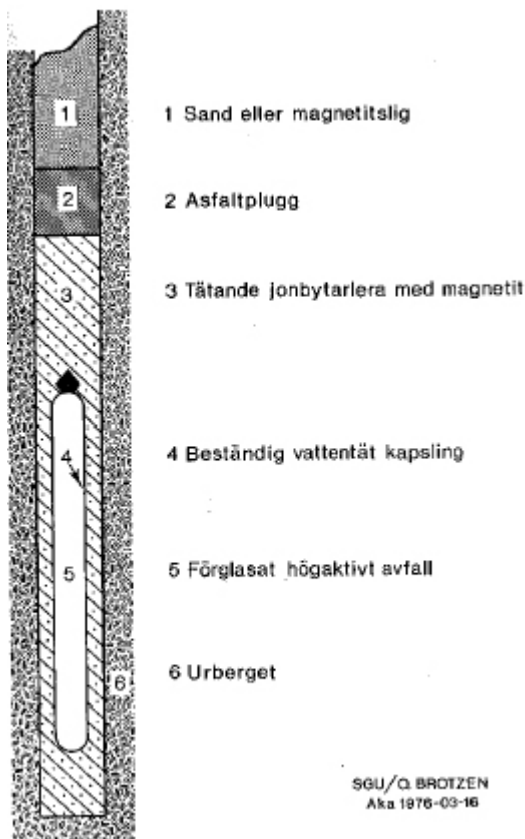
Texten illustrerades enligt bland annat figurerna 1-1 och 1-2. Figur 1-1 presenterades som ett ”amerikanskt förslag till slutlig förvaring av högaktivt fast avfall i bergrum” och utgör sannolikt en förenkling av en bild som hämtats från den av USA:s atomenergikommission år 1974 publicerade rapporten ”High level radioactive waste management alternatives”, också kallad ”WASH 1297” /1-14 s 25/.

Utredningen underströk samtidigt att man hade pekat på ”en mycket enkel och outvecklad typ av förvaringsanläggning” (s 122), som i allt väsentligt byggde på dagens teknik i fråga om gruvbrytning, bergborrning, bergtätning, kärnbränsleupparbetning och framställning av glasformigt avfall. Enligt utredningens uppfattning kunde man ta för givet att avfallstekniken kommer att utvecklas snabbt, men att ”förutsättningarna för kommande problemlösningar kan inte överblickas på samma sätt som för en konventionell anläggning. Det kan då vara riktigt att som här först behandla en anläggning som bygger på vad som är tekniskt möjligt idag och sedan bedöma nya metoders förutsättningar, säkerhet och kostnader mot denna” (s 123).

I ett annat sammanhang utvecklade utredningen ytterligare sina bedömningar av slutlig hantering av fast högaktivt kärnavfall. Det finns skäl att här återge detta resonemang (s 148–149), eftersom det i praktiken kom att utgöra en principiell grund för det arbete som mindre än två år senare resulterade i den så kallade KBS-1-rapporten (se vidare kapitel 2).



**Figur 1-1.** Aka-utredningens illustration av slutlig förvaring av högaktivt fast avfall i bergrum.



**Figur 1-2.** Aka-utredningens illustration av "anordning för förvaring av förglasat högaktivt avfall i berg. Ej skalendig principskiss".

"För att kunna bedöma säkerheten vid förvaring av aktivt avfall under långa tidsperioder är det nödvändigt att man har en god kännedom om de förhållanden under vilka materialet förvaras. Av de olika metoder för förvaring som föreslagits riktas intresset nu främst mot förvaring i olika geologiska bildningar. I flera länder bedrivs ett omfattande arbete för förvaring i saltlager. För Sveriges del är förvaring i urberg den mest aktuella metoden. Ett möjligt alternativ är förvaring i sedimentära bergarter.

Det förvaringssätt som nu undersöks i Sverige är lagring av fast högaktivt avfall i tätt berg på några hundra meters djup under grundvattennivån och troligen även under havsytans nivå. En del mycket långsiktiga fenomen måste beaktas vid val av förvaringsplats. Hit hör erosion, meteoritnedslag, vulkanutbrott och förkastningar.

Risken att yterrosion under långa tidsrymder skall frigöra aktivitet undanröjs genom val av tillräckligt borrhjup. Förvaring på några hundra meters djup ger tillfredsställande säkerhet i detta hänseende.

Risken för meteoritnedslag som ger kratrar med större djup än 300 m måste betraktas som utomordentligt ringa. Detsamma gäller för Sveriges del även risken för vulkanutbrott. Den svenska berggrunden kännetecknas nämligen av en mycket hög stabilitet och frånvaro av starkt förstörande geologiska processer. Detta är viktigt eftersom förkastningar i hårda bergarter kan ge upphov till vattengenomsläppliga brottzoner och ökad grundvattengenomströmning.

I Sverige pågår nu undersökningar för att få fram kriterier för val av plats för slutförvaring av högaktivt avfall. Arbetet går ut på att ange vilka krav som måste ställas på bergets egenskaper och förvaringsplatsens omgivning för att säkerheten skall vara betryggande både på kort och lång sikt. Det är klart olämpligt att välja ett område som i en framtid skulle kunna bli föremål för malmexploatering. Av bland annat detta skäl är gamla utbrutna gruvor uteslutna.



Förutsättningarna för en säker slutförvaring måste undersökas närmare och prövas genom såväl teoretiska som experimentella arbeten under ett antal år. Innan den slutliga förvaringen av högaktivt avfall förutses en lång tid av kontrollerad lagring varvid materialet bör vara åtkomligt för tekniska åtgärder.”

#### 1.4 Valrörelse, regeringsdeklaration och villkorslag 1976–1977

Under valrörelsen 1976 kom kärnavfallsfrågan och kärnkraftsutbyggnaden att bli en av valets huvudfrågor. Centerledaren Torbjörn Fälldin hävdade i TV-dueller med dåvarande statsministern Olof Palme att Aka-utredningen visat att avfallsproblemen inte kunde lösas, medan Palme menade att utredningen på punkt efter punkt visat på möjliga lösningar. De undersökningar som gjordes efter valet visade att kärnkraftsfrågan starkt bidragit till den socialdemokratiska valförlusten.

Den borgerliga trepartiregering som under Torbjörn Fälldins ledning tillträdde efter valet, innehöll emellertid partier med starkt divergerande åsikter i kärnkraftsfrågan. De tre partierna var tvungna att hitta en kompromiss att enas kring. I den nya regeringens första regeringsförklaring i oktober 1976 /1-15/ framställdes kärnavfallsfrågorna som avgörande när det gällde inställningen till kärnkraftsutbyggnaden (s 45):

”...Kärnkraften är förenad med stora problem och risker. Främst gäller det hanteringen av det använda kärnbränslet och det högaktiva avfallet. Satsningen på kärnkraft kan inte ske om inte dessa risker bemästras på ett betryggande sätt. I nuvarande läge måste ställas som villkor att kärnkraftsaggregat som är under byggnad inte får tas i drift om inte det berörda kraftföretaget kan förete godtagbart avtal om upparbetning av utnyttjat kärnbränsle, dels kan visa hur och var en helt säker deponering av högaktiva avfallet kan ske. Barsebäck 2, som är färdigt, tas ur drift om avtal om upparbetning icke företetts före den 1 oktober 1977. Regeringen avser att snarast ta initiativ till förhandlingar i hithörande frågor med bl a Svensk Kärnbränsleförsörjning AB och de berörda kraftföretagen.

För att förbereda nästa beslut rörande energipolitiken tillkallas en särskild kommission. Den skall bl a ha till uppgift att granska och utvärdera erfarenheter och forskningsrapporter rörande kärnkraftens säkerhet och miljöpåverkan samt hanteringen av det högaktiva avfallet...”

Vid denna tidpunkt hade fem reaktorer (Barsebäck 1, Oskarshamn 1 och 2 samt Ringhals 1 och 2) tagits i bruk för elproduktion. Barsebäck 2 var alltså den sjätte reaktorn. Den stod färdig att tas i bruk. Den politiska kompromissen i samband med regeringsbildningen innebar att även den reaktorn skulle få startas, men att villkor skulle sättas upp för dess fortsatta drift. Närmast i tur för att kunna tas i bruk var därefter de två reaktorerna Ringhals 3 och Forsmark 1. De aviserade nya bestämmelserna skulle alltså till en början tillämpas för dessa tre kärnkraftsreaktorer.

I december 1976 överlämnade regeringen till riksdagen en proposition med förslag till ”lag om särskilt tillstånd att tillföra kärnreaktor kärnbränsle, m m” /1-16/. Denna så kallade villkorslag (1977:140), som alltså byggde på de återgivna uttalandena i regeringsförklaringen, trädde i kraft i maj 1977.

Huvudbestämmelsen i villkorslagen tog sikte på de kärnkraftsreaktorer som höll på att uppföras. Dessa reaktorer skulle inte få tillföras kärnbränsle utan särskilt tillstånd av regeringen. För att få ett sådant tillstånd måste reaktorinnehavaren uppfylla endera av två förutsättningar. Den ena var att visa upp avtal som på ett betryggande sätt tillgodosåg behovet av upparbetning av använt kärnbränsle. Dessutom skulle reaktorinnehavaren visa hur och var en helt säker slutlig förvaring av det vid upparbetningen erhållna högaktiva avfallet kan ske. Den andra, och alltså alternativa, förutsättningen var att reaktorinnehavaren hade visat ”hur och var en helt säker slutlig förvaring av använt, ej upparbetat, kärnbränsle kan ske”.

En särbestämmelse i lagen tog sikte på Barsebäck 2. Bestämmelsen innebar inte något förbud att tillföra kärnbränsle till den just färdigställda reaktorn, men att fortsatt drift efter utgången av år 1977 krävde tillstånd av regeringen. Som villkor för sådant tillstånd föreskrevs att innehavaren skulle *antingen* kunna visa upp ett upparbetningsavtal *eller* visa ”att hanteringen av använt, ej upparbetat, kärnbränsle kan ske på ett helt säkert sätt”.

## 2 KBS-1- och KBS-2-rapporterna

### 2.1 KBS-1-rapporten 1977

#### 2.1.1 Mål för Projekt KärnbränsleSäkerhet (KBS)

Innebörden av regeringsförklaringen i oktober 1976 diskuterades omedelbart inom SKBF:s styrelse och ägarkrets som gav den verkställande direktören i uppdrag att ta fram ett program för ”deponering” (numera används termen ”slutförvaring”) av högaktivt avfall från upparbetning alternativt icke upparbetat använt kärnbränsle. För uppgiften skapades inom SKBF ”Projekt KärnbränsleSäkerhet (KBS)” med egen budget och separat styrelse. Projektet kom att överta några av de verksamheter som hade påbörjats inom Programrådet för radioaktivt avfall, PRAV (jfr avsnitt 1.3.2).

I projektet engagerades en rad svenska och utländska specialister. Efter ett intensivt arbete redovisades i december 1977 en rapport i fem delar, *Kärnbränslecykelns slutsteg – Förglasat avfall från upparbetning /2-1/*. Den rapporten har senare kommit att bli känd under beteckningen KBS-1-rapporten. I en bilaga presenterades också en kortfattad ”Lägesredovisning för direktdeponering av använt kärnbränsle” (se vidare avsnitt 2.1.3).

Målet för projektet anknöt till kraven i villkorslagen och formulerades enligt i huvudsak följande (del I s 16):

- Att visa *hur* en hantering och slutlig lagring av högaktivt avfall eller använt kärnbränsle kan utformas.
- Att visa *var* en slutlig lagring av högaktivt avfall eller använt kärnbränsle kan förläggas.
- Att redovisa säkerheten hos föreslagna anordningar för hantering och lagring.

#### 2.1.2 Metod för slutförvaring av högaktivt avfall från upparbetning

Närmast redovisas några viktigare slutsatser i KBS-1-rapporten och som syftade till att visa att reaktorinnehavarna tillgodosåg de krav på en ”helt säker” slutförvaring av högaktivt avfall från upparbetning som hade ställts upp i villkorslagen. Beskrivningens syfte är att utgöra bakgrund för den fortsatta framställningen av utvecklingen av metoder för direktdeponering av använt kärnbränsle. Framställningen är därför mycket översiktlig.

Det alternativ för hantering av det använda kärnbränslet som presenterades i rapporten byggde på tre principer, vilka uttrycktes på följande sätt (del I s 27):

- Slutlig förvaring av avfallet i urberg.
- Flera barriärer mot spridning av radioaktiva ämnen från den slutliga förvaringsplatsen.
- Flexibilitet i hanteringskedjan för att bevara handlingsfriheten och göra det möjligt att utnyttja en fortsatt teknisk utveckling.

Utifrån dessa principer föreslogs en hanteringskedja som omfattade i huvudsak följande steg (s 28–32):

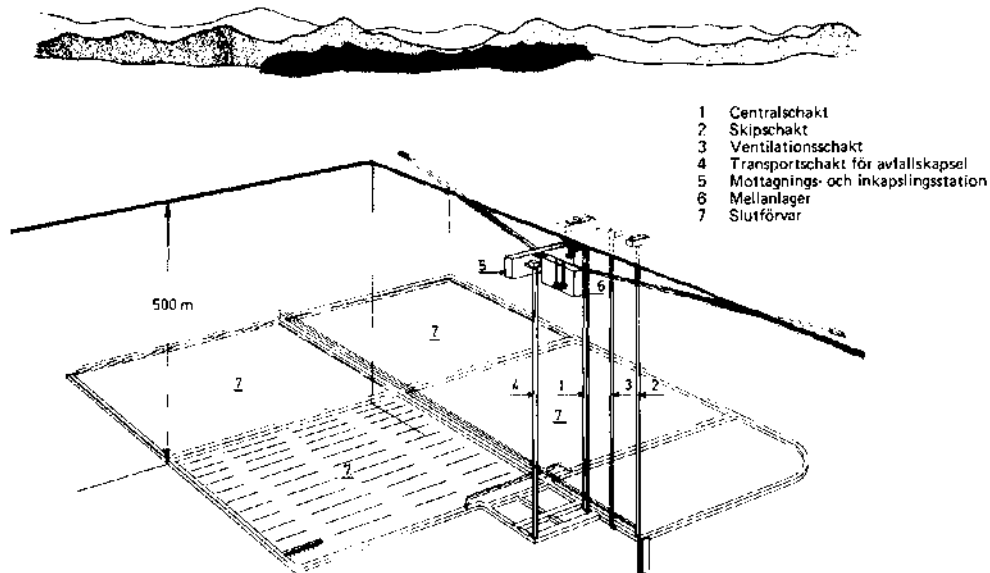
- Sedan det använda kärnbränslet fått svalna under minst sex månader vid kraftverken transporteras det till en upparbetningsanläggning eller till ett centralt lager för använt kärnbränsle, i rapporten benämnt ”bränslelager” och lokaliserat vid en hamn. I detta lager skulle bränslet förvaras upp till tio år i vattenfyllda bassänger, för att därefter transporteras för upparbetning. Upparbetningen genomförs 2–10 år efter det att bränslet tagits ut ur reaktorn och det högaktiva avfallet överförs till fast form genom att det förglasas.
- Förglasningen ger som produkt högaktiva cylindriska glaskroppar inneslutna i kärl av rostfritt stål (avfallscylinrar). Cylindrarna förvaras vid upparbetningsanläggningen tills minst tio år har förflutit från det att bränslet togs ut ur reaktorn.

- Från uppberedningsanläggningen fraktas avfallscylindrarna till ett mellanlager för högaktivt avfall. Detta utformas som ett luftkyllt torrt förråd placerat i berg med cirka 30 meter bergtäckning. Både detta mellanlager och det centrala lagret för använt kärnbränsle dimensioneras för att täcka behoven från ett kärnkraftsprogram med 13 reaktorer (det program som beslutats av riksdagen år 1975). En lagringstid om 30 år antogs. Som argument för den valda tiden framhölls dels att det gav god tid för optimering av den slutliga förvaringsmetoden, dels att strålning och värmeutveckling från avfallet under 30 år minskar till ungefär hälften. Mellanlagret förutsattes vara lokaliserat i anslutning till den slutliga förvaringsplatsen, men det underströks att detta ”är inte någon nödvändig begränsning av möjligheterna att lokalisera ett mellanlager”.
- Efter 30 års förvaring i mellanlagret ”inkapslas avfallscylindrarna i ett långtidsbeständigt hölje”. Detta borde utföras av titan med sex millimeters tjocklek. För att begränsa strålningen på titanhöljets och därmed den radiolytiska sönderdelningen av grundvattnet i berget införs ett tio centimeter tjockt blyskikt mellan den rostfria behållaren närmast glaset och titanhöljets. Man räknade med en sammanlagt vikt av avfallscylindrar och inkapsling om cirka 3,9 ton och att ytterdimensionerna skulle vara cirka 0,6 meter i diameter och 1,8 meter i längd.
- Det inkapslade avfallet förs slutligen till ett slutförvar cirka 500 meter ned i urberget. Förvaret utförs som ett system av tunnlar med cirka 3,5 meters bredd och höjd och på cirka 25 meters inbördes avstånd. I tunnarnas golv borras förvaringshål med cirka 1 meters diameter och cirka 5 meters djup. I varje hål förvaras en avfallskapsel. Centrumavståndet mellan hålen är cirka 4 meter.
- Runt varje avfallskapsel packas ett buffertmaterial bestående av en blandning av kvartssand och bentonit, en lera som sväller när den tar upp vatten. Det primära ändamålet med buffertmassan är att fixera kapseln och utgöra ett mekaniskt skydd. Materialet har valts med tanke på mekanisk stabilitet och långtidsbeständighet. Det har även låg genomsläpplighet för vatten, samt en jonbytande förmåga för flera radioaktiva ämnen i avfallet.
- Återfyllning av förvaringshålerna med buffertmassa sker i direkt anslutning till deponeringen. Tunnelsystemet kan hållas öppet och ventilerat så länge som deponering pågår i anläggningen.
- Sedan deponeringen slutförts i alla borrhål i hela tunnelsystemet fylls tunnarna med en liknande blandning av kvartssand och bentonit som använts i förvaringshålerna. Tillfartstunnlar och schakt fylls på likartat sätt.

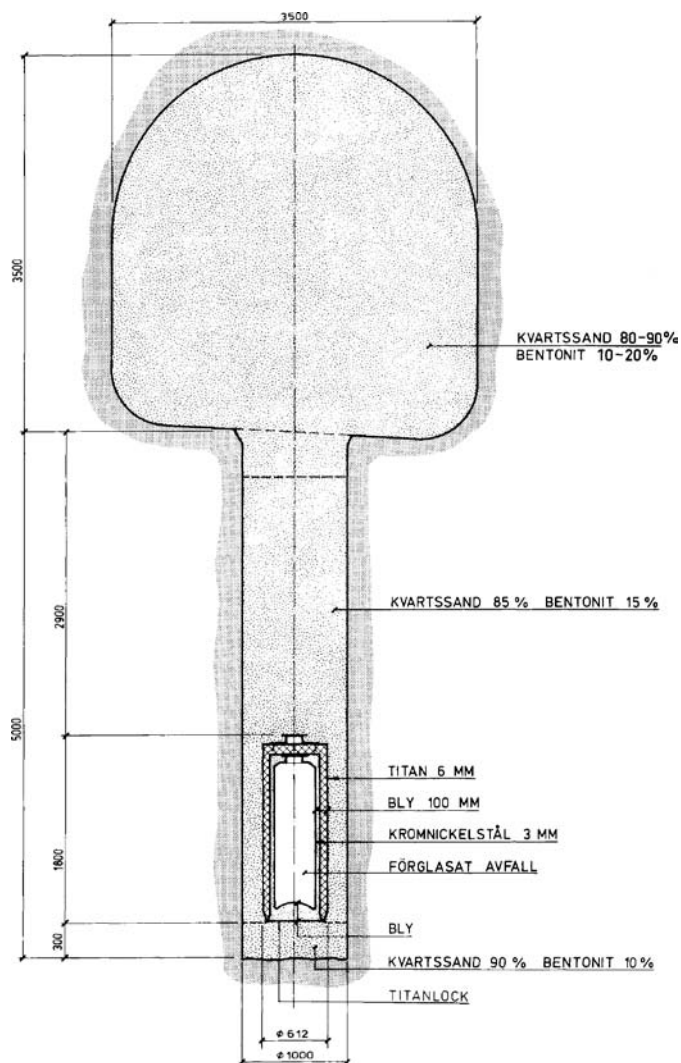
Motiveringen för att slutförvaringen borde ske på cirka 500 meters djup i urberget sammanfattades i rapporten enligt i huvudsak följande (s iv): Avgörande faktorer för att en bergformation är lämplig för ett slutförvar är dess täthet och hållfasthet, grundvattnets sammansättning och rörelsemönster samt fördröjningseffekter på radioaktiva ämnen vid grundvattnets passage genom sprickor i berget. På cirka 500 meters djup är berggrunden mindre sprickig och vattengenomsläpplig än närmare ytan. Av speciellt intresse är också ett helt tillfredsställande skydd mot krigshandlingar och extrema händelser som meteoritnedslag och effekter av en kommande istid.

Motivet för det valda avståndet mellan förvaringstunnlar och mellan deponeringshålerna var bergmekaniska hänsynstaganden och effekten av att kapslarna avgav värme; de valda avstånden skulle leda till en temperaturökning i berget med högst 40 °C, en ökning som inte bedömdes ge upphov till nya sprickor som skulle kunna påverka slutförvaringens säkerhet (s 68).

Utformningen i stort av ett slutförvar med anläggning för mellanlager och för inkapsling illustrerades enligt figur 2-1. Figur 2-2 åskådliggjorde hur kapslarna var utformade (material och dimensioner), hur kapslarna avsågs bli placerade i slutförvaret och hur slutförvaret skulle komma att se ut när det hade förseglats. Av den figuren kan bland annat utläsas att bufferten under kapseln skulle ha en tjocklek av 30 centimeter, att den del av bufferten som skulle omsluta kapslarna skulle ha en tjocklek av drygt 19 centimeter och att bufferten vidare skulle täcka avståndet mellan kapselns övre del och ett betonggjutet lock högst upp i deponeringshålerna.



**Figur 2-1.** Perspektivskiss (KBS-1-rapporten 1977) av slutförvar för högaktivt avfall från uppberedning med anläggningen för mellanlager och inkapsling. Slutförvaret består av ett system av parallella förvaringstunnlar som är belägna 500 meter under markytan.



**Figur 2-2.** Det förseglade slutförvaret för högaktivt avfall från uppberedning (KBS-1-rapporten 1977). Tunnlrar och förvaringshål är helt fyllda med ett buffertmaterial som består av kvartssand och bentonit.

### 2.1.3 Lägesrapport om direktdeponering av använt kärnbränsle

Parallellt med att rapporten om slutförvaring av förglasat högaktivt kärnavfall från upparbetning togs fram studerades också alternativet med direktdeponering av använt kärnbränsle. En lägesrapport om detta koncept ingick i KBS-1-rapporten (del I s 127–141).

Framställningen var disponerad kring fem teman:

- Grundläggande principer.
- Val av inkapslingsmaterial.
- Anläggningsutformning.
- Transportsystem.
- Säkerhetsanalys.

Viktigare överväganden kring fyra av dessa teman redovisas i det följande; temat transportsystem faller utanför ramen för denna framställning.

De *grundläggande principerna* innebar att det använda bränslet först skulle mellanlagras i cirka 40 år, varefter det skulle inkapslas före deponering i ett slutförvar. Mellanlagringen skulle ske i två steg. I det första skulle bränslet föras till ett så kallat centralt bränslelager under vatten under cirka 10 år. Bränsleelementen skulle därefter kapslas in för torr förvaring i rostfria och vattentära behållare. Dessa skulle placeras i bassänger för fortsatt kylning och strålskärmning under cirka 30 år, det så kallade mellanlagret. Därefter skulle bränslet kunna inkapslas i en anläggning som förutsattes vara lokaliserad i anslutning till slutförvaret. Utformningen av slutförvarsanläggningen liknade den som föreslagits för det förglasade avfallet, dock med den skillnaden att kapslarna med använt kärnbränsle skulle placeras horisontellt i förvaringstunnlarna.

När det gällde *val av inkapslingsmaterial* presenterades tre alternativ, vilka skulle bli föremål för ytterligare studier. Dessa material var koppar samt två keramiska material, aluminiumoxid och en glaskeram.

Skälet för att gå ifrån bly/titankapseln – som hade föreslagits vid deponering av förglasat avfall – var att det använda kärnbränslets farlighet avtar långsammare än vad som gäller för det högaktiva förglasade avfallet efter upparbetning. Det gällde därför att finna kapselmateriell med längre livslängd än titan. Tillgång, ekonomi och tillverkningsbarhet angavs som faktorer som hade beaktats.

I fråga om en kopparkapsel pekades på möjligheten att tillverka den genom smidning av ett gjutet block som därefter skulle rensvarvas till färdiga ytterdimensioner. Längden angavs till 4,9 meter och ytterdimensionen till 0,91 meter. Det inre hålrummet (med en diameter av 0,51 meter) skulle åstadkommas genom uppborring, varefter ingångsändan för lock skulle svarvas. Locket skulle vara i tre delar ”som fästs med elektronstrålesvetsning, åtföljd av heliumläcksökning i varje del”. Koppartjockleken borde vara 20 centimeter. Denna tjocklek bedömdes tillräcklig för att gardera mot olika osäkerheter när det gällde kunskap om bland annat hur koppar kan reagera med en del i grundvattnet närvarande oxiderande ämnen, vilka eventuellt skulle kunna resultera i så kallad gropfrätning under vissa ogynnsamma förhållanden. En kapsel med dessa dimensioner angavs kunna rymma sju behållare med bränsleelement från en kokareaktor och utan bränsle väga cirka 20 ton.

Av kapslar av keramiska material åskådliggjordes endast alternativet aluminiumoxid. Det alternativ som skisserades innebar kapslar som var tre meter långa, med en yttre tjocklek av 0,5 meter och en inre diameter av 0,3 meter. Bränslestavarna skulle inneslutas i ett tätt plåthölje, rullas till spiralform och därefter placeras i kapseln.

I en sammanfattning av avsnittet om val av kapslingsmaterial återgavs bedömningar som hade gjorts av en expertgrupp inom Korrosionsinstitutet rörande livslängden av en kopparkapsel och en aluminiumoxidkapsel.

I ett avsnitt om *anläggningsutformning* lämnades översiktliga beskrivningar av anläggningar för mellanlagring, inkapsling och slutförvaring. Hanteringsgången kan förenklat sammanfattas enligt följande.

Liksom i uppberedningsalternativet skulle det använda kärnbränslet först föras till ett centralt så kallat bränslelager. Där skulle det kunna förvaras i cirka tio år och i direkt kontakt med vatten för att kylas ned. Efter denna tid hade resteffekten sjunkit så mycket att en torr förvaring skulle vara möjlig utan att bränslets temperatur skulle bli alltför hög. Bränslet skulle då överföras till ett mellanlager – beläget i direkt anslutning till bränslelagret – via en strålskärmad cell där varje bränsleelement skulle lyftas ner i en rostfri behållare med två millimeters godsstorlek. Behållarna skulle förses med ett påsvetsat lock, placeras i en kassett och därefter förvaras under vatten i mellanlagret. Bränslet skulle alltså förvaras torrt i hermetiskt tillslutna behållare; vattnets uppgift var att ge den kylning och strålskärning som behövdes. Denna torra förvaring ansågs medföra fördelen ”att bränslet ej utsätts för vattnets korroderande inverkan. Vattnet i bassängen förorenas ej av skadat bränsle varigenom kraven på filtersystem kan minskas”. Efter minst 30 års lagring i mellanlagret skulle behållarna kunna överföras till en inkapslingsanläggning.

Inkapslingsanläggningen förutsattes vara belägen ovan jord i anslutning till ett slutförvar för det använda bränslet. Hanteringsgången beskrevs enligt i huvudsak följande:

- Transportbehållaren anländer från det centrala bränslelagret till stationens mottagningsdel. Den lyfts stegvis ner i en bassäng och placeras på en vagn som för den till en urlastningsposition. Härifrån lyfts bränslebehållarna upp ur vattnet in i en cell där de torkas, kontrolleras och placeras i en kopparkapsel. Den kapsel av koppar som hade skisserats kunde rymma sju BWR-element. För PWR-element behövdes en kapsel som har 100 millimeter större diameter och då kunde rymma fyra PWR-element.
- Den fyllda kapseln flyttas via en sluss, där den kan rengöras utvändigt med vatten, till en inkapslingscell. I denna cell förses kapseln med lock, som fästs med elektronstrålesvetsning.
- Svetsningen kontrolleras med ultraljud och med heliumläcksökning. Kapseln är därefter redo att överföras till slutförvaret.

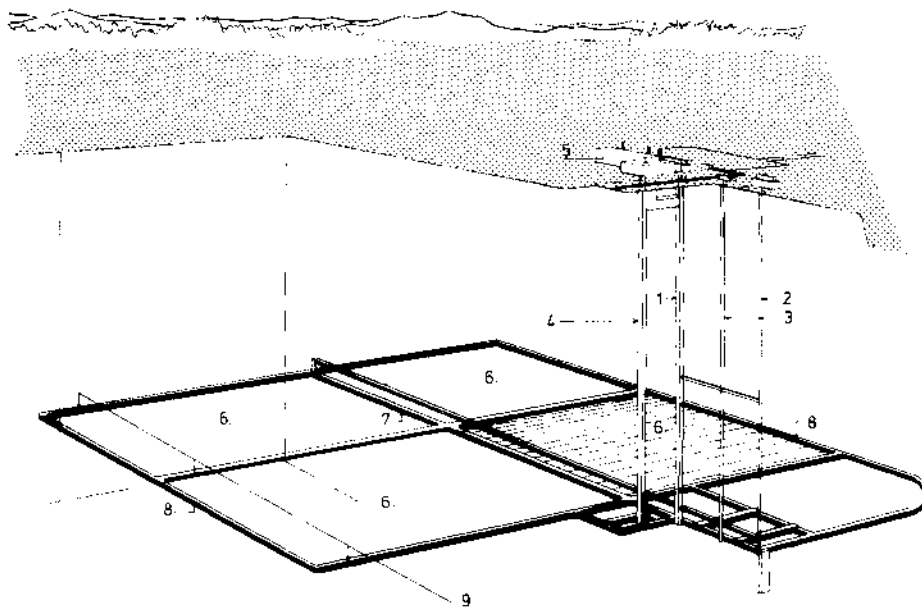
Slutförvarsanläggningen skulle, ”liksom i glasalternativet”, bestå i huvudsak av ett system av parallella förvaringstunnlar belägna cirka 500 meter under markytan, med tillhörande transport- och servicetunnlar och schakt. Förvaringstunnlarna skulle dock vara något högre, cirka 4,9 meter och förvaret antogs behöva uppta en något större yta, 1,2 km<sup>2</sup>. Man tänkte sig en horisontell deponering i förvaringstunnlarna med motivering dels att kapslarnas längd (cirka 5 meter) skulle göra det mycket svårt att placera dem i vertikala hål, dels att man vid en horisontell deponering skulle kunna åstadkomma ett betydligt tjockare buffertmaterial runt kapslarna. I förvaringstunnlarna skulle kapslarna placeras på en packad bädd av buffertmaterial, varefter ytterligare buffertmaterial skulle sprutas in för att helt fylla dessa tunnlar. Buffertmaterialet skulle, liksom i KBS-1-konceptet, bestå av blandningar av kvartssand (80–90 %) och bentonit (10–20 %). Den minsta tjockleken av buffertmaterialet förutsattes vara cirka 95 centimeter<sup>20</sup>.

Konceptet illustrerades enligt figur 2-3 och 2-4.

De skillnader mellan direktdeponering och slutförvaring av högaktivt förglasat avfall som kan ha *säkerhetsmässig betydelse* var enligt lägesrapporten främst följande:

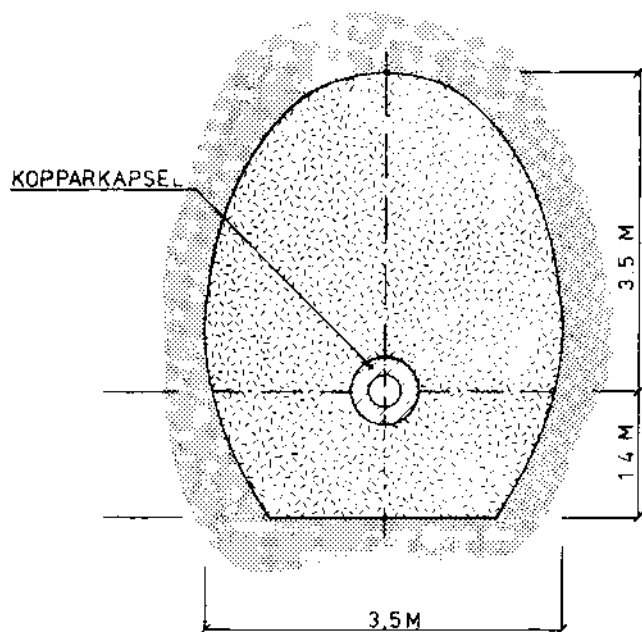
- Uran- och plutoniummängderna som deponeras som avfall är cirka 200 gånger större än i högaktivt förglasat avfall. Vidare medföljer en del andra radioaktiva produkter som annars avskiljs vid uppberedningen.
- Den första barriären utgörs av det svårösliga bränslet och dess kapsling i stället för av borsilikatglaset.
- Kapseln tillverkas av koppar eller av ett keramiskt material.
- Kapseln deponeras horisontellt i förvaringstunnlarna och omges med ett buffertmaterial av betydligt större tjocklek än i glasalternativet.

<sup>20</sup> Denna uppgift anges inte i lägesrapporten. Men den har härletts från uppgiften i figur 2-4 om ett avstånd från kapselns centrum till tunnelns botten av 140 centimeter och uppgiften ovan om en kapseldiameter av 91 centimeter, det vill säga en kapselradie av 45,5 centimeter. Slutsatsen blir att buffertens minsta tjocklek var tänkt att vara (140–45,5 =) 94,5 centimeter, här avrundat till cirka 95 centimeter.



- 1 CENTRALSCHAKT
- 2 SKIPSCHAKT
- 3 VENTILATIONSSCHAKT
- 4 TRANSPORTSCHAKT FÖR AVFALLSKAPSLAR
- 5 MOTTAGNINGSG OCH INKAPSLINGSSTATION
- 6 SLUTFÖRVAR
- 7 CENTRAL ANSLUTNINGSTUNNEL
- 8 YTTRE ANSLUTNINGSTUNNEL
- 9 ANSLUTNINGSG OCH FÖRVARINGSTUNNLAR

**Figur 2-3.** Slutförvar för direktdeponering av använt bränsle (lägesrapport i KBS-1-rapporten 1977). Förvaringstunnlarna ligger på cirka 500 meters djup.



**Figur 2-4.** Förvaringstunnel för direktdeponering av använt kärnbränsle (lägesrapport i KBS-1-rapporten 1977). Kopparkapseln ligger horisontellt. Upp till 1,4 meter i tunneln lägger man buffertmaterialet i skikt och packar det. Tunnelns övre del fylls genom sprutning av buffertmaterial.

## 2.2 KBS-2-rapporten 1978

### 2.2.1 Direktdeponering av använt kärnbränsle

Resultatet av det fortsatta arbetet kring direktdeponering av använt kärnbränsle (om det inledande arbetet, se avsnitt 2.1.3) redovisades i september 1978 genom rapporten *Kärnbränslecykeln slutsteg – Slutförvaring av använt kärnbränsle*, senare kallad KBS-2-rapporten /2-2/.

I rapporten lyftes särskilt fram de modifieringar som hade gjorts sedan färdigställandet av den lägesrapport om direktdeponering som ingick i KBS-1-rapporten december 1977. Dessa modifieringar beskrevs enligt i huvudsak följande (del II s 5–6):

- Slutförda utredningar hade visat att bränslets zirkaloykapsling kan förutses bli intakt i kontakt med vatten betydligt längre än den aktuella mellanlagringstiden, cirka 40 år. Tidigare föreslagna behållare av rostfritt stål för inneslutning av bränslet i syfte att förhindra vattenkontakt, har därför kunnat utgå.
- Kapseln omges med högkompakterad bentonit i stället för med en blandning av bentonit och kvartssand för att kapseln ska få ett ännu bättre skydd mot grundvattnets påverkan.
- För att på bästa sätt utnyttja de gynnsamma effekterna av den högkompakterade bentoniten placeras kapslarna vertikalt i borrhål – på samma sätt som det förglasade avfallet – och inte horisontellt i förvaringstunnlar som visats i lägesrapporten.

I detta sammanhang framhölls vidare att arbetet inom KBS-projektet nu hade kunnat baseras på ett betydligt bättre kunskapsunderlag för säkerhetsanalysen, varför vissa tidigare bedömningar framstod som överdrivet försiktiga. Detta bättre kunskapsunderlag gällde:

- Buffertmaterialets (bentonitens) egenskaper.
- De fysikalisk-kemiska förhållandena som bestämmer dels kapselmaterialets långtidsbeständighet, dels de radioaktiva ämnenas löslighet och spridning med grundvattnet.
- Beräkningsmodeller för grundvattenrörelser i berggrunden.
- Åldersuppgifter för grundvatten från stora djup.

### 2.2.2 Utgångspunkter

I KBS-2-rapporten erinrades inledningsvis om den alternativa föreskrift i villkorslagen som innebar att reaktorinnehavaren, för att få tillstånd att ladda en ny reaktor, hade visat ”hur och var en helt säker slutlig förvaring av använt, ej upparbetat, kärnbränsle kan ske”. Med utgångspunkt från formuleringar i propositionen som låg till grund för villkorslagen (prop. 1976/77:53) sammanfattades de krav som skulle uppfyllas i följande sex punkter (del I s 18):

1. Det åligger reaktorinnehavaren att visa på konkreta lösningar av kärnkraftens avfallsproblem.
2. För tillstånd att ta kärnreaktor i drift ställs villkoret att hanteringen av använt kärnbränsle och det i detta ingående högaktiva avfallet ska utföras på så sätt att skador inte uppkommer på det ekologiska systemet. Reaktorägaren måste visa, dels hur det använda kärnbränslet avses bli hanterat, dels att hanteringen medför trygghet mot skadlig inverkan.
3. Utgångspunkten måste vara att det använda kärnbränslet ska hållas åtskilt från allt liv.
4. Ingående och omfattande uppgifter måste ges för bedömning av säkerheten. Det räcker inte att presentera översiktliga planer och skisser. Det bör utöver sådana anges:
  - I vilken form det använda kärnbränslet avses bli förvarat.
  - Hur förvaringsplatsen avses bli ordnad.
  - Hur transportererna av det använda kärnbränslet avses ske.
  - I övrigt vad som behövs för att bedöma om den föreslagna slutliga förvaringen kan anses helt säker och möjlig att utföra. Häri ligger i första hand att förvaringen kan uppfylla de krav som ställs ur strålskyddssynpunkt och som syftar till skydd mot strålskador.
5. Förvaringsplatsen ska kunna anordnas så att det använda kärnbränslet isoleras för så lång tid som behövs för att aktiviteten ska ha minskat till ofarlig nivå.
6. Det fordras inte att en förvaringsplats är färdigställd när tillståndsfrågan prövas.



### 2.2.3 Hanteringsgång och anläggningar

Mot bakgrund av de i avsnitt 2.2.2 angivna kraven redovisades en hanteringsgång för det använda kärnbränslet enligt i huvudsak följande åtta punkter (del I s 27–29, 44, 48).

1. Sedan bränslet tagits ur reaktorn förvaras det i kraftverkets förvaringsbassänger under minst sex månader.
2. Bränslet transporteras sedan till ett centralt mellanlager för använt kärnbränsle.
3. Bränslet förvaras i det centrala mellanlagret under 40 år. Liksom vid kraftverken sker förvaringen i vattenfyllda bassänger.
4. Efter 40 års lagring transporteras bränslet till en inkapslingsanläggning.
5. Inkapslingsanläggningen förutsätts vara belägen ovan jord i anslutning till slutförvaret. Här sker följande arbetsmoment:
  - Bränslestavarna skiljs från elementens metalldelar.
  - Bränslestavarna innesluts i kopparkapslar med 200 millimeters vägg tjocklek. Varje behållare är 77 centimeter i diameter och 470 centimeter lång, väger 16 ton och rymmer 498 eller 636 stavar beroende på bränsletyp. Mellanrummet mellan bränslestavarna fylls med bly. Vid en drift av 13 reaktorer under 30 år<sup>21</sup> kommer det att behövas cirka 7 000 kopparkapslar.
  - Bränsleelementens metalldelar gjuts in i betongkuber (kokiller) med 1,6 meters sida. Vid en drift av 13 reaktorer under 30 år kommer det att bli cirka 1 200 betongkuber med en sammanlagd volym av cirka 5 000 m<sup>3</sup>.
6. Kopparkapslarna överförs till ett slutförvar cirka 500 meter nere i urberget. Förvaret utförs som ett system av parallella förvaringstunnlar och bedöms kräva en i stort sett kvadratisk yta på drygt en km<sup>2</sup>. Utöver förvaringstunnlarna behövs transport- och servicetunnlar samt schakt. Förvaringstunnlarna förutsätts ha en bredd av 3,7 meter, höjd av 4 meter och ligga på ett avstånd om 25 meter från varandra. I tunnarnas golv borrar förvaringshål med 1,5 meters diameter och 7,7 meters djup. I varje hål förvaras en avfallskapsel. Centrumavståndet mellan förvaringshålen är 6 meter. I förvaringshålen omges kopparkapslarna med block av högkompakterad bentonit. Bentonit är en lera som sväller kraftigt då den tar upp vatten. Materialet har valts med tanke på god mekanisk stabilitet, mycket låg vattengenomsläpplighet och god långtidsstabilitet. Det har även jonbytande förmåga. Bentoniten pressas under hårt tryck till block som staplas på varandra under, runt om och över kopplarkapseln. I spalterna närmast kapseln och vid bergytan packas bentonitpulver. När bentoniten tar upp vatten sväller den och bildar en sprickfri, mycket tät lermassa. Den enda transportprocessen av betydelse genom denna täta lera är diffusion, vilken sker utomordentligt långsamt.
7. Sedan alla kapslar blivit deponerade, kan anläggningen hållas öppen och kontrollerad så länge som övervakning anses önskvärd. Anläggningen förseglas därefter genom att alla tunnlar och schakt fylls med en blandning av kvartssand (80–90 %) och bentonit (10–20 %). På vissa ställen förstärks förseglingen med ren högkompakterad bentonit.

Den undre delen av tunnelfyllningen utförs med konventionella jordförflyttnings- och packningsmetoder. Den övre delen appliceras med en ”sprutteknik som sedan länge använts för sprutning av betong”. Appliceringstekniken och bentonitens svällande egenskaper ”gör det möjligt att uppnå en fullständig uppfyllnad av tunnelsektionen med hög packningsgrad”. På detta sätt fylls alla hålrum i berget med ett material ”som har minst lika låg permeabilitet som det omgivande berget”.
8. Betongkuberna med bränsleelementens metalldelar deponeras i ett separat slutförvar. Förvaret är utformat med två förvaringstunnlar med 7,6 meters bredd, 6,5 meters höjd och 250 meters längd belägna på cirka 300 meters djup i tätt urberg.

Betongkuberna staplas i förvaringstunnlarna på ett betonggolv, två i höjd och tre i sida. Försegling av förvaringstunnlarna sker i etapper genom att de fylls med betong, Transporttunnlar och schakt fylls med sand/bentonit på samma sätt som för slutförvaret för kopplarkapslarna.

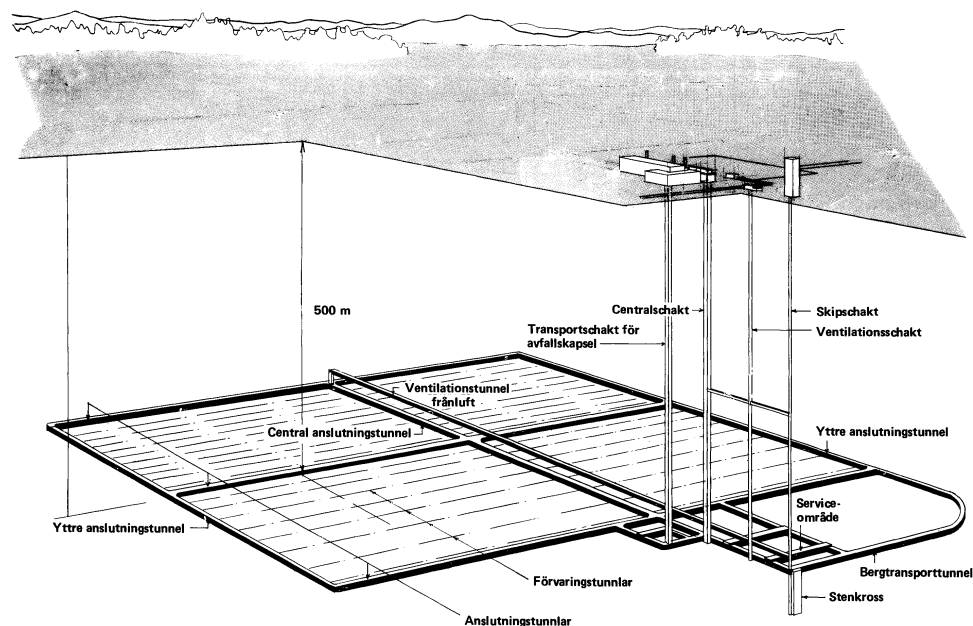
<sup>21</sup> När KBS-2-rapporten presenterades gällde fortfarande det i avsnitt 1.3.2 nämnda riksdagsbeslutet om högst 13 kärnkraftsreaktorer. År 1980 beslutade riksdagen om högst 12 kärnkraftsreaktorer, se vidare avsnitt 4.2.1.

Med denna hanteringskedja skulle man enligt rapporten åstadkomma en säker hantering och slutförvaring av det använda kärnbränslet. I fem punktsatser sammanfattades hur spridning av radioaktiva ämnen hindras eller fördröjs (del I s 29–31):

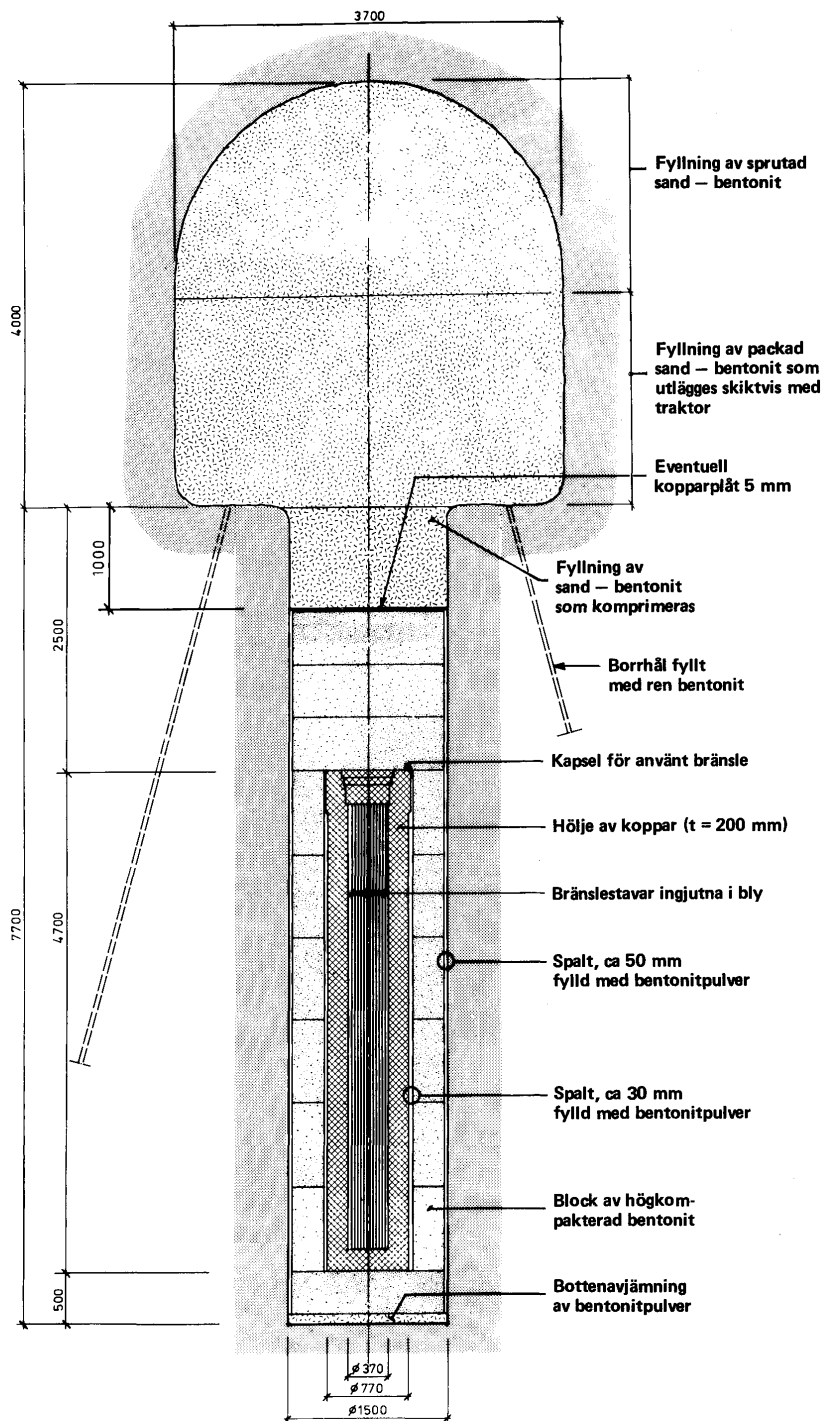
- De radioaktiva ämnena är till övervägande del bundna i det keramiska bränslet eller i bränslelementens metalldelar. Såväl bränslet som metalldelarna är svårlösliga i vatten.
- Bränslestavarna innesluts i kopparkapslar med 200 millimeters vägg tjocklek. Hålrutorna mellan stavarna fylls med bly. Det keramiska bränslet är inneslutet i zirkaloyrör (vilka utgör en del av bränslestavarna). I slutförvarets miljö sker praktiskt taget inga korrosionsangrepp på kopparmetallen. Även bly och zirkaloy har utomordentligt stor beständighet i denna miljö. Det är därför osannolikt att vatten kommer i kontakt med bränslet under flera hundra tusen eller till och med miljoner år efter deponeringen.
- Buffertmaterialet som omger kapseln har en utomordentligt låg vattengenomsläpplighet och transporten av radioaktiva ämnen genom materialet styrs av diffusion. Denna sker så långsamt att det sannolikt tar många miljoner år att lösa upp bränslet om detta över huvud taget sker.
- Buffertmaterialet och berget har en kemiskt fördröjande effekt på flertalet radioaktiva ämnen som finns i bränslet. Genom jonbyte, utfällning och mineralisering sprids de radioaktiva ämnen som lösts i vatten betydligt långsammare än vad som svarar mot vattnets rörelse.
- Det bergsparti i vilket slutförvaret ska förläggas väljs med omsorg. Grundvattenrörelserna ska vara små och ha en sådan riktning att det tar lång tid för vattnet att strömma från slutförvaret till områden som har kontakt med de ekologiska systemen. De undersökningar som Sveriges Geologiska Undersökningar har utfört för KBS, har visat att det i Sverige finns urbergsområden med önskade egenskaper.

I rapporten framhölls särskilt att den föreslagna hanteringskedjan innebar en avsevärd flexibilitet med avseende på framtida valmöjligheter och teknisk utveckling (del I s 32). Man såg det som ”sannolikt” att pågående utvecklingsarbete kommer ”att leda till metoder som förenklar och förbilligar slutförvaringen med bibehållen säkerhet”. Som exempel på sådant pågående arbete nämndes pågående utvecklingsinsatser avseende en keramisk kapsel.

Den skiss av ett tänkt slutförvar för använt kärnbränsle som hade presenterats i december 1977 (se avsnitt 2.1.2) hade nu utvecklats enligt figur 2-5. I figur 2-6 illustreras, med åtskilliga detaljupplysningar, hur kapslarna skulle vara deponerade efter det att förvaret hade förseglats.



**Figur 2-5.** Perspektivskiss av slutförvaret för använt kärnbränsle (KBS-2-rapporten 1978). Inkapslingsanläggningen ligger i markplanet. Slutförvaret består av ett system av parallella förvaringstunnlar som är belägna 500 meter under markytan.



**Figur 2-6.** Det förseglade slutförvaret (KBS-2-rapporten 1978). I deponeringshålet omges kapseln av block av högkomprimerad bentonit. Tunneln fylls med en blandning av kvartssand och bentonit. Ovanpå bentonitblocken placeras eventuellt en kopparplåt som diffusionsspärr.

## 2.2.4 Berggrunden

När KBS-2-rapporten färdigställdes hade man inom ramen för projektets geologiska arbetsprogram undersökt ”de naturliga förutsättningarna för ett djupt bergförvar” för förglasat högaktivt kärnavfall eller använt kärnbränsle i tre skilda områden. Dessa områden var belägna vid Karlshamn, vid Kråkemåla (i närheten av Oskarshamn) och vid Finnsjön (i närheten av Forsmark). Med hänvisning till bland annat borrhningar som hade gjorts kunde det enligt KBS-2-rapporten betraktas som ”säkerställt” att ”ett djupt liggande bergförvar” skulle kunna anläggas enligt Karlshamnsalternativet; de undersökta områdena vid Kråkemåla och Finnsjön ansågs erbjuda ”goda möjligheter” (del I s 53–54).

De resultat från geologiprogrammet som presenterades i KBS-2-rapporten kan förenklat och i starkt sammandrag sammanfattas enligt följande (del I s 55–58 och del II s 120–122).

- Urberget i den Baltiska skölden har under de senaste 600 miljoner åren varit ”en utpräglat stabil enhet”. Det kan ”betraktas som uteslutet” att sådana allmänna bergrörelser inträffar som kan ha betydelse för säkerheten hos ett bergförvar ”på några hundra meters djup”.
- Lokala sprickrörelser i berget kan inte uteslutas. Men sådana rörelser kommer inte att medföra märkbara ändringar i berggrundens vattengenomsläpplighet. De kommer inte heller att medföra skador på kapslarna ”när kapslarna placerats i bra berg”.
- I det område som idag är Sverige har det under de senaste två miljoner åren inträffat 10–20 nedisningsperioder. Landsänkningar och landhöjningar till följd av dessa har inte lett till ”någon hydrauliskt sammanhängande uppsprickning av berggrunden på större djup”. En kommande istid kommer inte att skilja sig från de tidigare och ”kan följaktligen inte påverka säkerheten hos ett djupt liggande bergförvar”.
- Utländska erfarenheter visar att starka jordbävningar har ”mycket begränsade verkningar” på tunnlar och berggrum. I Sverige förekommer endast svaga jordskalv och deras effekt på ”ett djupt liggande bergförvar är helt försumbar”.
- Med utgångspunkt från berggrundundersökningarna i Finnsjön och med tillämpning av modeller över grundvattnets strömningsmönster är det möjligt att i detta område placera ett bergförvar på 500 meters djup och med en yta av en kvadratkilometer på ett sådant sätt att grundvattnets strömningstid från förvarets perifera delar till ytan överstiger 3 000 år. För undersökningsområdet vid Karlshamn anges motsvarande tid till ”sannolikt” hundratusentals år.
- Med hänvisning till geokemiska undersökningar dras slutsatsen att grundvattnet på förvarsdjup i ”svensk berggrund” saknar ”förmåga att lösa upp och väsentligt sprida uran, även om vattnet skulle komma i direkt kontakt med utbränt bränsle i ett bergförvar”.

## 2.2.5 Buffert och återfyllningsmaterial

Av figur 2-6 kan utläsas att buffertens tjocklek runt kapseln skulle vara 365 millimeter. Denna buffert skulle bestå av ren bentonit som skulle omge kapslarna i deponeringshålen. Bufferten skulle installeras i form av högkompakterade block samt i pulverform i spalten mellan kapslarna och det omgivande berget på ett sådant sätt att bufferten får en hög vattenmättnad.

Valet av bentonit motiverades enligt i huvudsak följande (del I s 59–63). Bentonit är en i naturen förekommande lera som karakteriseras av att den sväller när den tar upp vatten. Som referensmaterial hade man valt en natriumbentonit av typ Volclay MX-80 som utvinns i Wyoming och South Dakota, USA. Man bedömde dock att det sannolikt också finns andra typer av bentonit som kunde användas.

Enligt KBS-1-konceptet – och även enligt lägesrapporten 1977 om direktdeponering – skulle man använda en blandning av sand och bentonit som buffertmaterial även i deponeringshålen kring kapslarna med förglasat avfall. Anledningen till att man nu frångick detta synsätt var att kraven på kapselns livslängd är avsevärt större vid direktdeponering än för förglasat avfall från uppberedning. Det buffertmaterial som nu behövdes borde enligt rapporten ha egenskaper som kan sammanfattas enligt följande:

- God bärighet, så att kapseln hålls i sitt läge i deponeringshålet.
- God värmeledningsförmåga, så att värmen från det inkapslade bränslet överförs till berget utan att kapselns yta får för hög temperatur.
- Hög jonbytesförmåga, så att transporten fördröjs om radioaktiva ämnen läcker från kapseln.
- Långtidsstabilitet, så att materialet behåller sina egenskaper under den mycket långa tid som slutförvarets funktion ska vidmakthållas.
- Frånvaro av komponenter som på ett avgörande sätt kan minska kopparkapselns korrosionsbeständighet.

I samband med förslutningen skulle tunnlar och schakt fyllas med en blandning av i huvudsak kvartssand (80–90 %) och bentonit (10–20 %). Vissa partier, liksom undersökningshål, förutsattes bli fyllda med ren kompakterad bentonit (del I s 48).

### 2.2.6 Kapseln

Som en allmän bakgrund för val av material för kapseln framhölls (del I s 65) att kapselns primära uppgift är att utgöra en långtidsbeständig barriär mot spridning av de radioaktiva ämnen som finns i bränslet. En sådan spridning kan endast ske med grundvattnet. Kapseln utgör därför, så länge den inte har penetrerats, en absolut barriär – till skillnad från slutförvarets övriga barriärer som i stället är baserade på mycket långsamma utlösning- och transportförlopp. En penetration av kapseln skulle kunna ske på två sätt, antingen genom korrosionsangrepp eller genom mekaniska påkänningar som leder till att den bryts sönder.

Den sekundära uppgiften för kapseln är att ge strålskärmning som dels minskar radiolysen av grundvatten till en ur korrosionssynpunkt låg nivå, dels underlättar hanteringen när kapseln transporteras från inkapslingsanläggningen till slutförvaret och den slutliga placeringen i detta.

Som framgått av det föregående förordades i KBS-2-rapporten att det använda bränslet skulle inneslutas i 200 millimeter tjocka kopparkapslar. Mellanrummet mellan bränslestavarna skulle fyllas med bly. Härigenom skulle också uppnås att ”deformation av kapseln på grund av yttre övertryck undviks” (s 66). Varje kapsel skulle väga 16 ton samt ha en yttre diameter av 77 centimeter och längd av 470 centimeter. Den inre diametern var följaktligen 37 centimeter.

Motiveringen för valet av detta material (ren koppar, så kallad Oxygen Free High Conductivity Copper, SIS 5011) var i sammanfattning följande (del I s 65–66).

- När kapslarna har placerats i slutförvaret kommer de att utsättas för påverkan av grundvatten. Med hänsyn till de höga kraven på kapselns livslängd måste materialet ha ”en ytterst låg reaktionshastighet med vatten”.
- Den bästa garantin för en låg reaktionshastighet med vatten är termodynamisk stabilitet, som innebär att någon påvisbar reaktion över huvud taget inte äger rum, ens vid obegränsad kontakttid.
- Koppar är ett praktiskt användbart material som är termodynamiskt stabilt i närvaro av rent vatten. Andra metalliska material med denna egenskap är silver, guld och platina. Dessa metaller är ”uteslutna av ekonomiska skäl”.
- Koppar har också de ”hållfasttekniska egenskaper” som krävs för att kapseln ska kunna motstå de mekaniska påkänningar som kan förekomma.

Frågor om hållfasthet och om möjlig korrosion diskuterades också i rapporten på grundval av bedömningar som hade gjorts inom Korrosionsinstitutet. Den specialistgrupp som Korrosionsinstitutet hade anlitat drog slutsatsen att det var realistiskt att vänta sig att kopparkapslarna skulle ha en livslängd av ”hundrausentals år” (en av de anlitade specialisterna argumenterade dock för en kortare livslängd för det fall att grundvattenflödet skulle komma att öka dramatiskt till följd av en kraftig uppsprickning av berget). Resonemanget utmynnade i den sammanfattande bedömningen (del I s 68) att varken mekaniska påkänningar eller korrosionsangrepp kan väntas ge upphov till att kapseln penetreras inom en miljon år. Den uppskattningen ”baserar sig på ytterst ogynnsamma antaganden beträffande grundvattenkemi och konservativa antaganden med avseende på sprickighet och vattenföring i berget”.

Redan i den lägesrapport om direktdeponering av använt kärnbränsle som ingick i KBS-1-rapporten pekades på möjligheten att i stället för kopparkapslar använda kapslar framställda av två keramiska material, aluminiumoxid eller glaskeram (se avsnitt 2.1.3). En lägesrapport lämnades nu om pågående försök med att framställa kapslar genom varm isostatisk pressning av aluminiumoxidpulver. Slutsatsen var (del I s 70) att keramiska kapslar var ”ett realistiskt alternativ för slutförvaring av använt bränsle”.

## 2.2.7 Säkerheten

Den viktigaste innebörden av säkerhetsanalysen i KBS-2-rapporten kan sammanfattas enligt följande (del I s 98–100).

- Grundvattnet i svenskt urberg på 300–500 meters djup är praktiskt taget utan löst syre och därför reducerande. Buffertmaterialet – högkompakterad bentonit – har utomordentligt låg vattengenomsläpplighet. Tillgången på oxiderande ämnen som kan angripa koppar är ringa och tillförseln av dessa ämnen ytterst långsam. Kopparkapseln kan därför väntas få praktiskt taget obegränsad livslängd och därmed förhindra spridning av radioaktiva ämnen.
- Under mycket lång tid – mer än en miljon år – kommer troligen inte någon spridning av radioaktiva ämnen att ske från ett slutförvar med föreslagen utformning. Slutförvaringens långsiktiga konsekvenser är därför ”likvärdiga med de långsiktiga konsekvenserna av förvaring av obestrålad urandioxid på samma sätt”.
- Det är realistiskt att förvänta en minsta livslängd av hundratusentals år hos en kopparkapsel med en vägg tjocklek av 200 millimeter.
- Under de första 100 000 åren hinner ett antal radioaktiva ämnen avklinga helt. Andra radioaktiva ämnen har fått en väsentligt minskad aktivitet.
- Om kopparkapslarna skulle penetreras ”efter några 100 000 år” kan en viss utlakning ske av radioaktiva ämnen till grundvattnet. En sådan utlakning sker ytterst långsamt och pågår troligen under miljontals år. Efter cirka en miljon år domineras avfallets farlighet av uran-238 och dess sönderfallsprodukter.
- Sannolikheten för att kriticitet skulle kunna uppstå i eller i anslutning till slutförvaret ”bedöms som utomordentligt liten”. Om kriticitet ändå uppstår ”blir förloppet långsamt och konsekvenserna blir små”.
- Beräkningar av högsta stråldoser till framtida individer från ett slutförvar för använt kärnbränsle under olika antaganden har jämförts med de gränsvärden som Internationella strålskyddskommisionen (ICRP) hade ställt upp. ”Även i de fall där man valt en rad ogynnsamma förutsättningar blir de beräknade förändringarna av strålningsmiljön mindre än förekommande normala naturliga variationer. Dessa naturliga variationer har i dag ingen påvisbar inverkan på vare sig människan eller de ekologiska systemen. Beräknade högsta värden på stråldoser orsakade av utläckning från ett slutförvar ligger under de gränsvärden som den internationella strålskyddskommisionen (ICRP) rekommenderat. Den föreslagna metoden för slutförvaring av använt bränsle bedöms således som helt säker.”

## 2.3 Granskning av KBS-2-rapporten

Som kommer att framgå av kapitel 4 åberopades inte KBS-2-rapporten av reaktorinnehavarna i de fyra ärenden om regeringens tillstånd enligt villkorslagen att ta nya reaktorer i drift som hade avgjorts till och med april 1980 (Ringhals 3 och 4 samt Forsmark 1 och 2). Dessa tillstånd hade sökts – och beslutats – med hänvisning till kombinationen av företedda uppbyggnadsavtal och till vad som hade visats i KBS-1-rapporten (i fallet Barsebäck 2 krävdes enbart uppbyggnadsavtal).

SKBF hade emellertid hösten 1978 överlämnat KBS-2-rapporten till regeringen.

Industridepartementet beslöt att, liksom tidigare skett med KBS-1-rapporten, sända ut även KBS-2-rapporten för vetenskaplig granskning till ett antal svenska och utländska expertorgan. Granskningen var avslutad under år 1980.

Regeringens inställning till KBS-2-rapporten kom till uttryck i två skilda dokument, vilka båda ingår i /2-3/. I en lagrådsremiss december 1980 ”med förslag till lag om finansiering av framtida utgifter för använt kärnbränsle, m m” omnämndes i förbigående de två KBS-rapporterna från åren 1977 och 1978 samt remissbehandlingen av dem. Föredragande statsrådet menade att remissinstanserna ”har funnit att de förslag som rapporterna innehåller lämpligen kan tjäna som utgångspunkt för det fortsatta arbetet när det gäller att bestämma en metod för att omhänderta högaktivt avfall och använt kärnbränsle” och förklarade sig dela denna uppfattning. Det var emellertid, fortsatte regeringen, ”f.n. inte lämpligt att slutligt fastlägga den teknik som skall tillämpas vid omhänderta-

gandet av det högaktiva förglasade avfallet och det använda kärnbränslet” (s 607). Någon månad senare, januari 1981, presenterade regeringen i en proposition till riksdagen det nyss nämnda lagförslaget. I propositionen uttalade regeringen ”att den hittills av Projekt Kärnbränslesäkerhet (KBS) redovisade hanteringen och förvaringen av använt kärnbränsle och högaktivt avfall är möjliga att tillämpa” (s 315). Se vidare nedan avsnitt 4.2.2.

I början av år 1981 sammanställdes inom SKBF en arbetsrapport med kommentarer till yttrandena över KBS-2-rapporten /2-4/. Senare samma år gav SKBF ut en skrift /2-5/ i vilken återgavs sammanfattningar av granskningsyttrandena.

I den förstnämnda rapporten finns sammanfattande redovisningar av de synpunkter som framkommit jämte kommentarer från SKBF. Sammanfattningarna baserades på en detaljerad genomgång som redovisades i en bilaga om drygt 70 sidor. I rapporten framhölls att ett flertal förslag till förbättringar av redovisning, metoder och utförande hade erhållits och att dessa skulle komma att beaktas i det fortsatta arbetet. Inget hade framkommit som gav SKBF anledning att revidera följande fyra slutsatser som SKBF ansåg kunde dras från KBS-2-rapporten (s 10):

- Förvaring av använt kärnbränsle är möjlig att genomföra med teknik som är tillgänglig idag<sup>22</sup>.
- Genom ett system av flera barriärer som är relativt oberoende av varandra är förvaringens säkerhet inte kritiskt beroende av funktionen hos en enda barriär.
- Möjligheten att dimensionera flera barriärer, inklusive förvarets djupläge, inom vida gränser gör att systemets säkerhet kan optimeras och anpassas till lokala förhållanden och samhällets normer.
- Den redovisade metoden kan genomföras på ett från strålskyddspunkt helt säkert sätt.

I det följande sammanfattas i punktform viktigare argument som utgjorde grund för dessa slutsatser (s 8–10):

- Påpekanden som gjorts rörande den hantering som föregår slutförvaringen ifrågasätter inte genomförbarheten av systemet för slutförvaring.
- Kritik som har riktats mot avsnitten som behandlar geologi och hydrologi grundar sig väsentligen på en missuppfattning om syftet med redovisningen. Denna har begränsats till det som är nödvändigt med hänsyn till villkorslagens krav utan att försöka ge en i övrigt uttömmande geologisk detaljredovisning.
- Kapslar kommer enbart att placeras i sådana positioner som bedöms vara acceptabla. Acceptabelt berg finns i stor omfattning och antalet lägen för potentiella deponeringshål som kommer att behöva förkastas, kan bedömas som mycket låg.
- Kopparkapselns livslängd har i allmänhet bedömts vara underskattad.
- Buffertmaterialets förmåga att skapa en zon som omsluter kapseln och där materialtransport styrs av diffusionsförlopp har påvisats genom laboratorieförsök. Materialets långtidsegenskaper har styrkts.
- Redovisningen av kapselkorrosion, bränsleupplösning och spridningen i geosfären är baserad på termodynamiska samband samt grundvattnets flöde och sammansättning.
- Miljöförändringar som uppkommer till följd av långsamma geologiska processer som erosion, klimatförändringar, landhöjningar och oxidation i berggrunden är acceptabelt små.
- Sannolikheten är försumbar att sprickzoner av betydelse för förvarets säkerhet kommer att uppstå i en utvald geologisk bergplint som är omgiven av befintliga svaghetszoner. Det aktuella geologiska systemets tröghet är tillräckligt för att tillåta en extrapolation av förhållandena under de senaste 30 miljonerna år till att gälla även under den för slutförvaring aktuella tidsrymden.
- Risken för spridning av radioaktivitet i biosfären har bedömts mot bakgrund av kända och nu existerande näringskedjor i naturen. Men dessa kan förändras i ett miljonårsperspektiv. Redovisningen omfattar därför jämförelser med den beräknade påverkan från förvaret med både existerande normer och med naturliga halter av radioaktiva ämnen i biosfären.

---

<sup>22</sup> Här syftas alltså på början av 1980-talet.

- Säkerhetsanalysen visar att ”även en orealistiskt ogynnsam bedömning av möjlig påverkan från ett slutförvar för använt kärnbränsle ligger väl under de nivåer som ur strålskyddssynpunkt betraktas som acceptabla av internationella expertorgan och nationella myndigheter. Förvarets beräknade inverkan på biosfären har också visats ligga på en nivå som ligger inom de naturliga variationerna i bakgrundsstrålningen från uran och urandöttrar i svensk berggrund”.

## 2.4 Utveckling av direktdeponeringskonceptet 1977–1978

I detta avsnitt sammanfattas några huvudpunkter i den utveckling av direktdeponeringskonceptet som skedde från lägesrapporten om direktdeponering i KBS-1-rapporten år 1977 till KBS-2-rapporten år 1978.

Lägesrapport 1977	KBS-2-rapport 1978
<b>Hanteringsgång och anläggningar</b>	<b>Hanteringsgång och anläggningar</b>
<b>Mellanlager</b>	<b>Mellanlager</b>
Använt kärnbränsle förs från kärnkraftverkan till ett ”centralt bränslelager” för en första period av mellanlagring under vatten i cirka tio år.  Därefter placeras det använda kärnbränslet i rostfria behållare som försluts hermetiskt. Anledningen var att undvika vattnets förmodade korroderande inverkan. Bränslet förvaras alltså torrt i dessa, men behållarna förvaras i vatten under en andra period av mellanlagring om cirka 30 år. Detta ”mellanlager” lokaliseras i direkt anslutning till det ovan nämnda bränslelagret.	Använt kärnbränsle förs från kärnkraftverken till ett centralt mellanlager där det förvaras under vatten i cirka 40 år.  Motiv: Slutförda utredningar hade visat att bränslets zirkaloykapsling blir intakt även i kontakt med vatten under betydligt längre tid än den aktuella mellanlagringstiden.
<b>Inkapslinganläggning</b>	<b>Inkapslinganläggning</b>
De rostfria behållarna förs till en inkapslingsanläggning där de öppnas och bränslet kapslas in för slutförvaring.	Det använda bränslet förs till en anläggning för inkapsling.
Inkapslingsanläggningen förutsätts vara belägen ovan mark i anslutning till ett slutförvar.	Ingen ändring jämfört med Lägesrapport 1977.
<b>Slutförvar</b>	<b>Slutförvar</b>
Förvaret består av ett system av parallella förvaringstunnlar på cirka 500 m djup i kristallint urberg, med tillhörande transport- och servicetunnlar och schakt.  Horisontell deponering i förvaringstunnlar.  <i>Motiv:</i> Kapslarnas längd om 4,9 m skulle göra vertikal deponering (som hade valts i KBS-1-rapporten för de betydligt mindre kapslarna med förglasat högaktivt avfall från uppärbetning) mer otymplig och kräva större tunnelhöjd. Dessutom skulle horisontell deponering ge möjlighet att åstadkomma ett betydligt tjockare buffertmaterial runt kapslarna.	Ingen ändring jämfört med Lägesrapport 1977.  Vertikal deponering i hål i förvaringstunnlar.  <i>Motiv:</i> Kompakterade bentonitblock nedsänkta i hål är lämpligare som buffertmaterial (se under Buffert) än sand/bentonitblandningar,
	Förvaringshål borras i deponeringstunnlarnas golv med 1,5 m diameter, 7,7 m djup. Centrumavstånd mellan hålen är 6 m. I varje hål deponeras 1 kapsel.
	Före inkapsling skiljs bränslestavarna från elementens metalldelar, som gjuts in i betongkokiller för deponering i ett separat slutförvar.
Yta: cirka 1,2 km <sup>2</sup> . Deponeringstunnlars höjd: cirka 4,9 m. Deponeringstunnlars bredd: cirka 3,5 m Avstånd mellan deponeringstunnlar: cirka 25 m.	Yta: drygt 1 km <sup>2</sup> . Deponeringstunnlars höjd: cirka 4 m. Deponeringstunnlars bredd: cirka 3,7 m. Avstånd mellan deponeringstunnlar: cirka 25 m.



Lägesrapport 1977	KBS-2-rapport 1978
<b>Buffert och återfyllning</b>	<b>Buffert och återfyllning</b>
<b>Buffert</b>	<b>Buffert</b>
<p>Som material för buffert och återfyllning i förvarings-tunnlarna (horisontell deponering av kapslar) används blandningar av kvartssand (80–90 %) och bentonit (10–20 %).</p> <p><i>Motiv:</i> Samma buffertmaterial som vid deponering av de betydligt mindre kapslarna med förglasat högaktivt avfall från upparbetning. Materialet har valts med tanke på mekanisk stabilitet och långtidsbeständighet. Det har även låg genomsläpplighet för vatten, samt en jonbytande förmåga. Motivering för proportionerna kvartssand/ bentonit framgår inte av lägesrapporten.</p>	<p>Kapseln (vertikal deponering) omges med block av högkompakterad bentonit i deponeringshålen. Vidare appliceras bentonit i pulverform i spalterna mellan kapslarna och blocken och mellan blocken och det omgivande berget.</p> <p><i>Motiv:</i> Bentonit är en i naturen förekommande lera som karakteriseras av att den sväller när den tar upp vatten. Kraven på kapselns livslängd är avsevärt större vid direktdeponering än för förglasat avfall från upparbetning. Buffertmaterial bör ha följande egenskaper:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• God bärighet.</li> <li>• God värmeledningsförmåga.</li> <li>• Hög jonbytesförmåga.</li> <li>• Långtidsstabilitet.</li> <li>• Frånvaro av komponenter som på ett avgörande sätt kan minska kopparkapselns korrosionsbeständighet.</li> </ul>
Buffertens tjocklek: Minst 95 cm (horisontell deponering).	Buffertens tjocklek: 36,5 cm (vertikal deponering).
<b>Återfyllning</b>	<b>Återfyllning</b>
Återfyllning består av blandningar av kvartssand (80–90%) och bentonit (10–20%).	Förvarings-, transport- och servicetunnlar samt schakt återfylls med en blandning av kvartssand (80–90 %) och bentonit (10–20 %).
<b>Kapseln</b>	<b>Kapseln</b>
<p>Kapseln tillverkas av koppar eller ett keramiskt material. För de betydligt mindre kapslarna med förglasat högaktivt avfall från upparbetning hade föreslagits ett hölje av titan med en blyvägg (för strålskärmning) mellan det förglasade avfallet och titanhöljets.</p> <p><i>Motiv för koppar:</i> Material med längre livslängd än titan behövs därför att toxiciteten hos använt kärnbränsle avtar långsammare än hos förglasat avfall. Tillgång, ekonomi och tillverkningsbarhet har beaktats.</p>	<p>Förord för att kapseln tillverkas av koppar, men studier av alternativet keramiska material (varm isostatisk pressning av aluminiumoxidpulver) fortsätter.</p> <p><i>Motiv för koppar:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ett praktiskt användbart material som är termodynamiskt stabilt i närvaro av vatten. Andra metaller med denna egenskap (silver, guld, platina) uteslutna av ekonomiska skäl.</li> <li>• Koppar tillräckligt hållfast för att motstå de mekaniska påkänningar som kan förekomma.</li> </ul>
	Tålighet mot yttre last fås genom att kapseln efter fyllning med bränslestavar görs massiv (se nedan).
	<i>Inkapslingssätt:</i> Bränslestavar placeras i förtillverkad kapsel, hålrummen fylls med smält bly, tättslutande lock appliceras med elektronstrålesvetsning.
<i>Kopparkapselns dimensioner:</i> Längd: 4,9 m. Yttre diameter: 91 cm. Inre diameter: 51 cm. Kopparhöljets tjocklek: 20 cm.	<i>Kopparkapseln dimensioner:</i> Längd: 4,7 m. Yttre diameter: 77 cm. Inre diameter: 37 cm. Kopparhöljets tjocklek: 20 cm.
<i>Keramkapselns dimensioner:</i> Längd: 3 m. Yttre diameter: 50 cm. Inre diameter: 30 cm.	
Inga detaljerade uppgifter i lägesrapporten om hur inkapslingen ska utföras eller om kapselvikt.	Vikt fylld kapsel: 16 ton.

## 3 KBS-3 år 1983, Forskningsprogram 1984

### 3.1 Fortsatt arbete med inriktning mot direktdeponering av använt kärnbränsle

Åren kring 1980 växte det i Sverige fram en ny syn när det gällde inställningen till upparbetning som huvudlinje för att ta hand om det använda kärnbränslet. Direktdeponering av det använda bränslet framstod som det rimligaste alternativet för svenskt vidkommande. Inom SKBF fortsattes arbetet med denna huvudinriktning med utgångspunkt från KBS-2-rapporten och de synpunkter som hade kommit fram vid granskningen av denna (avsnitt 2.2–2.3).

I maj 1983 presenterades rapporten *Kärnbränslecykelns slutsteg – Använt kärnbränsle-KBS-3 /3-1/*. Innehavarna av reaktorerna Forsmark 3 och Oskarshamn 3 ansökte samtidigt hos regeringen om tillstånd enligt den då gällande villkorslagen att få ladda de båda reaktorerna, och återopade den nämnda rapporten. Dessa två reaktorer var de sista i det av riksdagen år 1980 godkända svenska kärnkraftsprogrammet om tolv reaktorer.

### 3.2 KBS-3-rapporten 1983

KBS-3-rapporten bestod av fyra delar jämte en sammanfattning. Som ett allmänt motiv för att presentera rapporten framhölls /3-1 del I s 1:2/ att utvecklingen efter det att KBS-2-rapporten hade färdigställts motiverade en ny redovisning. Denna presenterades som ”fristående från den tidigare rapporten, även om de allmänna principerna och viss del av underlaget är oförändrade”.

#### 3.2.1 Utgångspunkter

Tre grundprinciper angavs, vilka borde gälla i Sverige vid planering för slutförvaring av radioaktivt avfall. De var följande (del I s 1:2-3):

- En mycket hög grad av säkerhet krävs, på såväl kort som lång sikt.
- Bördor på kommande generationer ska undvikas.
- Behövliga åtgärder ska kunna genomföras med största möjliga nationella oberoende.

En tillämpning av principen om största möjliga nationella oberoende innebar enligt rapporten ”i första hand, att slutförvaringen skall kunna genomföras i Sverige och med en teknologi, som är tillgänglig i Sverige”. Mot bakgrund av en genomgång av möjliga strategier för hantering av använt kärnbränsle<sup>23</sup> konstaterades att insatserna i Sverige hade koncentrerats på ”studier av djup geologisk slutförvaring i kristallint berg”. Den strategin bedömdes som den enda som var möjlig att genomföra för svensk del.

I rapporten beskrevs hur ett system för säker slutförvaring av använt kärnbränsle från *samtliga* svenska kärnkraftsreaktorer, alltså inte enbart de två sista, skulle kunna utformas med utgångspunkt från kunskapsläget vid årsskiftet 1982/1983. Det underströks särskilt (del I s 1:4) att avsikten dock inte var att ange hur och var ett slutförvar *ska* utföras utan endast hur och var det *kan* utföras för att den erforderliga säkerheten ska uppnås. Inget försök till ekonomisk optimering av systemet hade gjorts. Dock skulle den beskrivna lösningen ligga ”inom gränsen för vad som är ekonomiskt rimligt” – en kostnadsberäkning hade presenterats i annat sammanhang<sup>24</sup>.

<sup>23</sup> Sju olika strategier identifierades: Övervakad lagring, Utskjutning i rymden, Separering och transmutation, Djup geologisk deponering, Deponering i djuphavssediment, Injektning i isolerade djupa geologiska formationer samt Förläggning under inlandsisar eller under permafrost.

<sup>24</sup> Här syftas på att SKBF enligt dem år 1981 beslutade så kallade finansieringslagen i juni 1982 upprättat en kostnadsberäkning, *Plan för kärnkraftens radioaktiva restprodukter, Plan 82*. Detta dokument var avsett att utgöra grund för regeringens årliga beslut om avgift enligt finansieringslagen och hade överlämnats till berörd myndighet (dåvarande Nämnden för hantering av använt kärnbränsle) i juni 1982.

I rapporten underströks också att ett omfattande forskningsarbete pågick eller planerades i Sverige och i andra länder och att detta arbete ”kommer att successivt öka förståelsen för de olika mekanismer, som är av betydelse för den långsiktiga säkerheten hos ett slutförvar” samt att följden även kunde bli ”modifieringar av systemets utformning”.

Rapporten behandlade ”all hantering, transport, lagring och behandling som är nödvändig för att skapa en säker slutförvaring av använt kärnbränsle från det svenska reaktorprogrammet”. Men tyngdpunkten låg ”på de led i hanteringskedjan, som direkt berör själva slutförvaringen och de långsiktiga säkerhetsbedömningarna”.

Som grundläggande princip angavs (del I s 2:1) att den långsiktiga säkerheten inte ska vara beroende av övervakning och korrigerande åtgärder efter det att slutförvaret förslutits. Denna princip innebar, på samma sätt som hade redovisats i KBS-1- och KBS-2-rapporterna, ”att det använda bränslet innesluts i täta och beständiga kapslar, som deponeras i borrhål upptagna i botten av bergtunnlar på stort djup. Kapslarna omges i deponeringshålen med ett buffertmaterial och slutligen återfylls hela tunnelsystemet.” (del I s 2:2).

### 3.2.2 Hanteringsgång och funktion i stort

En hanteringsgång angavs i sju steg som kan sammanfattas enligt följande och illustrerades enligt figur 3-1 (del I s 2:3-5):

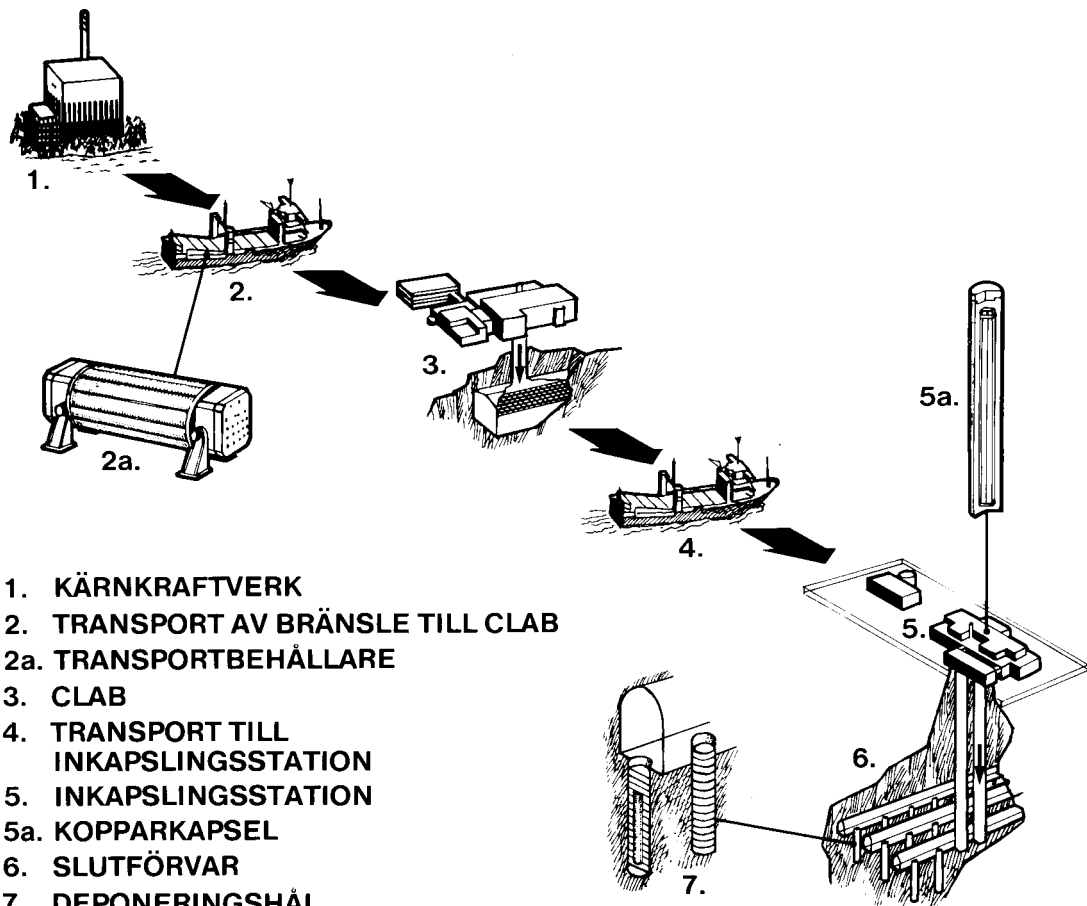
1. Använt kärnbränsle förvaras först under minst 6 månader i förvaringsbassänger vid kraftverken.
2. Bränslet transporteras sedan med båt och i specialkonstruerade behållare (2a) till det centrala mellanlagret för använt kärnbränsle (Clab, vid Oskarshamns kärnkraftverk).
3. Bränslet förvaras i Clab under 40 år.
4. Från Clab transporteras bränslet till en inkapslingsanläggning som är belägen ovan jord i anslutning till slutförvaret.
5. I inkapslingsstationen innesluts det använda bränslet i kopparkapslar (5a). Mellanrummet mellan bränslestavarna fylls med bly eller koppar.
6. Kopparkapslarna med bränslet överförs till ett slutförvar i berg på cirka 500 meters djup. Förvaret utförs som ett system med parallella tunnlar. I tunnarnas golv borrar förvaringshål, 1,5 meter i diameter och 7,5 meter djupa. I varje hål förvaras en avfallskapsel. Förvaret kan utföras i ett eller flera plan.
7. I förvaringshålen omges kapslarna med block av bentonitlera med hög täthet i vattenmättad form. Sedan alla kapslar deponerats förseglas slutförvaret genom att alla tunnlar och schakt återfylls med en blandning av sand och bentonit.

I sammanfattningsdelen av KBS-3-rapporten beskrevs slutförvarets funktion enligt i huvudsak följande (del Sammanfattning s 5–6):

”Skadlig påverkan på biosfären av de radioaktiva ämnena i bränslet kan förhindras på två sätt, dels genom total inneslutning, dels genom att spridningen sker långsamt och med stor utspädning, så att halterna som kan nå biosfären med grundvattnet blir acceptabelt låga. En total inneslutning kan inte förutsättas bli bestående under hur lång tid som helst. Därför måste skyddet på mycket lång sikt baseras på långsam upplösning och spridning, stor utspädning samt avklingning.

Barriärerna i det här beskrivna systemet utgörs av:

- Bränslet i sig, som är mycket svårslutligt i vatten.
- Kapseln isolerar helt det använda bränslet från omgivningen under mycket lång tid.
- Buffertmaterialet – den hårt sammanpressade bentonitleran – som förhindrar att strömmande grundvatten kommer i kontakt med kapseln, eller sedan den genombrutits, med det använda kärnbränslet.
- Berget som omger slutförvaret och som valts så att grundvattenomsättningen är mycket låg. I berget sker också en stark fördröjning av de flesta radioaktiva ämnena genom kemiska processer mellan mineralen och de radioaktiva ämnena. Härigenom kommer en mycket stor del av radioaktiviteten att hinna avklinga under transporten i berget.



1. KÄRNKRAFTVERK
2. TRANSPORT AV BRÄNSLE TILL CLAB
- 2a. TRANSPORTBEHÅLLARE
3. CLAB
4. TRANSPORT TILL INKAPSLINGSSTATION
5. INKAPSLINGSSTATION
- 5a. KOPPARKAPSEL
6. SLUTFÖRVAR
7. DEPONERINGSHÅL

Figur 3-1. Hanteringsgång för använt kärnbränsle (KBS-3-rapporten 1983).

Efter avslutad deponering och i anslutning till förslutningen av tunnlar och schakt avbryts länshållningen av förvaret och kvarvarande hålrum och porer kommer då långsamt att vattenfyllas. När grundvattnet tränger in i deponeringshålen kommer bentonitleran i buffert- och återfyllningsmaterialiet att ta upp vatten och svälla. När håligheter i massan utfyllts kan ingen vidare svällning ske. I stället utbildas ett svälltryck. När förloppet nått jämvikt blir buffertmaterialiet minst lika tätt som omgivande berg. Någon vattenströmning av betydelse kan då inte äga rum. Ämnen som finns lösta i vattnet kommer därför att kunna transporteras i leran eller lera/sandblandningen endast genom diffusion.

Ämnen i grundvattnet som kan angripa koppar, kommer i små mängder men under lång tid att nå kapselytan och orsaka korrosionsangrepp. Efter mycket lång tid kan angreppen nå fram till det inneslutna bränslet. En utlakning av de i bränslet ingående radioaktiva ämnena kan då ta sin början. Den ringa vattenomsättningen och de aktuella ämnenas svårlöslighet gör att utlakningen går ytterst långsamt.

Ämnen som lösts från bränslet kommer att diffundera ut genom buffertmaterialiet och kan sedan transporteras vidare med grundvattnet. De flesta ämnena fördröjs starkt till följd av olika kemiska och fysikaliska processer och en stor del hinner sönderfalla och övergå till stabila ämnen innan de når biosfären.

Vissa mycket långlivade radioaktiva ämnen kan dock under ogynnsamma omständigheter efter mycket lång tid tänkas komma att nå biosfären. Då de följer grundvattnet, kan utflödet ske i en brunn, i ett vattendrag eller i havet. Krav ställs då att koncentrationerna blir så låga att de inte i någon grad av betydelse förändrar den naturliga strålningsmiljön.”

### 3.2.3 Anläggningar

När KBS-3-rapporten färdigställdes hade transportsystemet börjat tas i bruk och Clab höll på att byggas. Beskrivningen i rapporten av de anläggningar som är nödvändiga för KBS-3-systemet koncentrerades därför på de två planerade anläggningarna, det vill säga inkapslingsanläggningen och slutförvaret. I det följande redovisas beskrivningen av inkapslingsanläggningen översiktligt, medan en något mer ingående bild ges av slutförvaret.

#### **Inkapslingsanläggning**

Inkapslingsanläggningen förutsattes bli uppförd i anslutning till slutförvaret. Där skulle det använda kärnbränslet bli inkapslat i kopparkapslar, medan vissa andra högaktiva komponenter (BWR-bränslets bränsleboxar och PWR-bränslets borglasstavlar) förutsattes gjutas in i betong för att senare transporteras till ett särskilt slutförvar. En översiktlig bild av anläggningen inklusive processschema illustrerade framställningen (del I s 4:8–9).

Två olika metoder för tillverkning av kopparkapslarna presenterades. Enligt den ena skulle bränselementen placeras i en förtillverkad kapsel och hålrummen fyllas med smält bly, varefter ett tättslutande lock skulle svetsas på. I den andra metoden skulle hålrummen fyllas med kopparpulver och ett lock läggas på, varefter paketet skulle behandlas i en ugn för het isostatisk pressning där det hela sammanpressades till en solid kropp. En mer detaljerad redovisning av frågor med anknytning till kapslarna finns i avsnitt 3.2.6 nedan.

#### **Slutförvar**

Beskrivningen av slutförvarsanläggningens utformning (del I s 4:12–19) kan sammanfattas enligt följande:

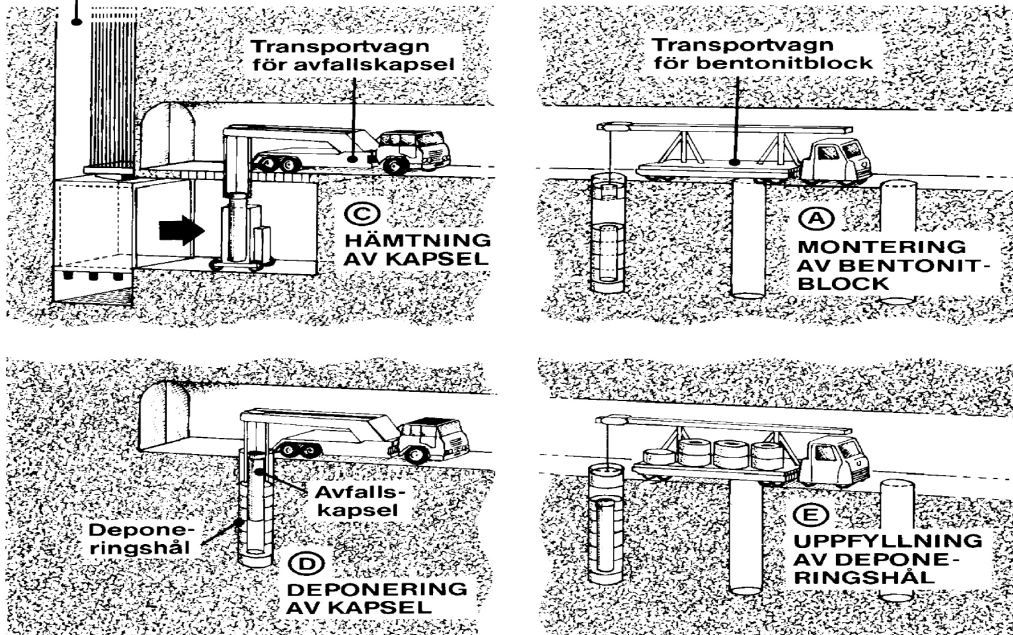
- Slutförvaret utformas som ett system av horisontella parallella förvaringstunnlar, belägna på cirka 500 meters djup i ett utvalt bergparti. Kommunikationstunnlar och schakt förbinder slutförvaret med markytan.
- Slutförvarets placering och geometri anpassas till berggrundens geologiska och geotekniska egenskaper. Det kan, beroende på lokala förhållanden, komma att utföras i ett plan eller delas upp på två plan med cirka 100 meters nivåskillnad. Förvaringstunnlarna anläggs antingen genom försiktig sprängning eller med fullortsborrning. För ett tunnelsystem som ska rymma de beräknade 4 400 kapslarna<sup>25</sup> krävs en yta av cirka 0,7 km<sup>2</sup> i ett enplansförvar. Ett tvåplansförvar kräver av värmeskäl större avstånd mellan tunnlar och ytan blir  $2 \times 0,5$  km<sup>2</sup> om alla deponeringspositioner kan utnyttjas. Den totalt utsprängda volymen fast berg anges till cirka 600 000 m<sup>3</sup>; för återfyllningen åtgår bland annat cirka 250 000 ton bentonit.
- Bränselelemlarna deponeras i vertikala hål som har borrats i förvaringstunnlarna. Hålen har en diameter av 1,5 meter och ett djup av 7,5 meter. Avstånden mellan hålen förutsätts vara 6 meter och i varje hål deponeras en kapsel. Förvaringstunnlarna förutsätts vara 25 meter. I hålen omges varje kapsel med buffertmaterial. Avstånden mellan hålen och mellan förvaringstunnlarna var anpassade till beräkningar av kvarvarande värmeeffekt i det inkapslade bränslet. En utgångspunkt var att temperaturen på kapselns utsida uppgår till högst 80 °C vid deponeringstillfället.
- När deponeringen avslutats inom en viss del av förvaret eller i förvaret i sin helhet återfylls tunnlar och schakt.

Framställningen illustrerades med figurer föreställande hanteringsschema för kapseldeponeringen (figur 3-2), deponeringshål med kapsel, buffert material och återfyllning av förvaringstunnel (figur 3-3), försegling av förvaringstunnel (figur 3-4) samt en perspektivskiss över ett slutförvar i två plan (figur 3-5).

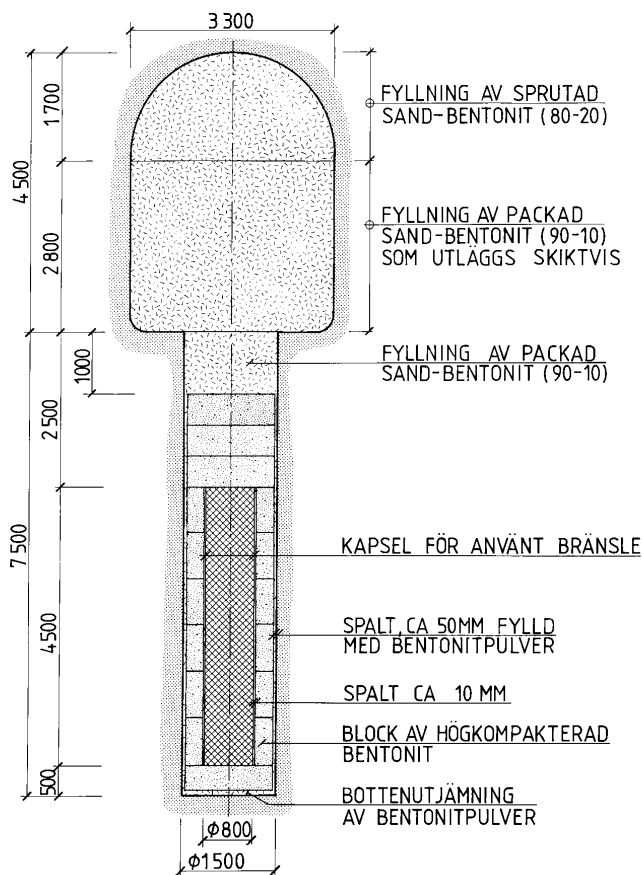
<sup>25</sup> Beräkningen av 4 400 kapslar angavs vara grundad på riksdagsbeslutet år 1980 om högst 12 reaktorer, vilka samtliga skulle vara avstängda år 2010 (jfr avsnitt 4.2.1).

**FRÅN  
INKAPSLINGSSTATION**

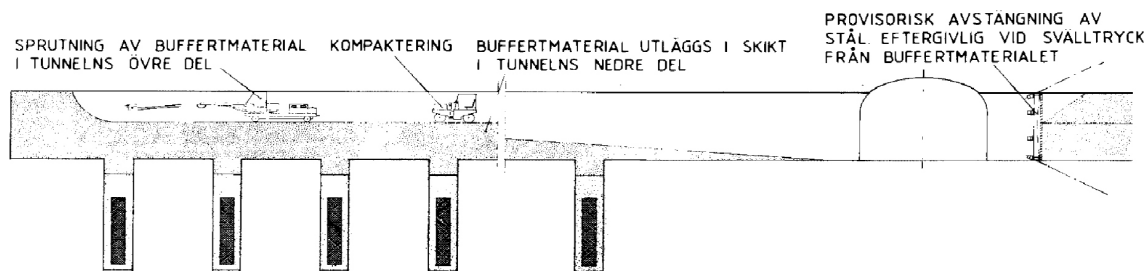
Transportschakt  
för avfallskapsel



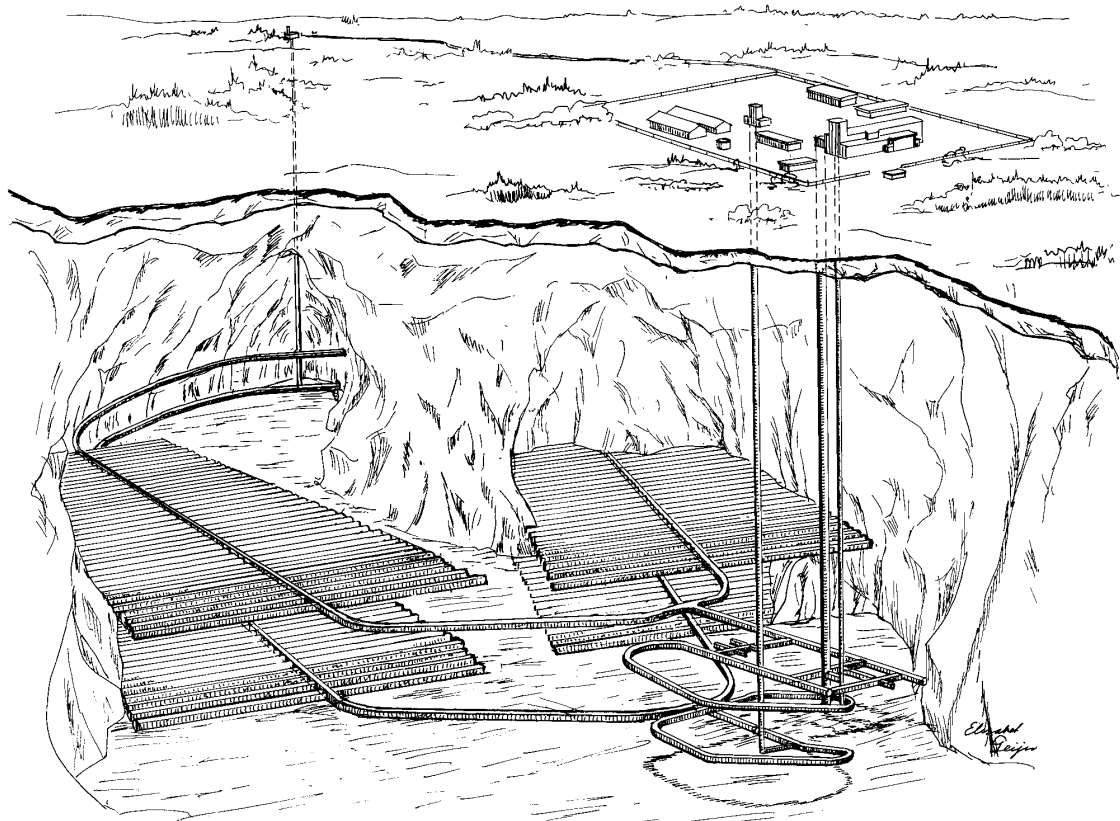
Figur 3-2. Hanteringsschema för kapseldeponering i slutförvar (KBS-3-rapporten 1983). Hanteringen sker i sekvensen A-E.



Figur 3-3. Deponeringshål med kapsel, buffertmaterial och med återfyllning i förvaringstunnel (KBS-3-rapporten 1983).



**Figur 3-4.** Vid förseglingen av slutförvaret fyller man tunnlarna med en blandning av kvartssand och bentonit. Det undre lagret utläggs med traktorer och vibrovältas. Den övre delen av tunneln fylls med sprutning. (KBS-3-rapporten 1983.)



**Figur 3-5.** Tunnlarna och schakt i ett slutförvar för använt kärnbränsle (KBS-3-rapporten 1983).

### 3.2.4 Berggrunden

Del II av KBS-3-rapporten var inriktad på frågor om platsundersökningar, bergets grundvattenrörelser, grundvattnets och spricksystemets kemi samt berggrundens naturliga förändringar.

I avsnittet om *platsundersökningar*<sup>26</sup> redovisades ”programmet för de geologiska och hydrologiska undersökningar som genomförts inom ett antal sk typområden” samt de undersökningsmetoder som hade använts (del II s 5:1).

De aktuella undersökningarna hade främst inriktats på studier av berggrundens storskaliga sprickighet, berggrundens hydrauliska egenskaper, grundvattnets kemiska sammansättning samt bergarternas och sprickmineralens kemiska sammansättning. Inriktningen motiverades enligt följande (del II s 5:2):

<sup>26</sup> Det bör observeras att begreppet ”platsundersökning” vid denna tidpunkt inte hade samma innebörd som i dag. Platsundersökningar med dagens terminologi har endast genomförts vid Forsmark och vid Laxemar.

”Sprickstudierna och de hydrologiska undersökningarna utgör underlag för numeriska beräkningar av det tredimensionella grundvattenflödet och härtill kopplade beräkningar av hur olika radionuklider kan sprida sig i berget. Kemiska data och beräknade grundvattenflöden ingår i det underlag som krävs för bedömning av hur och i vilken takt kapslarna kring det använda kärnbränslet kan korrodera och i vilken takt det använda kärnbränslet kan upplösas.

Platsundersökningarna ger också underlag för en schematisk inplacering av ett tänkt slutförvar i områdena. Hur ett förvar slutligt skall utformas i detalj kan anges först efter successiva allt mer förtätade undersökningar. Nästa detaljeringssteg förutses bli genomfört under 1990-talet, då ... två eller tre områden väljs ut för närmare studier... Den slutliga förvarsutformningen fastställs först sedan ett detaljundersöknings- och verifikationsprogram genomförts i anslutning till utsprängningen.”

Redovisningarna avsåg i första hand fyra nyligen undersökta typområden, nämligen Fjällveden (Nyköpings kommun), Gideå (Örnsköldsviks kommun), Kamlunge (Kalix kommun) och Svartboberget (Ovanåkers kommun). Dessutom redovisades resultatet från ytterligare undersökningar som hade gjorts vid de tidigare undersökta områdena Finnsjön (Tierps/Östhammars kommuner) och Sternö (Karlshamns kommun). Det underströks särskilt att avsikten inte var att nu föreslå en plats för lokalisering av ett slutförvar. Redovisningen syftade ”enbart till att visa att det i Sverige finns områden, där en säker slutförvaring av använt kärnbränsle kan åstadkommas” (del II s 5:3).

I avsnittet om *bergets grundvattenrörelser* diskuterades grundläggande egenskaper för berggrundens vattenförande förmåga, liksom de parametrar och samband som beskriver grundvattenrörelserna. Kapitlet innehöll också en presentation av en matematisk beräkningsmodell som skulle simulera grundvattenströmningen. Ett tredje avsnitt, *grundvattnets och spricksystemens kemi*, innehöll en redovisning av det kemiska system som berget, grundvattnet och sprickfyllnadsmaterialen utgör.

I det fjärde och avslutande avsnittet, *berggrundens naturliga förändringar*, behandlades möjliga effekter av sådana långsiktiga skeenden som bergskedjebildning, landhöjning, blockrörelser och vulkanism, jordskalv, förskjutningar inom bergblock, mineralisering och nedisning. Avsikten var att få underlag för en bedömning av effekterna av framtida skeenden inom 1 miljon år och då särskilt inom typområdena.

Resultatet av bedömningarna om berggrundens naturliga förändringar redovisades i sammanfattningensdelen på följande sätt (del Sammanfattning s 19):

”Det svenska urberget karakteriseras av att det innehåller ”block” av fast berg, som begränsas av mer eller mindre utpräglade sprickzoner. Dessa sprickzoner har uppkommit under geologiskt sett mer dramatiska skeden, flertalet för mer än 650 miljoner år sedan. Det kan därför bedömas som uteslutet att berggrundens allmänna sprickmönster skulle komma att förändras i någon större omfattning under någon årmiljon framåt. Däremot kan enstaka lokala förskjutningar, som konstaterats ha inträffat även under geologiskt sett sen tid, inte uteslutas. Sådana rörelser följer, naturligt nog, företrädesvis tidigare uppspruckna och därför försvagade stråk, som självfallet undviks när man väljer platsen för ett slutförvar.

Risken att en framtida bergförskjutning skulle korsa över ett deponeringshål och skada en kapsel har belysts genom studier av tidigare sprickförskjutningar på blottade hållar. En statistisk analys av dessa observationer anger att på sin höjd något enstaka deponeringshål i slutförvaret kan komma att beröras av en mindre förskjutning under en miljon år. Smärre förskjutningar kommer emellertid inte att skada kapslarna, bl a därför att de skyddas av det plastiska buffertmaterialet. Konsekvenserna av att enstaka kapslar förlorar sin täthet i ett tidigt skede har belysts i säkerhetsanalysen.”

### 3.2.5 Buffert- och återfyllningsmaterial

Som kan utläsas av figur 3-3 var buffertens tjocklek 35 centimeter, det vill säga 1,5 centimeter mindre än som hade förutsatts i KBS-2-rapporten. Skillnaden berodde på att kapselns diameter hade ökat med tre centimeter, medan deponeringshålets diameter om 150 centimeter var oförändrad.

Buffertmaterialets uppgift beskrevs som ”att utgöra en mekanisk och kemisk skyddszon runt kapseln samt begränsa intransporten av korrosiva ämnen från grundvatten till kapselyta och i ett senare skede



begränsa uttransporten av lakade radioaktiva ämnen från kapseln”. Uppgiften för återfyllningsmaterialet i tunnlar och schakt var ”dels att bevara den mekaniska stabiliteten hos de utsprängda utrymmena, dels att återställa de hydrologiska förhållandena i området” (del III s 9:1).

Hur buffertmaterialet skulle komma att appliceras i deponeringshål och tunnlar illustrerades enligt figur 3-3. Metoden för återfyllning av deponeringstunnlar illustrerades enligt figur 3-4.

Följande frågeställningar behandlades (del III s 9:1–14):

- Buffertmaterialets egenskaper (sammansättning, densitet, kemisk stabilitet, hydraulisk konduktivitet och diffusivitet, bärighet, svälltryck, värmeledningsförmåga samt jonbyteskapacitet).
- Buffertmaterialets funktion.
- Återfyllningsmaterial.
- Pluggning av borrhål och försegling av tunnlar och schakt.
- Materialkontroll.

Genomgången av de olika frågeställningarna sammanfattades enligt följande (del Sammanfattning s 20–21):

”Buffertmaterialet av högkompakterad bentonit i deponeringshålen ... utgör en mekanisk och kemisk skyddszon runt kapseln och begränsar intransporten av korrosiva ämnen från grundvattnet till kapselytan. I ett senare skede begränsar det utläckage av radioaktiva ämnen från den genombrutna kapseln till omgivande berg.

Återfyllningen i tunnlar och schakt, som består av en blandning av bentonit och sand, ger mekanisk stabilitet åt de utsprängda utrymmena och återställer de hydrologiska förhållandena i området.

Den kompakterade bentonitleran har:

- god bärighet, så att kapseln behåller sitt läge i deponeringshålet,
- god värmeledningsförmåga,
- god kemisk långtidsstabilitet.

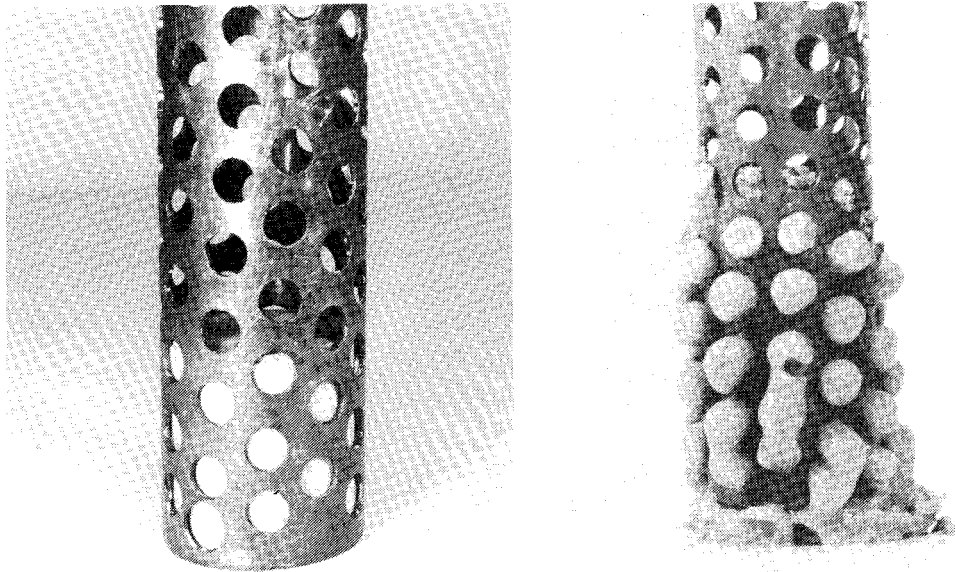
Kompakterad bentonit sväller kraftigt vid vattenupptagning. Förhindras svällningen uppkommer i stället ett svälltryck. Detta ger bentoniten en självtätande förmåga och gör att vattenförande passager inte kan uppkomma i materialet. Svälltrycket pressar också in bentoniten i de mindre sprickor, som kan finnas i deponeringshålets väggar. Sprickorna blir på så sätt tätade.

Omfattande undersökningar har gjorts på bentonitens egenskaper. Sålunda har det visats att bentoniten är mindre genomsläpplig för vatten än omgivande berg. Detta medför att grundvattnet i bergssprickorna inte strömmar vidare genom det fyllda deponeringshålet utan runt det. Transport av olika ämnen genom bufferten sker enbart genom diffusion. För en sand/bentonitblandning som utgör återfyllningsmaterial i tunnlar och schakt är den hydrauliska konduktiviten högst  $10^{-9}$  m/s, vilket motsvarar ett berg med ”normal” god täthet.

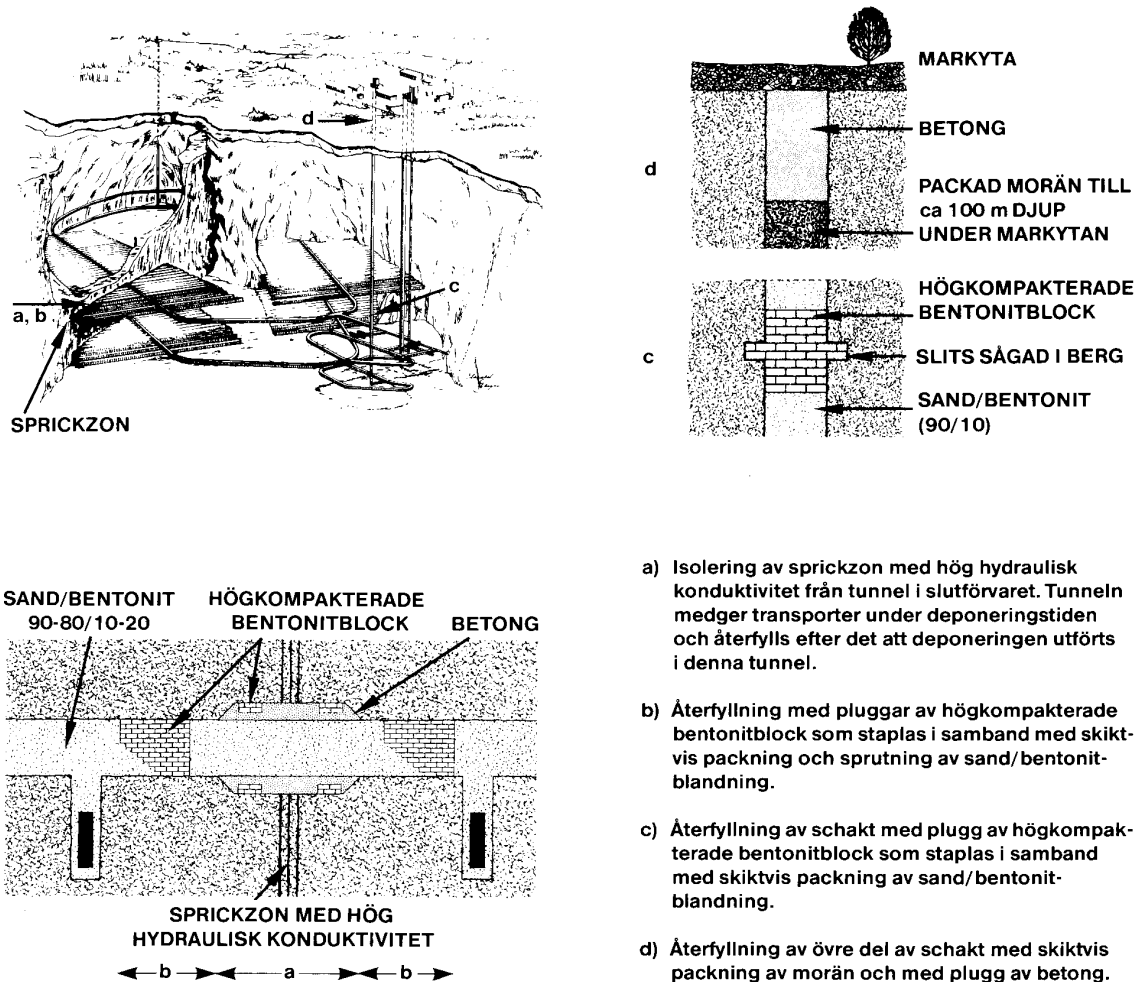
Observationer i naturen har visat att bentoniten i den miljö som rådet i slutförvaret förblir kemiskt stabil under mer än en miljon år om temperaturen inte överstiger cirka 100 °C. Slutförvaret har därför utformats med inriktningen att temperaturen i bentoniten ska bli högst 80 °C.

Kompakterad bentonit avses även bli använd för pluggning av undersökningshål och som ’vattentäta’ skott i tunnlar och schakt ...”

Användningen av kompakterad bentonit för pluggning av undersökningshål och som ”vattentäta” skott i tunnlar och schakt illustrerades med figur 3-6 och 3-7.



Figur 3-6. Perforerat rör med pressade bentonitkutsar för tätning av borrhål (KBS-3-rapporten 1983).



Figur 3-7. Pluggar av högkompakterad bentonit för tätning av tunnlar och schakt (KBS-3-rapporten 1983).

### 3.2.6 Kapselmaterial

Kapselns uppgift beskrevs i rapporten vara ”att under lång tid helt innesluta det använda bränslet och därmed förhindra spridning av radioaktiva ämnen med grundvattnet. Först när kapseln penetrerats genom korrosion eller om kapselbrott orsakats av mekaniska påkänningar kan sådan spridning ske.” (del III s 10:1).

Avgörande för när en penetration genom korrosion kunde ske är kapselns vägg tjocklek – i rapporten förespråkades 10 centimeter ren koppar med hänvisning till att beräkningar visat att tiden för genomfrätning av en kopparkapsel med 10 centimeters eller 20 centimeters tjocklek var mer än 1 miljon år, både i ett sannolikt och i ett ogynnsamt fall (se tabell 3-1 nedan). Genom att öka kapselns yttre diameter från 77 till 80 centimeter erhöles en inre diameter av 60 centimeter. Detta medförde i sin tur dels att varje kapsel skulle kunna innehålla mer använt kärnbränsle än enligt KBS-2-rapporten, dels att fler alternativa tillvägagångssätt öppnades för själva inkapslingen. En följd av att koppartjockleken nu minskades från 20 till 10 centimeter blev att kapselns längd kunde minskas med  $(10+10=)$  20 centimeter, det vill säga från de 470 centimeter som angetts i KBS-2-rapporten 1978 till 450 centimeter.

Valet av koppar (i olegerad form) motiverades enligt i huvudsak följande (del III s 10:1–2). I ett slutförvar kommer påverkan på kapslarna att bestämmas av den kemiska miljön i deponeringshålet. Grundvattnets sammansättning har då en avgörande betydelse. Man behöver därför tillgång till ett kapselmaterial som är termodynamiskt stabilt i denna miljö. Koppar är det ädlaste av de vanliga konstruktionsmaterialen och är termodynamiskt stabilt i rent vatten. I grundvatten kommer korrosionen av koppar därför att bestämmas av de korrosiva ämnen som är lösta i grundvattnet, i huvudsak löst syre och, för reducerande grundvattenförhållanden, löst sulfid. Två typer av syrefri koppar hade studerats.

Någon diskussion om alternativ till koppar som material för de kapslar som skulle innehålla det använda kärnbränslet redovisas inte i rapporten. Det framgår emellertid av annan dokumentation från åren kring 1980 /3-2 s 25–26/ och /3-3 s 25–27/ att man inom KBS-projektet övervägde aluminiumkapslar, framställda genom het isostatisk pressning.

När det gällde tillverkningsteknik presenterades två alternativa inkapslingsförfaranden. Dessa var *förslutning med elektronstrålesvetsning* respektive *förslutning med het isostatisk pressning*. Dessa illustrerades enligt figur 3-8 respektive 3-9. Om det svetsade alternativet valdes beräknades antalet kapslar bli cirka 4 400 /3-1 del I s 4:11/. Som framgår av figur 3-8 innebar detta alternativ åtta bränsleelement per kapsel, medan alternativet med het isostatisk pressning skulle innebära nio element per kapsel. Antalet kapslar skulle alltså i det sistnämnda alternativet bli något färre och förvaret skulle därför kunna göras något mindre.

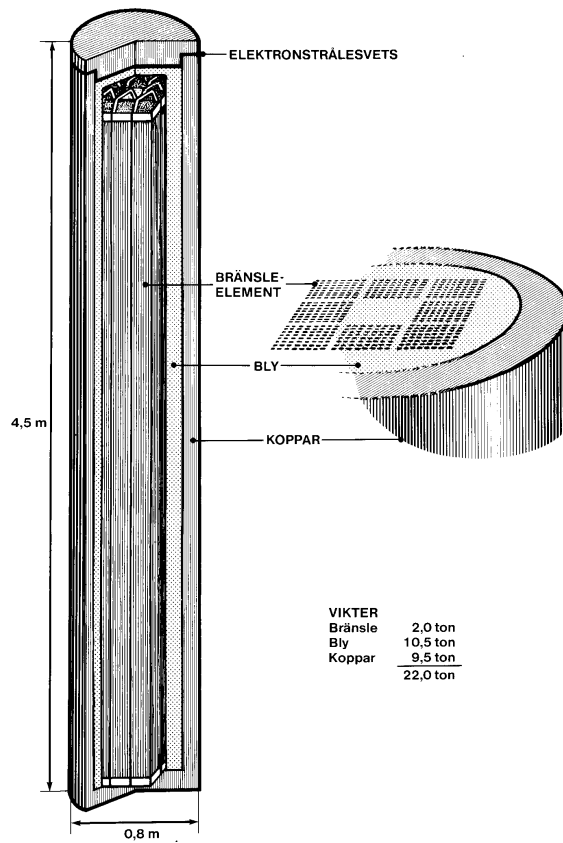
I detta sammanhang bör också nämnas att SKB i de första Plan-rapporterna efter det att KBS-3-rapporten hade presenterats (1983–1985) baserade sina kostnadsberäkningar på antaganden om att det i Sverige skulle slutförvaras dels cirka 4 500–5 000 kapslar med använt kärnbränsle, dels ett antal kapslar med förglasat avfall från den uppberedning som avsågs ske i Frankrike. Från år 1986 har emellertid utgångspunkten för alla kostnadsberäkningar varit att allt använt kärnbränsle från de svenska kärnkraftverken ska direktdeponeras. Under de närmast följande fem åren räknade SKB med att det skulle röra sig om cirka 5 600 kapslar<sup>27</sup>.

Det underströks att oavsett vilket alternativ som väljs, så krävs en effektiv kvalitetskontroll vid tillverkningen. Det förutsattes att tillverknings- och kontrollmetoder kommer att utvecklas och testas i pilotuppställningar och att så kommer att ske i anslutning till projektering och konstruktion av den utrustning som kommer att behövas för tillverkningen.

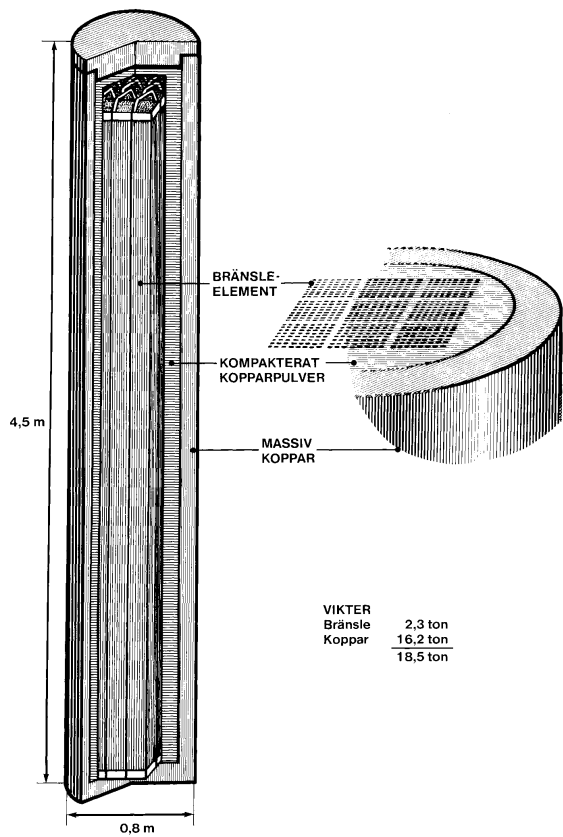
I rapporten belystes även frågor kring mekanisk påverkan på kapseln, orsakade av kvarblivna spänningar från tillverkningen, yttre krafter och/eller inre krafter.

Frågor om kemisk påverkan på kapseln, det vill säga effekter av möjliga korrosionsprocesser behandlades utförligt. Slutsatsen var att kapslarna kommer att utsättas för dels en viss frätning på ytan, dels så kallad gropfrätning.

<sup>27</sup> Uppgifter om beräknat antal kapslar finns i *bilaga 1*.



Figur 3-8. Svetsad kopparkapsel (KBS-3-rapporten 1983).



Figur 3-9. Kopparkapsel framställd med het isostatisk pressning (KBS-3-rapporten 1983).

**Tabell 3-1. Kapselns livslängd för olika väggjocklekar (KBS-3-rapporten 1983).**

Väggjocklek (mm)	Tid till första genomfrätning (år)	
	Sannolikt fall	Ogynnsamt fall
10	> 10 <sup>6</sup>	> 10 <sup>5</sup>
60	> 10 <sup>6</sup>	> 10 <sup>6</sup>
100	> 10 <sup>6</sup>	> 10 <sup>6</sup>
200	> 10 <sup>6</sup>	> 10 <sup>6</sup>

Med stöd av analysen av effekterna av olika korrosionsprocesser redovisades bedömningar som en expertgrupp hade gjort och som gällde kapselns livslängd för olika väggjocklekar. Dessa bedömningar framgår av tabell 3-1. Det framhölls i sammanhanget att genomfrätning inte kommer att ske samtidigt för alla kapslar. I stället kan en avsevärd spridning förväntas, beroende på variationer i det omgivande bergets sprickighet, tunnarnas fyllning, bentonitens föroreningsgrad, grundvattnets sammansättning etc.

### 3.2.7 Säkerhetsanalys

I del IV av KBS-3-rapporten redovisades resultatet av de säkerhetsanalytiska överväganden som hade gjorts. Ett stort antal frågeställningar behandlades, vilka utmynnade i en sammanfattande säkerhetsbedömning (se vidare nedan i detta avsnitt). Frågeställningarna var samlade under följande rubriker:

- Säkerhetsmässiga principer.
- Platsspecifika data.
- Radiologisk säkerhet under drift.
- Det slutna förvarets säkerhet.
- Missöden och extrema händelser.

Med hänvisning till de tre grundprinciper för slutförvaring av radioaktivt avfall som hade identifierats för svensk del (se avsnitt 3.2.1) formulerades i rapporten följande *sex säkerhetsmässiga principer* för planering och konstruktion av ett slutförvar för det använda kärnbränslet (del IV s 17:1–2):

- Säkerhetsnivån vid hantering och slutförvaring av använt kärnbränsle ska ligga inom de gränser som anges i nationella och internationella normer och rekommendationer.
- Det totala systemets långtidssäkerhet ska bygga på flera av varandra oberoende barriärer, så att den totala säkerheten inte äventyras vid eventuella brister hos en av barriärerna.
- Säkerhetsfunktionen hos varje barriär bör bedömas försiktigt.
- Utformning och dimensionering av slutförvaret måste grundas på kunskaper om tänkbara lokaliseringsplatser i Sverige och på en teknologi som är tillgänglig inom landet.
- Slutförvarets säkerhet på lång sikt får inte baseras på övervakning och möjligheter att vidta åtgärder i det tillslutna förvaret.
- Slutförvaret ska på både kort och lång sikt inte väsentligt förändra de naturliga strålningsförhållandena i regionen.

Det tillades att förvarssystemet har utformats för att i första hand uppfylla de krav som ställs från strålskyddssynpunkt och som syftar till skydd mot strålskador. Tre riktlinjer hade ställts upp för bedömningen av om förvarssystemet kunde betraktas som "acceptabelt säkert" (del IV s 17:5):

- Det förväntade bidraget till stråldosen till den mest belastade gruppen ska underskrida SSI:s konstruktionsmålsättning för kärnkraftanläggningar 0,1 mSv/år.
- Förvarets bidrag till stråldosen till den mest belastade gruppen bland de kringboende ska även vid mycket ogynnsamma förhållanden underskrida det av den internationella strålskyddskommisionen (ICRP) rekommenderade gränsvärdet 1 mSv/år.
- Slutförvaret ska inte på ett väsentligt sätt förändra den naturliga strålningsmiljön i förvarets omgivning.

### **Sammanfattande säkerhetsbedömning**

I den sammanfattande säkerhetsbedömningen påpekades inledningsvis att samhället hittills inte hade ställt krav på redovisningar av hur stabila giftiga ämnen kan påverka omgivningen på mycket lång sikt. ”Det har därför inte varit möjligt att i denna redovisning ställa säkerheten hos ett slutförvar för använt kärnbränsle i relation till hur samhället allmänt bedömer säkerhetsproblem som berör miljön på mycket lång sikt.” (del IV s 22:1).

Den övergripande slutsatsen var följande (del IV s 22:4):

*Använt kärnbränsle från de svenska kärnkraftverken kan hanteras och slutförvaras på ett sätt, som tillgodoser mycket högt ställda krav på säkerhet och strålskydd. Hanteringen och slutförvaringen kan genomföras med i idag känd och i Sverige tillgänglig teknik. Berggrunden har på flera ställen i Sverige den beskaffenhet, som krävs för ett säkert slutförvar.*

*Den redovisade förvaringsmetoden är flexibel och kan anpassas till lokala förhållanden. Fortsatt forsknings- och utvecklingsarbete kan förutses ge underlag för betydande förbättringar med avseende på ekonomi och resursanvändning.*

Slutsatser i fråga om slutförvarets långsiktiga säkerhet behandlades utifrån tre aspekter, tidsperspektivet, förvaringsplatsen och säkerheten. I det följande återges formuleringarna i rapporten (del IV s 22:2-4) under var och en av dessa rubriker:

#### **Tidsperspektivet**

”Radioaktiviteten i det använda bränslet avtar till en början mycket snabbt. Under de första 10 åren efter uttaget ur reaktorn återstår sålunda endast en hundradel av den ursprungliga. För att aktiviteten i det ”10-åriga” bränslet i sin tur skall sjunka till en hundradel krävs en tid av 10 000 år. En tredje hundradelning av aktiviteten sker under perioden 10 000 år till 10 miljoner år.

Under de långa tidrymder, som här måste beaktas kommer många förändringar att ske i vår omgivning.

- Under en tid av något hundratal år kan naturen ändras, t ex genom att sjöar växer igen.
- Under en tid av något tiotusentals år kan väsentliga klimatförändringar ske, som eventuellt kan leda till en ny nedisning.
- Under en tid av någon miljon år kan evolutionen leda till att nya arter uppkommer och andra försvinner.
- Under en tid av flera tiotal miljoner år kan betydande geologiska förändringar inträffa.

Osäkerheterna i prognoser och framtidsbedömningar blir givetvis större ju längre tider de avser. För att säkerhetsbedömningen av ett slutförvar för använt kärnbränsle skall bli fullständig, krävs dock att förväntade förhållanden mycket långt i framtiden belyses. Egenskaperna hos såväl det bergparti, som kommer att väljas för slutförvaret, som hos de material, som ingår i de tekniska barriärerna karakteriseras av att de varit bestående under geologiska tidrymder. Det blir därför meningsfullt att göra bedömningar av barriärfunktionerna i ett slutförvar även i ett miljonårsperspektiv. Under tidrymder bortom miljonårsperspektivet kommer isotopsammansättningen i det använda kärnbränslet att i huvudsak vara densamma som i det uran, som naturligt förekommer i den svenska berggrunden.”

## **Förvaringsplatsen**

”Det svenska urberget är geologiskt mycket stabilt och man kan inte förvänta sig några avsevärda förändringar i de hydrologiska eller geokemiska förhållandena på några hundra meters djup under den närmaste årmiljonen.

Säkerhetsanalysen grundar sig på geologiska, hydrologiska och geokemiska data, som erhållits vid omfattande undersökningar på olika platser i Sverige. Förhållandena varierar något mellan platserna. Säkerhetsanalysen täcker dock väsentligen in de variationer som iakttagits.

Platsundersökningarna och säkerhetsanalysen har visat att det finns flera platser i Sverige där berggrunden är sådan att den väl lämpar sig för anläggning av ett säkert slutförvar. De nu undersökta områdena vid Gideå och Kamlungekölen och sannolikt också Fjällveden samt det tidigare undersökta området vid Sternö, är exempel på sådana områden. Analyserna har visat att även områden liknande Finnsjön, med relativt sett högre grundvattenflöden än de nämnda, torde kunna accepteras ur säkerhetssynpunkt.

Innan slutförvarets lokalisering fastställs någon gång mot slutet av 1990-talet avses ytterligare områden bli undersökta, så att tillräckligt underlag skall finnas för ett optimalt platsval.”

## **Säkerheten**

”Det använda bränslet omges i slutförvaret av olika barriärer. De har utformats och valts dels för att helt isolera bränslet från omgivningen under mycket lång tid, dels för att på ännu längre sikt fördröja och späda ut de radioaktiva ämnen som då kan läcka ut från förvaret.

En kapsel av koppar med några cm väggjocklek bedöms förbli tät i minst en miljon år, sannolikt betydligt längre.

Bentonitleran i deponeringshålen utgör ett tätande skikt samt en mekanisk och kemisk buffert mellan kapslarna och bergmassan. Geologiska iakttagelser visar att bentonit är en beständig naturprodukt, som bibehåller sina egenskaper i åtminstone någon miljon år, om temperaturen inte överskrider 100 °C.

Både geokemiska observationer i naturen och laboratorieundersökningar visar att uran och andra aktinider, som förekommer i det använda bränslet har en mycket låg löslighet i vatten. Tillsammans med den mycket låga grundvattenomsättningen i slutförvaret leder detta till att utlakningen av de radioaktiva ämnen, som finns kvar när kapslarna genombrutits, blir ytterligt långsam.

I den kemiska miljö, som rådet i bergets grundvatten kommer de radioaktiva ämnena att förflyttas utomordentligt långsamt. Framför allt sorptionen i mikrosprickorna i berget fördröjer transporten.

En analys av funktionen hos det beskrivna barriärsystemet och kunskaperna om hur naturligt förekommande uran rör sig i berget ger vid handen att slutförvaret inte kommer att påverka omgivningen över huvud taget. Kunskaper och dataunderlag är dock ännu inte tillräckliga för att visa detta på ett ovedersägligt sätt. Spridningsberäkningar har därför genomförts för ett antal tänkta fall.

I de olika beräkningsfallen har ogynnsamma förutsättningar valts t ex beträffande kapslarnas livslängd, vattenomsättningen i berget och de kemiska fördröjningseffekterna. Även då blir de beräknade doserna obetydliga – någon tusendel till någon hundradel av dosen från den naturliga strålningen – och de uppkommer först i en mycket avlägsen framtid. Jämfört med gällande radiologiska normer ger det redovisade förvarssystemet en avsevärd översäkerhet.

Analyserna visar att det bör finnas betydande utrymme för att genom fortsatt forsknings- och utvecklingsarbete nå fram till en lösning, som utan att ge avkall på de höga säkerhetskraven, är betydligt gynnsammare med avseende på ekonomi och resursanvändning.”

### **3.2.8 Missöden och extrema händelser**

Under denna rubrik berördes översiktligt i KBS-3-rapporten (del IV) bland annat frågor om ”inträngning i förvaret” (s 21:5). Ett avsiktligt inträngande i förvaret skulle kunna ”syfta till att återvinna de nyttigheter som finns där, det vill säga kopparn eller det använda bränslet”. Något närmare

resonemang om sannolikheten för sådana framtida åtgärder – senare kallade *återtag* – fördes inte, inte heller om hur åtgärderna skulle kunna utföras. I rapporten underströks enbart vikten av att data om slutförvaret blir omsorgsfullt dokumenterade och bevarade så att beslut om ett eventuellt återtag kan fattas på grundval av korrekt information om de radiologiska riskerna.

### 3.3 Forskningsprogram 1984

#### 3.3.1 Bakgrund och syfte

Den 1 februari 1984 trädde den nya lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet i kraft. Av 6 § (dåvarande lydelse) framgick att det för regeringens tillstånd att för första gången ladda en reaktor krävdes att ”reaktorns innehavare har:

1. visat att det för hantering och slutlig förvaring av använt kärnbränsle och radioaktivt avfall som härrör från detta finns en metod som kan godtas med hänsyn till säkerhet och strålskydd, och
2. företett ett program för den forsknings- och utvecklingsverksamhet som behövs för att i reaktorn använt kärnbränsle och radioaktivt avfall som härrör från detta skall kunna hanteras och slutförvaras på ett säkert sätt.”

Några veckor efter det att lagen trädde i kraft presenterade SKBF ett sådant program som avsågs i punkt 2. Programmets titel var *Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle – KBS-3. Program för forskning och utveckling /3-4/*. Detta program – tillsammans med KBS-3-rapporten – var alltså primärt avsett att uppfylla kraven för att få starta kärnkraftsreaktorerna Forsmark 3 och Oskarshamn 3. Men programmet kom också att utgöra en utgångspunkt för arbetet med att utarbeta ett sådant program för ”den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet” som från år 1986 – enligt en annan paragraf i kärntekniklagen – skulle presenteras vart tredje år för ställningstagande av regeringen.

Det år 1984 presenterade programmet var avsett att omfatta en redovisning av samtliga insatser av FoU-karaktär som SKBF ansåg nödvändiga som grund för att konstruera och bygga de anläggningar som ingick i ett slutförvarssystem enligt KBS-3-rapporten. Ett ”allsidigt” program – innefattande även andra principlösningar än KBS-3-systemet – skulle komma att presenteras år 1986. Men det underströks samtidigt att någon skarp gräns inte kunde anges mellan vad som hörde till ett till KBS-3 knutet program och vad som hörde till ett ”allsidigt” program.

#### 3.3.2 Programmets allmänna inriktning

Enligt programmet behövdes insatser av FoU-karaktär inom tre områden som grund för konstruktion och byggande av ett slutförvar enligt KBS-3-metoden. Dessa områden presenterades enligt följande /3-4 s 2-3/.

Område 1 – Fortsatt utveckling av förvarssystemet:

- Förvarssystem.
  - Teoribildning och modellutveckling.
  - Dataunderlag rörande systemets barriärer.
  - Matematiska beräkningsmodeller för att belysa barriärernas funktion på lång sikt.
  - Optimering genom jämförande funktions- och säkerhetsanalyser.
- Förläggingsplats.
  - Teoribildning och modellutveckling.
  - Mätmetoder och instrument.
  - Platsspecifikt dataunderlag.
  - Matematiska modeller för beräkning av grundvattenrörelser, nuklidspredning m m.
  - Utvärdering av olika förläggingsalternativ.

Område 2 – Platsval:

- Slutlig utvärdering av platsval.
- Myndighetsbehandling och kompletterande insatser.



Område 3 – Utveckling av utrustningar och hanteringsmetoder:

- Underjordsarbeten.
- Inkapsling.
- Hanteringsutrustningar.
- Arbetarskydd.
- Kvalitetskontroll.
- Tillslutning och försegling.
- Långsiktigt informationsbevarande.

Det första området avsåg insatser för att bredda och fördjupa det kunskapsunderlag på vilken redovisningen av KBS-3-metoden vilade. Avsikten var att möjliggöra jämförelser av den långsiktiga säkerheten vid varierande systemutformningar och olika förläggningsplatser. Insatser inom område 2 syftade till att presentera underlag för ett slutligt val av plats för slutförvaret kring år 2000. Insatser inom område 3 betecknades som ”främst av teknisk karaktär och bygger väsentligen på känd teknik”. SKBF ansåg att det inte fanns några tekniska problem som skulle kunna äventyra systemets genomförbarhet. SKBF hade därför inte funnit det meningsfullt att under den närmaste tiden vidareutveckla och detaljstudera en tillverknings- och hanteringsteknik som förutsattes komma att bli använd först om cirka 35 år.

Den mer detaljerade redovisningen programmet var upplagd efter i stort sett samma disposition som KBS-3-rapporten. I det följande återges huvudinnehållet i de avsnitt ur forskningsprogrammet där väsentligare metodutvecklingsfrågor berördes.

### **3.3.3 Anläggningar**

Frågor med anknytning till inkapslingsanläggningen behandlas nedan i avsnitt 3.3.6 Kapselmaterial.

I fråga om slutförvaret framhölls i programmet att det ”i dag” finns teknik att utföra schakt, tunnlar och borrhål. Men för att utföra deponeringshål i små utrymmen krävdes utveckling av speciell utrustning. Vidare avsåg SKBF följa den teknikutveckling som pågick för andra ändamål och som avsåg mer mekaniserade metoder för lossgöring och transport av berg (s 15–16).

### **3.3.4 Berggrunden**

Följande mål formulerades för forskningsområden som i programmet benämns bergets grundvattenrörelser, grundvattnets och spricksystemens kemi samt berggrundens förändringar (s 21–31).

#### ***Grundvattenrörelser i berget***

Mål för den fortsatta forskningen om grundvattenrörelser i berget var att:

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

#### ***Grundvattnets och spricksystemens kemi***

Målet för de fortsatta insatserna formulerades som ”att fördjupa och bredda kunskaperna om grundvattnets och spricksystemens kemi för att erhålla underlag för noggrannare förutsägelser om barriärernas funktion inom olika undersökta områden”. Planerade insatser avsåg att:

- utveckla utrustning för förbättrad och utökad analys av provtaget vatten direkt i fält,
- ytterligare utreda redoxförhållanden i grundvattnet,

- analysera halten och storleksfördelningen av partikulärt material i grundvattnet,
- bestämma arten, fördelningen och åldern av sprickfyllnadsmineral och med kemiska modellberäkningar beskriva vattnets sammansättning i relation till mineralen,
- undersöka möjligheten att utveckla metodik för att beskriva grundvattnets "historia".

### **Berggrundens förändringar**

Målet för den fortsatta forskningen rörande berggrundens förändringar var "att ytterligare verifiera den kvalitativa modell av berggrunds rörelserna som förutsätts i säkerhetsanalysen för slutförvaret i KBS-3". De närmaste delmålen i detta arbete var bland annat att:

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

### **3.3.5 Buffert- och återfyllningsmaterial**

Inledningsvis påpekades att det buffertmaterial som studerats i anslutning till KBS-3 utgörs av en naturlig natriumbentonit, så kallad Wyomingbentonit, som kompakteras till hög densitet i block, vilka sedan formas för att utfylla deponeringshålen. Högkompakterad bentonit förutsattes utgöra tätningmaterialet i pluggar i borrhål, tunnlar och schakt. Som övrig återfyllning i tunnlar och schakt skulle användas en blandning av samma typ av bentonit och "andra material" (s 33).

Följande mål angavs för den fortsatta forskningen och utvecklingen rörande buffert- och återfyllningsmaterial (s 34):

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

Bland de studier och undersökningar som pågick eller aviserades nämndes särskilt sådana som avsåg:

- utrönande av om en högre maximitemperatur än 80 °C kan accepteras hos bentoniten i slutförvaret,
- framtagande av en modell för den mekaniska växelverkan mellan kapsel, buffertmaterial och berg vid smärre bergrörelser,
- olika materials lämplighet för tätpluggning av borrhål, tunnlar och schakt,
- olika packningsmetoders effektivitet, särskilt med inriktning på att erhålla en hög packningsgrad även i en tunnels övre del.

### **3.3.6 Kapselmaterial**

I KBS-3-rapporten hade redovisats två olika metoder för förslutning av kopparkapslarna, nämligen förslutning med elektronstrålesvetsning respektive förslutning med het isostatisk pressning. Mot bakgrund av att man i det kommande "allsidiga" forskningsprogrammet 1986 avsåg redovisa studier av andra kapselmaterial än koppar, ansåg SKBF det inte motiverat att nu påbörja ett mer omfattande

arbete för att tekniskt detaljutveckla kopparkapseln. Följande ”begränsade insatser” aviserades emellertid (s 16):

- Fortsatta studier av spännings- och deformationstillstånd vid olika belastningsfall.
- Vidareutveckling av teknologin för tillverkning av kapselkomponenter och för fogning vid kapseltillverkningen inklusive metoder för kvalitetskontroll.
- Studier av tunnväggiga kapslar.
- Begränsade studier av kapslarnas hantering i inkapslingsstationen och i slutförvaret.

Fördjupade studier av koppar som kapselmateriale aviserades som ”förutses” kunna visa att en mindre kapseltjocklek än 10 centimeter är tillfyllest. Målet för den fortsatta forskningen kring kopparkapseln angavs vara ”att ytterligare öka kunskaperna om kopparkapselns beständighet som underlag för slutligt val av kapseltjocklek och kapselutformning” (s 37). De insatser som planerades avsåg att:

- Stärka underlaget för bedömning av gropfrätning i koppar och för bedömning av risker för spänningskorrosion.
- Klarställa förutsättningarna för krypbrott vid mycket långsam deformation.
- Utredda förutsättningarna för oorganisk sulfatkorrosion.
- Utredda kopparmaterialets beteende vid de två alternativa inkapslingsmetoderna.
- Klarställa inverkan av alfa-radiolys på korrosionen av systemet koppar – bränsle.
- Klarställa den i KBS-3 inte utnyttjade barriäreffekten hos bly- respektive kopparfyllningen.
- Närmare utreda kapselgenombrottens fördelning i tiden.

### 3.3.7 Säkerheten

I forskningsprogrammet framhöll SKBF att några internationellt accepterade detaljerade kriterier avseende slutförvaringens säkerhet ännu inte fanns. Ett omfattande arbete pågick emellertid. SKBF förklarade att man aktivt kommer att medverka till att skapa det underlag som berörda myndigheter behöver för att utforma ”acceptansnormer för slutförvarsanläggningar” samt även delta i det internationella arbetet, främst igenom Internationella atomenergiorganet (International Atomic Energy Agency, IAEA) och Kärnenergi byrån inom Organisationen för ekonomiskt samarbete och utveckling (Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency, OECD/NEA) (s 57).

Som bakgrund för beskrivningen av målet för det fortsatta arbetet med att bedöma den långsiktiga säkerheten hos slutförvaret anförde SKBF bland annat följande (s 63–64):

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

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

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

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

Som mål angavs ”att utveckla ett datorbaserat system för funktions- och säkerhetsanalyser av slutförvaring av radioaktivt avfall”. Systemet skulle ”kunna hantera ingångsparametrar av både deterministisk

och probabilistisk natur och innehålla rutiner för osäkerhetsanalyser och sensitivitetsanalyser”. Det skulle vidare ”utnyttja modellmoduler som beskriver förändringar i komponenter eller delar av förvaret och skall kunna anpassas till olika analysomfattningar”. Ett tidsschema för utvecklingen under de närmaste åren av systemet skisserades med målet att detta under åren 1990–1992 skulle kunna användas för jämförande analyser av möjliga förläggningsplatser för ett slutförvar för använt kärnbränsle.

Det erinrades särskilt i forskningsprogrammet om att redovisningen i KBS-3 hade knutits till ett centralt scenario som motsvarade ett relativt oföränderligt tillstånd i förvarets omgivning och att några alternativa scenarier också hade belysts. För att genomföra en optimeringsstudie krävdes emellertid en samlad överblick över ett totalt spektrum av tänkbara scenarier. Under den närmaste femårsperioden avsåg SKBF att göra en genomgång av tänkbara scenarier med syfte att ”söka fastställa sannolikheten för att ett scenario inträffar samtidigt som parametrar av betydelse för förvarets funktion kvantifieras” (s 65–66).

### 3.4 Granskningen av KBS-3-rapporten 1983 och av forsknings- och utvecklingsprogrammet 1984

Avsnitt 3.4 innehåller en översikt av viktigare synpunkter och slutsatser som framkom genom det remissförfarande som beskrivs i följande kapitel (avsnitt 4.3.5). Översikten bygger på den i det avsnittet nämnda beredningspromemorian från juni 1984 /3-5/.

#### 3.4.1 Allmänt om KBS-3-metoden

Den allmänna bild, som såväl svenska remissyttranden som utländska granskningsrapporter gav, var – med några undantag – att den i KBS-3-rapporten beskrivna metoden för slutförvaring var godtagbar med hänsyn till säkerhet och strålskydd. Remissbilderna sammanfattades i den ovan nämnda beredningspromemorian enligt i huvudsak följande (s 164):

”Detta gäller speciellt de tre svenska myndigheterna *Statens kärnkraftinspektion*, *Statens strålskyddsinstitut* och *Nämnden för hantering av använt kärnbränsle*, som har särskilt ansvar inom kärnavfallsområdet. De utländska remissinstanserna är överlag positiva till KBS-3-metoden och anser den vara välgrundad och genomförbar. Påpekanden om detaljer förekommer dock. Yttrandena från *International Atomic Energy Agency (IAEA)*, *OECD Nuclear Energy Agency (NEA)*, *Technical Advisory Committee to Atomic Energy of Canada on the Nuclear Waste Management Program* och *National Academy of Sciences (National Research Council, USA)* ger intrycket att KBS-3-metoden anses vara översäker. Även *Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire (Frankrike)* godtar i stort KBS-3-metoden. Detta yttrande är emellertid kritiskt i vissa delfrågor. *British Geological Survey* är kritisk till det sätt som det omfattande hydrologiska bakgrundsmaterialet har använts i KBS-3-rapporten och ger även detaljkritik beträffande det tekniska genomförandet av hydrologiberäkningarna. De kritiska påpekandena i dess rapport återspeglas emellertid inte i den syntes av de brittiska granskningarna som även gjorts.

De positiva omdömena om KBS-3 grundar sig dels på en bedömning av att SKBF har visat att det i Sverige går att finna platser som är användbara för ett slutförvar från geologisk och hydrologisk synpunkt, dels på en bedömning av att de beräknade utläckagen till biosfären av radioaktiva ämnen från ett slutförvar enligt KBS-3-metoden är godtagbara. Slutsatserna beträffande utläckagen av radioaktiva ämnen görs utifrån bedömningen att säkerhetsanalysen i KBS-3-rapporten är genomförd med i huvudsak pessimistiska antaganden och att SKBF i säkerhetsanalysen inte har försummat någon effekt som på ett avgörande sätt skulle kunna äventyra säkerheten hos KBS-3-metoden. Kärnkraftinspektionens säkerhetsanalys resulterar i högre dosuppskattningar än vad SKBF beräknat men lämnar ändå tillfredsställande marginaler till jämförelsemått i form av normer och internationella rekommendationer.”

I beredningspromemorian redovisades också (s 165–168) ett antal kritiska synpunkter från vissa remissorgan och som dessa ansåg vara tillräckligt allvarliga för att ifrågasätta KBS-3-metodens säkerhet eller vara ett hinder för ett godkännande av eller ställningstagande till laddningsansökningarna. I promemorian drogs emellertid den sammanfattande slutsatsen (s 168) att synpunkterna ”inte är av så allvarlig karaktär att de äventyrar KBS-3-metodens säkerhet. Arbetet med att ytterligare klarlägga framförda osäkerheter kan fortsätta inom ramen för forsknings- och utvecklingsprogrammet.”

Som framgår av avsnitt 4.3.5 var det enbart de närmast berörda statliga myndigheterna (Kärnkraft-inspektionen, Strålskyddsinstitutet och Nämnden för hantering av använt kärnbränsle) som hade ålagts att även yttra sig över det i februari 1984 upprättade forsknings- och utvecklingsprogrammet. Samtliga tre myndigheter bedömde att programmets allmänna uppläggning och inriktning i stort ”tillgododser de behov av forskning och utveckling som behövs för att hantering och slutlig förvaring av det använda kärnbränslet i enlighet med KBS-3-metoden skall kunna realiseras” (s 170).

Såväl de tre myndigheterna som många andra remissinstanser och utländska granskningsorgan hade emellertid en mängd påpekanden om områden som bedömdes lämpliga för fortsatta forsknings- och utvecklingsinsatser. I beredningspromemorian återgavs – systematiserade på ett antal ämnesområden – dels det huvudsakliga innehållet i dessa kritiska synpunkter, dels de slutsatser som drogs inom regeringskansliet av det genomgångna materialet. I avsnitt 3.4.2–3.4.9 redovisas dessa slutsatser. Redovisningen följer nära det ordval som användes i promemorian.

### 3.4.2 Geologi och hydrologi

#### **Slutsatser (s 85–86):**

Osäkerheterna är fortfarande stora vad gäller de exakta transportmekanismerna för grundvatten och däri lösta ämnen i berggrunden. Metoderna för fältundersökningar i berggrunden har varit tillräckligt utvecklade för att ringa in osäkerhetsområdet för vidare utnyttjande i KBS-3-studien. Genom att i den samlade säkerhetsanalysen arbeta med antaganden och siffervärden som kunnat visas vara försiktigt valda, har man i KBS-3 visat att berget har de barriäregenskaper som behövs.

Granskningsmaterialet styrker vid en samlad bedömning uppfattningen att det inom landet går att finna bergpartier med tillräcklig utsträckning och med egenskaper lämpliga för anläggning av ett slutförvar.

Fortsatt FoU-arbete på området kräver dels metodutveckling, dels platsspecifika undersökningar och syftar till att minska osäkerhetsmarginalerna. Härigenom kommer man att få en uppfattning om eventuell överdimensionering i KBS-3-metoden och möjliggöra successiva platsval. Allt eftersom osäkerheterna i KBS-3 under det fortsatta FoU-arbetet reduceras och anges kvantitativt, blir det möjligt att mera detaljerat beskriva ett verkligt slutförvars utformning och egenskaper under hänsynstagande till kvarstående osäkerheter.

Osäkerhet har påvisats genom de olika yttrandena i frågan om berggrundens långsiktiga stabilitet. Rörelser som skadar ett mindre antal kapslar leder dock inte till icke godtagbara utläckage ens inom relativt näraliggande tidsperioder. Mera omfattande skador i förvaret till följd av instabilitet får betraktas som ytterligt osannolika.

### 3.4.3 Tekniska barriärer

#### **Slutsatser (s 101–102):**

De flesta remissinstanser godtar att kapseln kan tillverkas som förutsatts i KBS-3-rapporten och att den allmänna beskrivningen av korrosionsförloppen är riktig. Genomgående accepteras expertbedömningen att kapslarna inte genomfräts inom en miljon år. Principiella invändningar mot ansatser till vetenskaplig bevisföring gällande så långa tidsperspektiv anförs dock. I säkerhetsanalysen görs antaganden om livslängden som i huvudsak är försiktigare än som svarar mot genomfrätning inom en miljon år. Vissa osäkerheter synes kvarstå beträffande exempelvis kapselns mekaniska stabilitet och lokala korrosionsangrepp, speciellt spänningskorrosion. Dessa fenomen kan studeras vidare genom SKBF:s FoU-program<sup>28</sup>. Vid en totalbedömning av kopparkapselns funktion bör man ta hänsyn till att säkerhetsanalysen i KBS-3-rapporten utgår från pessimistiska antaganden beträffande kapslarnas livslängd jämfört med resultaten från beräkningarna av den allmänna korrosionen. Dessutom behöver inte alla kapslar enligt säkerhetsanalysen vara täta ens i ett jämförelsevis kort tidsperspektiv för att beräknade utsläpp av radioaktiva ämnen skall vara acceptabelt låga.

<sup>28</sup> Härmed avsågs det ovan (avsnitt 3.3) redovisade Forskningsprogram 1984.

Bedömningen av bentonitpackning i förvaringshål samt av övrig återfyllning i förvaret visar på kvarstående osäkerheter. Forskning kring lerbarriärens egenskaper framstår som angelägen, bl a i form av verifikation under verklighetstroga förhållanden. Tills så skett bör enligt remissbilden inte lerbarriärens funktion ensamt tillmätas avgörande betydelse.

#### **3.4.4 Bränsleupplösning och transport i närområdet**

##### ***Slutsatser (s 110):***

Utredningen i KBS-3-rapporten vad avser borttransport av utlösta ämnen genom området närmast kapslarna utmynnar i antaganden som används vidare i de säkerhetsanalytiska beräkningarna. De för metodstudien valda antagandena och siffervärdena godtas genomgående som försiktigt valda av granskningsorganen. Några enstaka påpekanden av osäkerheter som inte tagits upp i KBS-3-rapporten synes på sin höjd kunna föranleda smärre siffermässiga justeringar i beräkningsresultaten. Fortsatt forskning inriktas på att förfinas dataunderlaget så att detaljerna i ett framtida förvars utformning och egenskaper kan läggas fast.

#### **3.4.5 Transport i geosfären**

##### ***Slutsatser (s 121):***

Granskningsorganen har överlag accepterat beskrivningen i KBS-3-rapporten av mekanismer som har betydelse för transport av radioaktiva ämnen i berggrunden. Detta innebär att de antaganden som förs in i de säkerhetsanalytiska beräkningarna godtas. Matrisdiffusionen som fördröjningsmekanism är ny i KBS-3-rapporten, och några granskningsorgan rekommenderar ytterligare validering genom forskning innan fördröjningen tillgodoräknas fullt ut i säkerhetsanalysen. SKI har visat att matrisdiffusionsantagandet inte i KBS-3-rapporten har avgörande betydelse för den sammanlagda uppskattade dosbelastningen från olika ämnen.

Forskning är angelägen för att öka förståelsen av de mekanismer som styr transporten i berg av grundvattnet och däri lösta ämnen, bl a för de kommande platsspecifika studierna.

#### **3.4.6 Spridning i biosfären och dosuppskattningar**

##### ***Slutsatser (s 136):***

Vissa remiss- och granskningsorgan framhåller de osäkerheter som råder om antaganden om befolkningsmönster, även på relativt kort sikt, och om ekologiska förhållanden på lång sikt. Osäkerheter råder även beträffande antaganden och data för de modeller som utnyttjas för dosberäkningar. Eftersom beräknade doser under överblickbar tid är försumbara och eftersom det meningsfulla i dosberäkningar avseende mera avlägsen framtid har ansetts diskutabelt, bör resultaten närmast ses som relativa jämförelsetal i bl a känslighetsanalyser.

Osäkerheter i beräkningar över utsläpp till och spridning i biosfären synes inte vara så stor att KBS-3-metodens säkerhet bör ifrågasättas på grund av resultaten i denna del. Beträffande den anrikning i näringskedjor som inte berör människan har den internationella strålskyddskommittén ICRP gjort bedömningen att skydd av människan på individnivå ger ett tillfredsställande skydd av andra arter.

#### **3.4.7 Säkerhetsanalys**

##### ***Slutsatser (s 154–155):***

Vid säkerhetsanalysen har genomgående platsberoende och pessimistiska antaganden gjorts för att beräkningarna med hänsyn till osäkerheterna skall kunna uppfattas som en övre begränsning för tänkbara utläckage eller stråldoser. Vid den detaljerade genomgången har granskningsorganen funnit ett antal antaganden som inte kan klassas som pessimistiska. Variationsberäkningar som utsträcker osäkerhetsområdet till vad som med hänsyn härtill kan antas vara rimligt har lett till att Kärnkraftsinspektionen har kunnat räkna upp de högsta tänkbara utläckagen med högst en faktor 100. Dessa – under extremt ogynnsamma och osannolika antaganden beräknade – värden är dock fortfarande godtagbara med hänsyn till strålskyddet enligt gängse normer och rekommendationer.

För att svara mot utvecklingen av forskningsresultat i fråga om olika barriärers egenskaper, och sålunda ge möjlighet att identifiera och kvantitativt ange säkerhetsmarginalerna, rekommenderar granskningsorganen metodutveckling i olika avseenden i fråga om säkerhetsanalysmodellerna.

Ett försök att sammanfatta säkerhetsanalysens resultat med hänsyn till de osäkerheter som påtalats under granskningen av KBS-3 kan uttryckas som följer. Om kopparkapslarna är felfria och håller stånd mot korrosionsgenombrott i en miljon år, något som inte kan bevisas men som heller inte allvarligt ifrågasatts under granskningen, kommer de praktiskt taget enda utsläppen från förvaret att bestå i en viss mängd jod-129 efter mycket lång tid.

I KBS-3-rapporten har en serie antaganden, som angetts som pessimistiska, gjorts i säkerhetsanalysen. Resultaten har blivit stråldoser som maximalt till s k kritisk grupp ligger flera storleksordningar under den naturliga bakgrundsstrålningen. Under granskningen har ett antal antaganden identifierats, som inte säkert är pessimistiska. Statens kärnkraftinspektion har i en jämförelseanalys tagit upp dessa antaganden och beräknat doser för de mera pessimistiska antaganden som är tänkbara. I fallet felfria kapslar blir då den maximala dosen till kritisk grupp cirka 100 gånger mindre än dosen till följd av den naturliga bakgrundsstrålningen, eller cirka tio gånger mindre än dosen till följd av tillåtna normalutsläpp från kärnkraftverk. Varje kapsel med skada i tillverkning eller hantering tillför en dos cirka 500 gånger under den naturliga bakgrunds-dosen, men då i ett tidigare skede än oskadade kapslar. Kraven på kvalitetssäkring av kapslarna kan bedömas mot denna bakgrund.

Några ytterligare variationer bör dock nämnas beträffande Kärnkraftinspektionens analys. De ytterligare osäkerheterna har i känslighetsanalysen inte staplats på varandra, och maximala doser kan därför i princip ligga högre än i enstaka variationer. Vidare har den av Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire (Frankrike) påtalade möjliga borttransporten av bentonit i tunnarnas återfyllning inte undersökts av Kärnkraftinspektionen.

Till sist påpekas, att doserna från en borrhållning i förvarets närhet till följd av överskattade utspädningsfaktorer bör räknas upp med en faktor cirka 100 för en begränsad kritisk grupp, nämligen dem som hämtar sitt vatten från brunnen. Med dessa sannolikt pessimistiska antaganden kommer därmed den uppskattade maximidosen upp till samma storleksordning som den naturliga bakgrundsstrålningen även om alla kapslar är felfria.

### **3.4.8 Missöden och extrema händelser**

#### ***Slutsatser (s 157):***

Extrema händelser som krigshandlingar, sabotage och mänskligt intrång kan enligt granskningsorganen inte äventyra förvarets funktion.

Möjligheten av avsiktligt mänskligt intrång, t ex med anledning av mineralförekomst i, vid eller under ett förvar aktualiserar överväganden av strategisk natur att beakta som ett led i en allsidigt bedriven forsknings- och utvecklingsverksamhet på kärnavfallsområdet.

### **3.4.9 Säkerhet under drift**

#### ***Slutsatser (s 159):***

KBS-3-metodens egenskaper med hänsyn till säkerhet och strålskydd under det så kallade driftskedet, det vill säga innan förvaret har tillslutits, anses av granskningsorganen som godtagbara. Vissa områden för kompletterande forskning och utveckling, speciellt med avseende på inkapslingsstationen, har angivits.

## **3.5 Utveckling av direktdeponeringskonceptet 1978–1983**

I detta avsnitt sammanfattas några huvudpunkter i den utveckling av direktdeponeringskonceptet som skedde från KBS-2-rapporten år 1978 till KBS-3-rapporten 1983.

<b>KBS-2-rapporten 1978</b> Hanteringsgång och anläggningar	<b>KBS-3-rapporten 1983</b> Hanteringsgång och anläggningar
<b>Mellanlager</b>	<b>Mellanlager</b>
Använt kärnbränsle förs från kärnkraftverken till ett centralt mellanlager där det förvaras under vatten cirka 40 år.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.
Motiv: Slutförda utredningar hade visat att bränslets zirkaloykapsling blir intakt även i kontakt med vatten under betydligt längre tid än den aktuella mellanlagringstiden.	
<b>Inkapslinganläggning</b>	<b>Inkapslinganläggning</b>
Det använda bränslet förs till en anläggning för inkapsling.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.
Inkapslinganläggningen förutsätts vara belägen ovan mark i anslutning till ett slutförvar (ingen ändring jämfört med lägesrapport 1977).	Ingen ändring jämfört med lägesrapport 1977.
<b>Slutförvar</b>	<b>Slutförvar</b>
Förvaret består av ett system av parallella förvaringstunnlar på cirka 500 m djup i kristallint urberg, med tillhörande transport- och servicetunnlar och schakt (ingen ändring jämfört med Lägesrapport 1977).	Förvaret består av ett system av parallella förvaringstunnlar, belägna på cirka 500 m djup i ett utvalt bergparti. Förvaret kan utföras i ett eller flera plan (nivåskillnad cirka 100 m).
Vertikal deponering i hål i förvaringstunnlar. Motiv: Kompakterade bentonitblock nedsänkta i hål är lämpligare som buffertmaterial (se under Buffert) än sand/bentonitblandningar (som förutsatts i 1977 års lägesrapport om direktdeponering).	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.
Förvaringshål borrar i deponeringstunnlarnas golv med 1,5 m diameter, 7,7 m djup. Centrumavstånd mellan hålen är 6 m. I varje hål deponeras 1 kapsel.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978, utom att förvaringshålens djup nu anges till 7,5 m. Motiv: Ändring av kapselns dimensioner.
Före inkapsling skiljs bränslestavarna från elementens metalldelar, som gjuts in i betongkokiller för deponering i ett separat slutförvar.	Bränsleelementen stoppas in <i>hela</i> i kapslarna. Bränsleboxar tas dock bort från BWR-element och gjuts in i betongkokiller för deponering i ett separat slutförvar.
Yta: Drygt 1 km <sup>2</sup> . Deponeringstunnlars höjd: cirka 4 m. Deponeringstunnlars bredd: cirka 3,7 m. Avstånd mellan deponeringstunnlar: cirka 25 m.	Yta: 0,7 km <sup>2</sup> (ett plan) alternativt 1,0 km <sup>2</sup> (två plan). Deponeringstunnlars höjd: 4,5 m. Deponeringstunnlars bredd: 3,3 m. Avstånd mellan deponeringstunnlar: cirka 25 m om ett plan, cirka 33 m om två plan.
	Återtagningsfrågan antyds.
<b>Buffert och återfyllning</b>	<b>Buffert och återfyllning</b>
<b>Buffert</b>	<b>Buffert</b>
Kapseln (vertikal deponering) omges med block av högkompakterad bentonit i deponeringshålen. Vidare appliceras bentonit i pulverform i spalterna mellan kapslarna och blocken och mellan blocken och det omgivande berget.  Motiv: Bentonit är en i naturen förekommande lera som karakteriseras av att den sväller när den tar upp vatten. Kraven på kapselns livslängd är avsevärt större vid direktdeponering än för förglasat avfall från uppberedning. Buffertmaterial bör ha följande egenskaper: <ul style="list-style-type: none"> <li>• God bärighet.</li> <li>• God värmeledningsförmåga.</li> <li>• Hög jonbytesförmåga.</li> <li>• Långtidsstabilitet.</li> <li>• Frånvaro av komponenter som på ett avgörande sätt kan minska kopparkapselns korrosionsbeständighet.</li> </ul>	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.  Motiv: I sak samma som i KBS-2-rapporten 1978, men mer utvecklad argumentation: Kompakterad bentonit: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Har god bärighet.</li> <li>• Har god värmeledningsförmåga.</li> <li>• Har god kemisk långtidsbeständighet.</li> <li>• Sväller kraftigt vid vattenupptagning. Om svällningen förhindras uppkommer i stället ett svälltryck som innebär att bentoniten <ul style="list-style-type: none"> <li>– får en självtätande förmåga som hindrar att vattenförande passager kan uppkomma i materialet,</li> <li>– pressas in i de mindre sprickor som finns i deponeringshålets väggar och då tätar dessa sprickor.</li> </ul> </li> </ul>
Buffertens tjocklek: 36,5 cm.	Buffertens tjocklek: 35 cm. Motiv: Ändring av kapselns diameter.



KBS-2-rapporten 1978	KBS-3-rapporten 1983
<b>Återfyllning</b>	<b>Återfyllning</b>
Förvarings-, transport- och servicetunnlar samt schakt återfylls med en blandning av kvartssand (80–90 %) och bentonit (10–20 %).	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978, dock specificeras inte proportionerna mellan sand och bentonit.
	Funktioner: Ge mekanisk stabilitet och återställa de hydrologiska förhållandena i området.
	Återfyllning kan ske successivt efter hand som deponering avslutats inom viss del av förvaret <i>eller</i> vid ett och samma tillfälle inför förslutning av förvaret.
<b>Kapseln</b>	<b>Kapseln</b>
Förord för att kapseln tillverkas av koppar, men studier av alternativet keramiska material (varm isostatisk pressning av aluminiumoxidpulver) fortsätter.	Kapseln tillverkas av koppar.
<i>Motiv</i> för koppar: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ett praktiskt användbart material som är termodynamiskt stabilt i närvaro av vatten. Andra metaller med denna egenskap (silver, guld, platina) uteslutna av ekonomiska skäl.</li> <li>• Koppar tillräckligt hållfast för att motstå de mekaniska påkänningar som kan förekomma.</li> </ul>	<i>Motiv</i> för koppar (i olegerad form): I sak samma som i KBS-2-rapporten 1978, men mer utvecklad argumentation: <ul style="list-style-type: none"> <li>• I ett slutförvar bestäms påverkan på kapslarna av den kemiska miljön i deponeringshålet, varvid grundvattnets sammansättning har avgörande betydelse.</li> <li>• Därför behövs ett kapselmaterial som är termodynamiskt stabilt i denna miljö.</li> <li>• Koppar är det ädlaste av de vanliga konstruktionsmaterialen och är termodynamiskt stabilt i rent vatten.</li> <li>• I grundvatten kommer därför korrosionen av koppar att bestämmas av de korrosiva ämnen som är lösta i grundvattnet.</li> </ul>
Tålighet mot yttre last fås genom att kapseln efter fyllning med <i>bränslestavar</i> (nedan) görs massiv	Tålighet mot yttre last fås genom att kapseln efter fyllning med <i>bränsleelement</i> (nedan) görs massiv.
<i>Inkapslingssätt:</i> <i>Bränslestavar</i> placeras i förtillverkad kapsel, hålrummen fylls med smält bly, tättslutande lock appliceras med elektronstrålesvetsning.	<i>Alternativa inkapslingssätt:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Bränsleelement</i> placeras i förtillverkad kapsel, hålrummen fylls med smält bly, tättslutande lock appliceras med elektronstrålesvetsning.</li> <li>• <i>Bränsleelement</i> placeras i förtillverkad kapsel, hålrummen fylls med kopparpulver, ett lock monteras. Hela paketet behandlas i en ugn för het isostatisk pressning och blir en solid kropp.</li> </ul>
	<i>Antal bränsleelement</i> per kapsel: 8 eller 9 BWR-element (beroende av valt alternativt inkapslingssätt).
<i>Kopparkapseln dimensioner:</i> Längd: 4,7 m. Yttre diameter: 77 cm. Inre diameter: 37 cm. Kopparhöljets tjocklek: 20 cm.	<i>Kopparkapseln dimensioner:</i> Längd: 4,5 m. Yttre diameter: 80 cm. Inre diameter: 60 cm. Kopparhöljets tjocklek: 10 cm. <i>Motiv:</i> Studier av effekter av olika korrosionsprocesser har visat att kapslarna kan komma att utsättas för gropfrätning på ytan. Enligt beräkningar är tiden för genomfrätning av en kopparkapsel med 10 eller 20 cm tjocklek mer än 1 miljon år, både i ett sannolikt och i ett ogynnsamt fall.
Vikt fylld kapsel: 16 ton.	Vikt fylld kapsel: 22 ton (svetsad kapsel), 18,5 ton (isostatiskt pressad kapsel).

## 4 KBS-rapporter, villkorslag och ny lagstiftning om slutförvaring

### 4.1 Perioden fram till 5 oktober 1978

Som framgått av avsnitt 1.4 hade fem kärnkraftsreaktorer tagits i bruk före riksdagsvalet i september 1976. En sjätte reaktor, Barsebäck 2, stod färdig att tas i drift. Närmast i ordning att färdigställas var ytterligare två reaktorer, Ringhals 3 och Forsmark 1. Arbetet med att uppföra en nionde och en tionde reaktor (Ringhals 4 och Forsmark 2) hade kommit långt. Upphandlingar och förberedelser för byggnadsarbeten avseende reaktorerna Forsmark 3 och Oskarshamn 3 pågick. Dessutom pågick planering för en ytterligare reaktor (i Forsmark) inom ramen för det år 1975 beslutade kärnkraftsprogrammet om sammanlagt 13 reaktorer.

Bakom formuleringarna i den ny tillträdde borgerliga trepartiregeringens regeringsförklaring om villkor för att ta nya reaktorer i bruk – formuleringar som bildade grunden för bestämmelserna i villkorslagen – fanns en djup oenighet mellan regeringspartierna om kärnkraftens roll i energisystemet. Denna oenighet kom att präglade regeringens handläggning av de tillståndsfrågor som aktualiserades. Förhandlingar inom regeringen inför beslut i dessa tillståndsärenden och i andra kärnkraftsrelaterade frågor ledde slutligen den 5 oktober 1978 till att regeringssamverkan sprack och regeringen (senare kallad Fälldin I) avgick. En minoritetsregering, med parlamentarisk bas enbart i folkpartiet och med Ola Ullsten som statsminister, trädde till.

Fram till dess att regeringen Fälldin I avgick fattade den tre beslut i ärenden där villkorslagen skulle tillämpas.

Ett första beslut avsåg reaktorn *Barsebäck 2*, vilken under hösten 1976 fått tillstånd att startas, dock endast att drivas fram till utgången av år 1977. Reaktorinnehavaren presenterade i september 1977 för regeringen ett avtal om upparbetning av den kvantitet använt kärnbränsle som beräknades bli förbrukad i reaktorn vid utgången av år 1979 och ansökte, med hänvisning till villkorslagen, om tillstånd till fortsatt drift även efter den 31 december 1977. Oenighet om kärnkraftspolitiken ledde till att regeringen inte förrän den 22 december 1977 – alltså en dryg vecka innan det gällande drifttillståndet för reaktorn skulle upphöra att gälla – fattade beslut i frågan. Beslutet innebar tillstånd till fortsatt drift av reaktorn fram till utgången av år 1979 /4-1/.

Innehavarna av reaktorerna *Ringhals 3* och *Forsmark 1* – Statens Vattenfallsverk respektive Forsmarks Kraftgrupp AB – ansökte i december 1977 respektive april 1978 om tillstånd att få ta de båda reaktorerna i drift. I båda ansökningarna hänvisades dels till ingångna upparbetningsavtal, dels till KBS-1-rapporten. Efter en omfattande remissbehandling togs frågorna upp till överläggningar och förhandlingar mellan de tre regeringspartierna i början av september 1978. Ett förhandlingsspel kring kärnkraften utvecklades under stor offentlighet. I detta spel utgjorde de två aktuella ansökningarna spelpjäser tillsammans med frågor om anslag till byggande av Forsmark 3 och om folkomröstning kring kärnkraftsfrågan. Ytterst gällde diskussionerna regeringens förmåga att finna kompromisser som kunde överbrygga djupa meningsskiljaktigheter i sak och därmed dess möjligheter att hålla samman och styra landet. En ingående skildring av händelseförloppet finns i /4-2/.

Vid ett regeringssammanträde förmiddagen den 5 oktober 1978 fattades de formella besluten med anledning av de två ansökningarna. Några timmar senare samma dag offentliggjordes att regeringssamarbetet hade spruckit och regeringen Fälldin I avgick.

Innebörden av de båda formella regeringsbesluten var att regeringen hade funnit att de upparbetningsavtal som hade åberopats uppfyllde villkorslagens krav. Däremot hade regeringen vid sin bedömning av förutsättningarna för en helt säker slutförvaring av det högaktiva avfallet kommit fram till att ”viss kompletterande geologisk undersökning fordras för att lagens krav skall vara helt uppfyllda”. Dessa krav innebar enligt regeringen ”att sökanden skall visa att det finns område eller områden i Sverige som har en sådan beskaffenhet att en slutförvaring kan ske i enlighet med de krav lagen ställer”. Enligt besluten borde den kompletterande geologiska undersökningen – genom ytterligare provborringar och mätningar – ”visa att det finns en tillräckligt stor bergsformation på aktuellt djup och med de egenskaper som KBS:s säkerhetsanalys i övrigt förutsätter”. De båda ansökningarna kunde därför inte ”för närvarande” bifallas /4-3/.

## 4.2 Hösten 1978 – våren 1981

### 4.2.1 Viktigare händelser kring energipolitiken

Den parlamentariskt sammansatta energikommission som hade aviserats i regeringsförklaringen hösten 1976 (se avsnitt 1.4) hade under våren 1978 lagt fram sitt slutbetänkande. En majoritet inom kommissionen förordade att pågående kärnkraftsutbyggnad skulle fullföljas. I praktiken innebar detta att antalet reaktorer skulle bli tolv, det vill säga en mindre än enligt de riktlinjer som riksdagen hade beslutat år 1975. Regeringen Ullsten lade i mars 1979 fram en proposition med förslag om riktlinjer för energipolitiken, bland annat att kärnkraftsprogrammet skulle begränsas till tolv reaktorer /4-4/.

I februari 1979 hade regeringen Ullsten beslutat om direktiv för en utredning med uppgift att göra en samlad översyn av de olika lagar som under årens lopp hade tillkommit på atomenergiområdet och som nu i vissa avseenden tedde sig föråldrade. Det gällde bland annat 1956 års atomenergilag, som till sin allmänna syftning mer utgjorde ett ramverk för att främja införandet och användningen av atomenergi. Nu behövdes lagstiftning som i första hand skulle syfta till att säkerställa samhällets kontroll av innehavarna av kärntekniska anläggningar. I direktiven pekade regeringen på behovet av klara regler beträffande bland annat ”kärnbränslecykelns slutsteg”. Villkorslagen, stod det i direktiven, innebär ”endast att det vid idrifttagningen tas ställning till hur det högaktiva avfallet eller det använda kärnbränslet från en viss kärnkraftsanläggning med då känd teknik skulle kunna hanteras. Inte heller denna lag ger staten möjligheter att så småningom påverka det faktiska valet av hanteringsmetod för det använda kärnbränslet och andra aktiva avfallsprodukter”. Utredningen, vars ledamöter företrädde olika politiska partier, tillsattes i mars samma år och tog namnet Atomlagstiftningskommittén /4-5/.

Innan riksdagen hade hunnit ta ställning till regeringens förslag till riktlinjer för energipolitiken inträffade emellertid reaktorhaveriet i Harrisburg, USA. De politiska partierna enades nu om att vidare beslut om kärnkraften skulle anstå till våren 1980 och att ett riksdagsbeslut i frågan skulle föregås av en rådgivande folkomröstning. Genom en ny lag i juni 1979, den så kallade rådrumslagen (1979:335), infördes – i avvaktan på folkomröstningens resultat – ett temporärt förbud mot att tillföra kärnreaktor kärnbränsle.

Riksdagsvalet i september 1979 ledde till att en ny borgerlig trepartiregering bildades (kallad Fällidin II). Enligt regeringsförklaringen den 12 oktober 1979 vidhöll de tre partierna sina skilda uppfattningar om vilken roll kärnkraften skulle spela i den svenska energiförsörjningen och om hur villkorslagen borde tillämpas. Men samtidigt underströks att partierna var eniga om att den beslutade folkomröstningen ”blir utslagsgivande i dessa frågor”. Kärnavfallsfrågan berördes i regeringsförklaringen med följande ord /4-6 s 20/:

”Oberoende av folkomröstningens utfall måste arbetet med kärnkraftens avfalls- och säkerhetsfrågor föras vidare. För- och nackdelar med en direktdeponering av det högaktiva avfallet kommer att prövas. Kärnsäkerhetsutredningens arbete kan komma att leda till skärpta säkerhetskrav för de svenska kärnkraftverken och en förstärkning av organisationen på kärnsäkerhetsområdet. Under perioden kommer förslag till ny atomsäkerhetslagstiftning att utarbetas. Sverige kommer även att i det internationella arbetet fortsatt verka för säkra lösningar av kärnkraftens avfalls- och säkerhetsfrågor samt för att spridningen av känslig kärnteknologi hindras.”

Den rådgivande folkomröstningen i kärnkraftsfrågan hölls den 23 mars 1980. I april 1980 lade regeringen fram en proposition med förslag till vissa allmänna riktlinjer för energipolitiken /4-7/. De innebar bland annat att antalet reaktorer skulle vara högst tolv. Dessa beräknades ha en livslängd av cirka 25 år från idrifttagningen. I de riktlinjer som riksdagens beslutade om ingick dessutom ett uttalande av innebörd att den sista reaktorn i Sverige skulle stängas år 2010. Det kan noteras att avfallshanteringsfrågorna inte längre betonades som det avgörande problemet i kärnkraftspolitiken. I stället var det nu en mera generell riskbild som tilldrog sig uppmärksamhet.

### 4.2.2 Handläggningen av tillstånd enligt villkorslagen

I februari 1979 hade innehavarna av *Ringhals 3* respektive *Forsmark 1* redovisat att kompletterande geologiska mätningar enligt regeringsbeslutet den 5 oktober 1978 (se avsnitt 4.1) hade utförts och begärde på nytt tillstånd att få tillföra kärnbränsle till de båda reaktorerna. I ett beslut den 22 februari

1979 uppdrog regeringen Ullsten åt Statens kärnkraftinspektion att bereda de båda ärendena och att senast vid utgången av mars 1979 redovisa sin bedömning. Enligt det regeringsbeslutet framgick det av den tidigare regeringens beslut den 5 oktober 1978 ”att ansökningarna ansetts uppfylla lagens krav utom i ett avseende. Regeringen har således, i likhet med den bedömning inspektionen tidigare har gjort, ansett att förutsättningar för bifall förelåg bl a vad avsåg KBS:s allmänna uppläggning, metod för slutförvaring och tekniskt utförande av förvaret, geologiska förutsättningar och mätmetoder samt säkerhetsanalys. Regeringen bedömde emellertid att det fordrades ytterligare provborringar och därav föranledda mätningar för att visa att det finns en tillräckligt stor bergsformation på aktuellt djup och med de egenskaper som KBS:s säkerhetsanalys i övrigt förutsätter.” /4-8/.

På grundval av Kärnkraftinspektionens bedömning fattade regeringen Ullsten den 21 juni 1979 två i huvudsak likalydande beslut avseende Ringhals 3 och Forsmark 1 och med innebörd att ansökningarna bifölls. I besluten återgav regeringen bedömningen i regeringsbeslutet den 5 oktober 1978 om att de återopade upparbetningsavtalen uppfyllde villkorlagens krav. När det gällde kravet i villkorlagen på en helt säker slutlig förvaring av det högaktiva avfallet från upparbetningen sammanfattades utförligt de synpunkter som Statens kärnkraftinspektion hade redovisat. Eftersom regeringen inte kommenterade dessa bedömningar är en rimlig tolkning att den i stort sett delade Kärnkraftinspektionens uppfattning. Bl a anfördes följande i de båda besluten /4-9, 4-10/:

”Som inspektionens slutsatser anføres i yttrandet bl a att inspektionen finner att ytterligare klarhet vunnits om de positiva möjligheter, som finns att i svenskt berg slutförvara högaktivt avfall. Vid den formella bedömningen av om KBS visat att de geologiska kraven är uppfyllda är emellertid inspektionens styrelses inte enig om tolkningen av begreppet ’visa’ och därmed inte heller om att uppfyllandet av kraven har letts i bevis.

En strikt bevisföring finner inspektionen emellertid inte vara nödvändig. Inspektionen anser att betydelsen av de krav, som ställts på den geologiska barriären, inte bör överdrivas och att de mycket långsiktiga förloppen i berggrunden har föga praktisk betydelse, om övriga barriärer fungerar tillfredsställande.

I helhetsbedömningen av säkerheten har den kompletterande undersökningen enligt kärnkraftinspektionen inte gett inspektionen skäl att ändra sin tidigare inställning, som framförts i dess remissyttrande den 9 maj 1978, att KBS-projektets förslag till hantering av använt kärnbränsle och slutförvaring av högaktivt avfall uppfyller de krav som villkorlagen ställer. Enligt inspektionens uppfattning pekar således det tillgängliga materialet på godtagbara möjligheter för förvaring i svenskt berg av avfallet från åtminstone Ringhals 3 och reaktor-anläggningen Forsmark, block 1.

Inspektionen framhåller även att ett forsknings- och utvecklingsprogram, som inriktas mot färdiga anläggningar för hantering och förvaring av använt kärnbränsle och olika slag av radioaktivt avfall, måste påbörjas eller i vissa fall fortsättas på grundval av verksamheten inom KBS eller programrådet för radioaktivt avfall.”

Som framgått av det föregående hade innehavaren av *Barsebäck 2* genom regeringsbeslutet i december 1977 fått tillstånd till fortsatt drift av reaktorn till och med utgången av år 1979. I april 1979 ansökte innehavaren om tillstånd till fortsatt drift efter den tidpunkten. Till stöd för ansökningen återopades ett nytt upparbetningsavtal avseende 1980-talet. Det var fråga om samma upparbetningsavtal som bedömts av regeringen Fälldin redan den 5 oktober 1978 i samband med besluten rörande Ringhals 3 och Forsmark 1 och då befunnits uppfylla villkorlagens krav. I beslut den 21 juni 1979 noterade regeringen detta faktum och biföll ansökningen för tiden till och med år 1990 /4-11/.

Alla tre regeringsbesluten den 21 juni 1979 innebar att nya regeringsbeslut skulle krävas för fortsatt drift av dessa tre reaktorer efter utgången av år 1990. Det framhölls också i de tre besluten att till en ansökan om tillstånd till fortsatt drift ska fogas ”avtal om upparbetning av använt kärnbränsle eller utredning om slutlig förvaring av använt, ej upparbetat kärnbränsle eller om annan metod för slutlig förvaring av använt kärnbränsle”. Vidare fanns formuleringar av innebörd att regeringen ”erinrar” om att ytterligare villkor kan komma att meddelas i framtiden ”med anledning av resultatet av den översyn av atomlagstiftningen som nyligen har inletts... och av pågående prövning av frågan om direktförvaring av använt, ej upparbetat kärnbränsle”. Vidare uttalade regeringen att den ”förutsätter” att reaktorinnehavaren själv ”eller inom en särskild projektgrupp fortsätter arbetet rörande slutlig

förvaring av vid upparbetning erhållet högaktivt avfall eller av använt, ej upparbetat kärnbränsle för att erhålla fördjupad kunskap om slutlig förvaring av nämnda typer av radioaktivt material”. När det gällde beslutet avseende Ringhals 3, som var ställt till Statens Vattenfallsverk i egenskap av reaktorinnehavare, användes en starkare formulering; regeringen ”uppdrog” åt verket att fullgöra den sistnämnda uppgiften.

Avslutningsvis ”erinrade” regeringen i de två beslut som avsåg Ringhals 3 och Forsmark 1 att den just beslutade rådrumslagen innebar förbud att under viss tid tillföra kärnbränsle till en ny kärnreaktor. Det innebar i verkligheten att frågan om laddning av de båda reaktorerna var beroende av utfallet i den kommande folkomröstningen.

Innehavarna av reaktorerna *Ringhals 4* och *Forsmark 2* hade i oktober 1979 ansökt om regeringens tillstånd enligt villkorlagen att tillföra respektive reaktor kärnbränsle. I båda ansökningarna åberopades dels ingångna upparbetningsavtal, dels KBS-1-rapporten från december 1977, dels resultatet av de kompletterande geologiska undersökningar som KBS-projektet hade utfört våren 1979 (alltså de undersökningar som hade legat till grund för regeringsbesluten den 21 juni 1979 beträffande Barsebäck 2, Ringhals 3 och Forsmark 1).

Regeringen (Fälldin II) beslutade den 10 april 1980 att bifalla dessa båda ansökningar. Driftstiden för båda reaktorerna begränsades till utgången av år 1986. Begränsningen hade samband med innehållet i upparbetningsavtalen. I besluten, som till stora delar är likalydande, konstateras att den rådgivande folkomröstningen om kärnkraftens framtida användning hade resulterat i att en majoritet hade uttalat sig för att högst tolv reaktorer ska användas. Liksom i de tre besluten den 21 juni 1979 framhölls att ”ytterligare villkor kan komma att meddelas i framtiden med anledning av resultatet av den översyn av atomenergilagstiftningen som nyligen har inletts ... och av pågående prövning av frågan om direktförvaring av använt, ej upparbetat kärnbränsle”. Någon direkt referens till KBS-projektet – på det sätt som hade gjorts i de tre nyssnämnda regeringsbesluten – gjordes emellertid inte. /4-12, 4-13/.

Det kan noteras att regeringen Fälldin II i annat sammanhang senare redovisade en sammanfattande bedömning av innebörden av de fyra regeringsbesluten rörande Ringhals 3 och 4 samt Forsmark 1 och 2. Det skedde i den tidigare nämnda propositionen 1980/81:90 med förslag till riktlinjer för energipolitiken som lades fram för riksdagen i januari 1981. Föredragande statsrådet uttalade i den propositionen att de fyra besluten, tillsammans med tillståndet att anlägga ett central lager för använt kärnbränsle, ”innebär ett ställningstagande för att den hittills av Projekt Kärnbränslesäkerhet (KBS) redovisade hanteringen och förvaringen av använt kärnbränsle och högaktivt avfall är möjliga att tillämpa” /4-14 s 315/.

## **4.3 Våren 1981 – juni 1984**

### **4.3.1 Kärnavfallsfrågan i politiken**

Efter regeringsbeslutet i maj 1980 om tillstånd att ladda reaktorerna Ringhals 4 och Forsmark 2 skedde ytterligare två regeringsskiften. I maj 1981 sprack den borgerliga trepartiregeringen Fälldin II (den avgörande orsaken gällde dock inte kärnkraftspolitiken). I den nya regeringen (kallad Fälldin III) ingick enbart ledamöter från centern och folkpartiet. Den regeringen avgick i sin tur efter valet 1982 och efterträddes då av en socialdemokratisk regering under Olof Palme och med parlamentariskt stöd i riksdagen av vänsterpartiet kommunisterna.

När Atomlagstiftningskommittén i början av år 1983 var färdig med sitt uppdrag /4-5/ förelåg alltså en ny parlamentarisk situation jämfört med när utredningen hade tillsatts. Några huvudpunkter i motiveringen för de lagbestämmelser med relevans för kärnavfallshanteringen som kom att beslutas år 1984 framgår av det följande (se avsnitt 4.3.2).

Frågorna kring energipolitiken, och då särskilt kärnkraftsprogrammet stod alltså i politikens centrum under dessa år, även om kärnavfallsfrågorna inte stod i fokus på samma sätt som under senare delen av 1970-talet. Av olika skäl förändrades under dessa år synen på upparbetning av det använda kärnbränslet både bland politiska beslutsfattare och hos reaktorägarna. En samsyn växte fram mellan dessa båda huvudaktörer av innebörd att upparbetning borde undvikas i fråga om det använda kärnbränslet från de svenska reaktorerna. Det rimligaste alternativet blev i stället någon

form av direktdeponering. Det fortsatta arbetet kom därför att ta sin utgångspunkt i det tänkande som hade legat till grund för KBS-2-rapporten och som år 1983 resulterade i KBS-3-rapporten (se avsnitt 3.1–3.2).

#### **4.3.2 Utredningsförslag 1983 om klarare regler för kärnavfallshanteringen**

De förslag om ny lagstiftning på kärnenergiområdet som Atomlagstiftningskommittén presenterade i början av år 1983 berörde i stor utsträckning frågor om hantering och slutförvaring av använt kärnbränsle. Behovet att genom ny lagstiftning ge staten möjlighet att så småningom påverka det faktiska valet av hanteringsmetod för det använda kärnbränslet hade understrukits i de direktiv för utredningsarbetet som regeringen (Ullsten) beslutat om redan i februari 1979 (se avsnitt 4.2.1).

Kommittén konstaterade sammanfattningsvis /4-5 s 19–32/ att tillkomsten av finansieringslagen (1981:669) år 1981 innebar att vissa av de behov av lagstiftning som fanns när de ursprungliga direktiven beslutades redan hade tillgodosetts. Men samtidigt hade följden blivit att lagregler om avfallshanteringsfrågorna nu fanns i två olika författningar – villkorslagen och finansieringslagen – med delvis olika syften, och att bestämmelserna i den förstnämnda lagen i praktiken inte fullt ut tillgodosåg samhällets intresse att främja en säker slutförvaring av det använda kärnbränslet.

Villkorslagen var bara tillämplig på de kärnkraftsreaktorer som inte hade tagits i bruk i oktober 1977. I finansieringslagen fanns bestämmelser som riktade sig till samtliga reaktorinnehavare och som hade innebörden att dessa var ålagda att ansvara för hantering och slutförvaring av uppberedningsavfall eller använt kärnbränsle på ett säkert sätt och att dessutom svara för de framtida kostnaderna.

Kommittén såg det som angeläget att en noggrann och välunderbyggd prövning av det använda kärnbränslets hantering och slutliga förvaring skulle komma till stånd också när det gällde de två återstående reaktorerna i det svenska kärnkraftsprogrammet, alltså Forsmark 3 och Oskarshamn 3. Innebörden av prövningen enligt villkorslagen var emellertid att den prövningen inte sträckte sig längre än till att det vid laddningstillfället skulle finnas en förvaringsmetod tillgänglig enligt de krav som lagen ställde, medan något krav på fortsatt forskning och utveckling på området inte fanns. Kommittén fortsatte (s 24):

”Eftersom flera decennier kommer att förflyta mellan prövningen av laddningstillstånd och genomförande av slutförvaring har man då all anledning att räkna med att en fortsatt forskning kan leda till förbättrade metoder. Det kan därför enligt kommitténs mening vara till nackdel om man alltför tidigt i denna forskningsprocess låser fast sig vid ett speciellt tekniskt förfaringsätt, medan andra alternativ inte blir tillräckligt studerade.”

Sammanfattningsvis innebar kommitténs förslag vad gällde avfallshanteringen att det vid laddningstillfället för en kärnreaktor skulle prövas om en visad hanteringsmetod kunde godtas med hänsyn till säkerhet och strålskydd och att ett allsidigt forskningsprogram hade företetts. Om laddningstillstånd gavs, skulle det därefter åligga reaktorinnehavaren att svara för den fortsatta forsknings- och utvecklingsverksamheten. En förutsättning för att givna driftstillstånd inte skulle återkallas borde, menade kommittén, vara att tillståndsinnehavaren uppfyllde sin skyldighet i fråga om forsknings- och utvecklingsverksamheten.

#### **4.3.3 Regeringens syn 1983 på behovet av fortsatt forsknings- och utvecklingsarbete kring slutförvarsproblematiken**

Den socialdemokratiska regeringens proposition med förslag till ny lagstiftning på kärnenergiområdet överlämnades till riksdagen i november 1983 /4-15/. Bland nyheterna i det framlagda förslaget till en ny lag om kärnteknisk verksamhet framhölls särskilt (s 1) ”att varje reaktorinnehavare ålades att upprätta eller låta upprätta ett program för den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet och de övriga åtgärder som behövs för att det kärnavfall som uppkommer i verksamheten skall kunna hanteras och slutförvaras på ett säkert sätt... Forskningsprogrammet skall avse en period av minst sex år och skall med början år 1986 vart tredje år granskas och utvärderas av regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer” (s 1).

Den principiella motiveringen för de nya bestämmelserna utvecklades av föredragande statsrådet (Birgitta Dahl) enligt i huvudsak följande (s 28–29):

De beslut om laddningstillstånd som dittills hade fattats hade varit helt inriktade på att det använda kärnbränslet skulle upparbetas i utlandet. Men ingångna avtal och de begränsade lagringsmöjligheterna inom landet "hindrar full handlingsfrihet för framtiden i valet mellan olika avfallshanteringsmetoder". Det behövdes nu ett långsiktigt handlingsprogram för en säker hantering av avfallet. Någon slutförvaring behövde inte ske före sekelskiftet.

Det slutliga ställningstagandet till vilken metod som ska användas "bör baseras på en egen långsiktig forskning och på andra länders lika intensiva forskning. Det finns därför inte anledning att för dagen fatta några definitiva beslut om metoder för den slutliga hanteringen och förvaringen av kärnkraftsavfallet. Det bör därför enligt min mening inte ske någon fortsatt bindning till upparbetningsalternativet."

Regeringen lade alltså därför stor vikt vid att arbetet skulle fortsätta med att utveckla allt säkrare och bättre metoder för hantering av kärnavfallet. Ansvaret för detta arbete måste tas såväl av samhället som kraftföretagen.

En ny lagstiftning bör utgå från denna principiella syn på hanteringen och slutförvaringen. Man "måste komma bort från den låsning av avfallshanteringen som villkorslagen medför. Den framtida inriktningen av avfallshanteringen bör i stället enligt min mening ses i skilda utvecklingssteg baserade på en fortsatt forskning och utveckling. I sammanfattning innebär mitt förslag i denna del att de avfallsprodukter som uppkommer under kärnkraftens utnyttjande i ett första skede tas om hand i mellanlager, att ett slutligt ställningstagande till avfallshanteringen skall byggas på den metod som vid den fortsatta forskningen och utvecklingen framstår som bäst ägnad att hålla avfallet isolerat och att det under den tid som forsknings- och utvecklingsarbetet pågår inte skall ske någon bindning till en viss förvaringsmetod."

#### **4.3.4 Tillämplig lagstiftning inför regeringens beslut om laddning av återstående reaktorer**

De två sista kärnkraftsreaktorerna i det kärnkraftsprogram som riksdagen år 1980 hade beslutat var Forsmark 3 och Oskarshamn 3. Innehavarna av dessa båda reaktorer – Forsmarks Kraftgrupp AB respektive Oskarshamnsverkets kraftgrupp AB (senare OKG Aktiebolag) – ansökte båda i maj 1983 hos regeringen om tillstånd att ladda respektive reaktor. Som stöd för ansökningarna hänvisade de till KBS-3-rapporten.

Vid denna tidpunkt gällde fortfarande bestämmelserna i villkorslagen (1977:140). De båda ansökningarna avsåg alltså tillstånd enligt den lagen. Atomlagstiftningskommitténs förslag i februari 1983 om ny lagstiftning på kärnenergiområdet innebar emellertid bland annat ändringar av reglerna för att få ta nya reaktorer i drift.

En proposition, grundad på kommittéförslaget, lades fram för riksdagen hösten 1983 (se avsnitt 4.3.3). En ny lag (1984:3) om kärnteknisk verksamhet (kärntekniklagen) trädde i kraft den 1 februari 1984. Enligt övergångsbestämmelser i den nya lagen skulle ansökningar om laddningstillstånd som hade getts in men ännu inte avgjorts vid den nya lagens ikraftträdande prövas enligt den nya lagen.

De regler som alltså skulle tillämpas från den 1 februari 1984 innebar två förutsättningar för att regeringen skulle kunna ge tillstånd att ladda nya reaktorer. Reaktornnehavaren skulle dels visa att det för slutlig förvaring av använt kärnbränsle "finns en metod som kan godtas med hänsyn till säkerhet och strålskydd", dels förete "ett program för den forsknings- och utvecklingsverksamhet som behövs" för att använt kärnbränsle ska kunna hanteras och slutförvaras på ett säkert sätt.

I slutet av februari 1984 kompletterade de båda reaktornnehavarna sina respektive ansökningar genom att till regeringen överlämna det forsknings- och utvecklingsprogram som redovisats i avsnitt 3.3.

#### **4.3.5 Handläggningen inom regeringskansliet av ansökningar inför start av återstående reaktorer**

De båda ansökningarna jämte KBS-3-rapporten remitterades i början av sommaren 1983 till ett tjugotal svenska remissinstanser. Remisstiden sattes i de flesta fallen till den 31 december 1983, vilket innebar att villkorlagens bestämmelser skulle tillämpas. För Statens kärnkraftinspektion, Statens strålskyddsinstitut och Nämnden för hantering av använt kärnbränsle – de centrala svenska remissinstanserna i frågan – gällde emellertid remisstid till den 29 februari 1984. Tanken var att dessa i sina yttranden skulle ta hänsyn till föreskrifterna i den nya kärntekniklagen.

Vidare vidtalade regeringskansliet ett antal utländska expertorgan att yttra sig över KBS-3-rapporten per den 29 februari 1984. Principen för urvalet av sådana organ var att i länder där betydande insatser görs i fråga om kärnavfallshantering vända sig till nationella, oberoende organ med tillgång till behövlig expertis inom det egna landet.

Sedan forsknings- och utvecklingsprogrammet i februari 1984 överlämnats till regeringen blev även det föremål för remissbehandling av Kärnkraftinspektionen, Strålskyddsinstitutet och Nämnden för hantering av använt kärnbränsle.

Inkomna synpunkter ställdes samman och kommenterades av Industridepartementet i en beredningspromemoria, vilken publicerades sommaren 1984 i anslutning till regeringens beslut i ärendet /4-16/.

#### **4.3.6 Regeringsbeslut juni 1984**

Regeringens beslut om bifall till de båda ansökningarna om laddning av Forsmark 3 respektive och Oskarshamn 3 fattades den 28 juni 1984. Följande identiskt lika motivering gavs i de båda besluten /4-17, 4-18/:

”Sökanden har presenterat en utredning, KBS-3, om en metod för hantering och slutlig förvaring av använt kärnbränsle och radioaktivt avfall som härrör från detta och ett program för forsknings- och utvecklingsverksamhet för att i bl a förevarande reaktor använt kärnbränsle skall kunna hanteras och slutförvaras på ett säkert sätt.

Vid remissbehandlingen av ansökningen och expertgranskningen av KBS-3-utredningen har metoden i sin helhet i allt väsentligt befunnits kunna godtas med hänsyn till säkerhet och strålskydd. Vissa påpekanden har dock gjorts i fråga om enskildheter.

Vidare har vid remissbehandlingen av programmet för forsknings- och utvecklingsverksamhet detta befunnits svara mot de i 6 § andra stycket 2 kärntekniklagen uppställda kraven.

Vid en samlad bedömning av vad som förekommit i ärendet finner regeringen att laddningstillstånd enligt 6 § kärntekniklagen kan lämnas för Forsmark 3 [respektive Oskarshamn III].”

Vidare erinrade regeringen om att det program som enligt 12 § kärntekniklagen för första gången skulle lämnas in år 1986 skulle ”omfatta även en redovisning av den forsknings- och utvecklingsverksamhet som bedrivits i frågan om KBS-3-metoden samt hur de synpunkter och påpekanden som framförts vid remissbehandlingen och expertgranskningen har beaktats och avses bli beaktade”. Avslutningsvis erinrade regeringen om ”att slutlig ställning i fråga om hanteringsmetod för använt kärnbränsle kommer att tas först sedan erfarenheter vunnits och slutsatser kunnat dras från den kunskap och förbättrade teknik som svenskt och internationellt utvecklingsarbete ger”.



## **Del II**

**KBS-3-metoden förfinas – mitten av 1980-talet  
till och med år 2009**

## 5 Nya utgångspunkter för det fortsatta arbetet med metodutveckling

I den lag om kärnteknisk verksamhet (1984:3) som trädde i kraft den 1 februari 1984 fanns i huvudsak följande bestämmelser om forsknings- och utvecklingsarbete kring metoder för slutförvaring av använt kärnbränsle. Dessa bestämmelser gäller i sak fortfarande, även om vissa tillägg samt redaktionella ändringar har gjorts.

Enligt 10 § ska den som har tillstånd till kärnteknisk verksamhet svara för att de åtgärder vidtas som behövs bland annat för att ”på ett säkert sätt hantera och slutförvara i verksamheten uppkommet kärnavfall eller däri uppkommet kärnämne som inte används på nytt”. Den som har tillstånd att driva en kärnkraftsreaktor ska enligt 11 § också ”svara för att den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet bedrivs, som behövs” för att vad som föreskrivs i 10 § ska kunna fullgöras.

I 12 § åläggs en innehavare av en kärnkraftsreaktor att i samråd med övriga reaktorinnehavare upprätta eller låta upprätta ett program för den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet och de övriga åtgärder som anges i 10 och 11 §§. Programmet ska dels innehålla en översikt över samtliga åtgärder som kan bli behövliga, dels närmare ange de åtgärder som avses bli vidtagna inom minst den närmaste sexårsperioden. Det ska sändas in till regeringen – eller myndighet som regeringen bestämmer – vart tredje år (med början år 1986) ”för att granskas och utvärderas”.

I den specialmotivering för 12 § som finns i propositionen med förslag till kärntekniklagen /5-1/ utvecklade föredragande statsrådet – och därmed regeringen – ytterligare skälen för den nya ordningen (s 92–93):

”Problemen på avfallsområdet är i allmänhet gemensamma för samtliga reaktorinnehavare och därför är ett för reaktorinnehavarna, åtminstone i väsentliga delar, gemensamt system en viktig förutsättning för att lösa frågor om de i flera avseenden svåra och kostsamma åtgärder som krävs för en säker avfallshantering och för avveckling av anläggningarna. En sådan samordning sker f.n. och ombesörjs av det av kraftbolagen gemensamt ägda Svensk Kärnbränsleförsörjning AB. Möjligheten att upprätta ett gemensamt forsknings- och utvecklingsprogram ges i paragrafen ... Även om reaktorinnehavarna upprättar ett gemensamt program vilar ansvaret för att programmet upprättas och ges det innehåll som föreskrivs på den enskilde reaktorinnehavaren.

Som jag har angett ... skall forskningsprogrammet vara inriktat på att redovisa den forskning och utveckling som behöver vidtas för att slutligt kunna lösa problemen kring en säker hantering och slutförvaring enligt den metod som framstår som bäst med hänsyn till säkerhet och strålskydd. Forskningen omfattar hela processkedjan för avfalllets omhändertagande och slutförvaring, således olika typer av mellanlager och andra anläggningar som behövs före slutförvaringen. I kravet på ett allsidigt program ingår också en redovisning och en uppföljning av alternativa hanterings- och förvaringsmetoder som framkommer under den fortsatta utvecklingen på avfallsområdet, genom såväl den egna forskningen som utländsk forskning. Syftet med bestämmelsen är att någon bindning till en viss från början bestämd hanterings- eller förvaringsmetod inte skall ske förrän man fått tillräckliga kunskaper för att kunna överblicka och bedöma föreliggande säkerhets- och strålskyddsproblem. Framkommer under det fortsatta forskningsarbetet en ny och bättre metod bör i stället denna väljas.

Det är för den slutliga lösningen av avfallsfrågan väsentligt att programmet ges en långsiktig inriktning...

Programmet skall med början år 1986 vart tredje år insändas till regeringen eller till myndighet som regeringen bestämmer för att granskas och utvärderas. Denna granskning och utvärdering skall avse både den planerade framtida forskningen och redan uppnådda forskningsresultat...”

År 1992 gjordes ett förtydligande tillägg till denna paragraf om att i samband med granskningen får sådana villkor ställas upp som behövs avseende den fortsatta forsknings- och utvecklingsverksamheten. I den proposition som låg till grund för lagändringen /5-2/ motiverade föredragande statsrådet den nya bestämmelsen på i huvudsak följande sätt (s 40):

”Forsknings- och utvecklingsprogrammet är av mycket stor betydelse genom att det ger samhället en möjlighet till kontroll och insyn, som i sin tur är en förutsättning för att styra planeringsverksamheten avseende kärnavfallens slutförvar. Kärntekniklagen innehåller dock inte några bestämmelser som direkt tar sikte på att ge reaktorinnehavarna anvisningar om att komplettera sådana brister i programmen som kan komma fram som en följd av granskningen...”

För min del anser jag att det finns behov av en bestämmelse som anger att regeringen som en följd av granskningen och utvärderingen av programmet kan besluta om villkor som avser den fortsatta forsknings- och utvecklingsverksamheten. Jag förordar att utredningens<sup>29</sup> förslag om en sådan regel genomförs. Bestämmelsen bör ingå i 12 § och bör inte begränsas till att avse villkor om verksamhetens huvudinriktning som utredningen föreslagit. I villkoren bör t ex kunna anges att en viss del av programmet måste kompletteras på angivet sätt. Det är dock viktigt att påpeka att det är reaktorinnehavarna som självständigt skall svara för forsknings- och utvecklingsverksamheten. En styrning av verksamheten i detalj genom villkor bör inte förekomma...”

Under årens lopp har uppgiften att granska dessa forsknings- och utvecklingsprogram legat hos olika myndigheter. Under perioden 1985–1992 var det dåvarande Statens kärnbränslenämnd, som dessutom ansvarade för att administrera det system för finansiering av bland annat slutförvaring av använt kärnbränsle som hade skapats år 1981. Under år 1992 beslutade regeringen att nämndens verksamhet skulle överföras till dåvarande Statens kärnkraftinspektion. Uppgiften ligger sedan 1 juli 2008 hos den genom en sammanläggning av Statens kärnkraftinspektion och Statens strålskydds-institut bildade Strålsäkerhetsmyndigheten.

Till Statens kärnbränslenämnd hade varit knutet ett vetenskapligt råd, känt under benämningen KASAM<sup>30</sup>. Detta omvandlades år 1992 till en vetenskaplig kommitté, knuten till dåvarande Miljö- och naturresursdepartementet och med benämningen KASAM – Statens råd för kärnavfallsfrågor. En av huvuduppgifterna för rådet blev att utföra en självständig granskning av industrins forsknings- och utvecklingsprogram kring kärnavfallshantering, alltså vid sidan av den granskning som gjordes av Statens kärnkraftinspektion. Denna ordning gäller fortfarande och har bekräftats genom de tilläggsdirektiv till Kärnavfallsrådet som regeringen (Miljödepartementet) beslutade om i april 2009 /5-4/. Regeringen har på detta sätt tillgång till två av varandra oberoende granskningar inför sitt ställningstagande till dessa program.

---

<sup>29</sup> Syftar på förslag i betänkandet (SOU 1991:95) Översyn av lagstiftningen på kärnenergiområdet.

<sup>30</sup> Detta vetenskapliga råd hade sitt ursprung i den så kallade Samrådsnämnden för kärnavfallsfrågor som regeringen hade inrättat år 1985. Nämndens uppgift kom i praktiken att bli att med hjälp av från fackmyndigheter och industri fristående sakkunniga med vetenskaplig förankring föra in nya perspektiv på kärnavfallsfrågorna i den allmänna debatten. Vid seminariet ”Tillbakablick och framtidsperspektiv i KASAM:s verksamhet”, som hölls år 2002, berättade KASAM:s första ordförande Camilla Odhnoff att man först hade övervägt akronymen SAMKA (från orden *samråd* och *kärnavfall*), men funnit den mindre lämplig och i stället vänt bokstäverna till KASAM /5-3/.

## 6 Forskning och utveckling åren 1984–1991

### 6.1 KBS-3 i FoU-program 86

#### 6.1.1 Övergripande frågor

Det första programmet enligt föreskrifterna i kärntekniklagen presenterades i september 1986 /6-1/. Där angavs följande allmänna riktlinjer för hanteringen av avfall från den svenska kärnkraften (del I s 11):

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

Enligt FoU-program 86 var KBS-3-metoden den i internationellt sammanhang mest genomarbetade och den hade dessutom av regeringen och myndigheter ansetts godtagbar med hänsyn till säkerhet och strålskydd. SKB betraktade därför metoden som ett ”referensalternativ för fortsatta studier av andra intressanta alternativ”. Den säkerhetsanalys som KBS-3-rapporten hade redovisat för metoden innehöll enligt SKB ”betydande säkerhetsmarginaler som då ej var möjliga att kvantifiera”. Ett viktigt mål för det fortsatta FoU-arbetet var därför ”att nå ökad kunskap om de verkliga säkerhetsmarginalerna”. Sådana ökade kunskaper ”ger bättre underlag för en optimerad lösning och en anpassning till lokala förhållanden samt en större frihet vid val av slutförvarsplats” (del I s 23).

Programmet för forskning under den närmaste sexårsperioden (1987–1992) presenterades under fem huvudrubriker. Dessa var Tekniska barriärer, Geovetenskap, Biosfärsstudier, Kemi och Säkerhetsanalys.

Framställningen i det följande utgår från dessa fem avsnitt. Men den är inriktad på ett urval av de ämnesområden som bedömts ha särskilt intresse vid en mer översiktlig redovisning av den utveckling av KBS-3-metoden som har skett under årens lopp. Urvalet av ämnesområden är ungefär samma i detta kapitel som i motsvarande avsnitt i vart och ett av de närmast följande kapitlen (7–9).

#### 6.1.2 Kapseln

Som en bakgrund för framställningen om kapseln (del III s 14–17) påpekades att högaktivt kärnavfall, vare sig det är fråga om förglasat avfall från upparbetning eller använt kärnbränsle, kräver inneslutning i en yttre behållare, en kapsel. Inkapslingens uppgift är dels att utgöra ett skydd under själva deponeringen, dels att säkerställa att radioaktivitet inte läcker ut från slutförvaret under en viss tid. Beroende på vilken tidsperiod som eftersträvas kan olika material vara aktuella. Följande indelning av kapselmaterialet i olika ”klasser” presenterades:

- a) Helt eller partiellt termodynamiskt stabila material, till exempel koppar.
- b) Passiva material, till exempel titan och aluminium samt metallegeringar med särskilt hög korrosionsbeständighet.

- c) Korroderande (offer-)material, till exempel bly, stål.
- d) Icke-metalliska material, till exempel keramer (aluminiumoxid, titandioxid) och cement.

Det erinrades vidare om att under KBS-arbetet hade koppar varit huvudalternativet för kapslar innehållande använt kärnbränsle. Dock hade i KBS-1-rapporten, för de kapslar som skulle innehålla förglasat högaktivt kärnavfall, föreslagits en kapsel med en mantel av titan.

Som *mål för FoU-verksamheten* angavs nu att till omkring år 1995 ha tillräcklig kunskap om såväl koppar som alternativa material för att då slutgiltigt kunna välja kapselmaterial.

Under rubriken *nuvarande kunskapsläge* påpekades att man i de flesta länder utgick från att kapseln skulle vara absolut tät under cirka 1 000 år, medan man i Sverige och några andra länder var inriktad på att kapseln skulle hålla tät i cirka 100 000 år. I de flesta andra länder hade man inriktat studierna av kapselmaterial på de ovan nämnda kategorierna b) och c). Endast i Sverige hade koppar studerats och resultatet hade redovisats i KBS-3-rapporten. På grundval av vad som framkommit under remissgranskningen av den rapporten hade ytterligare studier påbörjats. Dessa studier var dock långsiktiga och några direkt tillämpbara resultat hade ännu inte kommit fram.

*Forskningsprogrammet för 1987–1992* innebar att arbetet under de närmaste tre åren skulle koncentreras på att slutföra de kompletterande studierna av koppar enligt de riktlinjer som framkom vid remissgranskningen av KBS-3-rapporten och 1984 års forskningsprogram. Under hela sexårsperioden skulle dessutom genomföras specifika undersökningar av alternativa kapselmaterial. Forskningen skulle inriktas på följande delområden:

- Kopparkorrosion.
  - Studier om groppfrätning på koppar i reducerande miljö.
  - Ytterligare utvärdering av arkeologiskt material.
  - Studier om oorganisk reduktion av sulfat till sulfid vid låga temperaturer.
  - Studier av koppars krypegenskaper vid förvarstemperatur.
- Förslutning av kopparkapsel.
  - Ytterligare metodstudier kring alternativen elektronstrålesvetsning och het isostatisk pressning.
  - Utvecklingsarbete kring metoder för oförstörande provning för kontroll av förslutningen.
- Alternativa kapselmaterial.
  - Kolstål.
  - Titan.
  - Keramer.

### 6.1.3 Buffert och återfyllning

I avsnittet om buffert och återfyllning (del III s 17–19) angavs som *mål för FoU-verksamheten* att vid mitten av 1990-talet kunna välja buffert- och återfyllningsmaterial. Ett sådant val skulle vara baserat på:

- Klarlagt sammanhang mellan olika leror, blandmaterial, förvarsmiljö och materialens egenskaper av betydelse för de tekniska barriärerna.
- Utvecklad teoretisk modell för beräkning av buffert- och återfyllningsmaterialens mekaniska funktion som stöd och skydd för avfallskapslar.
- Utvecklade och provade metoder att täta berg i anslutning till pluggar och deponeringshål.

Under rubriken *Nuvarande kunskapsläge* erinrades om att hittills gjorda studier om buffert- och återfyllningsmaterial hade varit inriktade mot svällande så kallade smektitrika leror, varvid referensmaterial hade varit bentonit av Wyomingtyp. Genomförda försök med högkompakterade bentonitblock kring simulerade kapslar refererades. Det framhölls att kunskapen om bentonit och de geologiska förhållanden som rått under lång tid i naturliga bildningar ”visar att långtidsbeständighet kan påräknas under vissa förhållanden”. Ytterligare kunskaper behövdes emellertid inom följande områden:

- Teoretiska samband mellan å ena sidan mineral, kemisk/fysisk stabilitet, vattensammansättning och temperatur och å andra sidan de förhållanden i systemet lera/vatten som är av betydelse för barriärfunktionen.
- Metod och utrustning för packning av återfyllningen närmast taket i tunnlar.
- Metoder för tätinjektering av berg samt långtidsstabiliteten hos injekteringsmateriel.

*Forskningsprogrammet för 1987–1992* skulle inledas med ett systematiskt arbete för att verifiera och klarlägga de processer, samband och villkor som bestämmer egenskaperna hos olika material. I kombination med en råvaruinventering skulle en faktasammanställning göras. Denna sammanställning skulle i sin tur utgöra underlag för att välja ut 3–5 alternativa buffertmaterial, lämpade för olika depositionsmetoder och dessas geometriska utformning.

Följande områden angavs ingå i de planerade undersökningarna:

- Kunskapsbreddning.
  - Laboratoriebestämning av hydraulisk konduktivitet, experimentell bestämning av diffusivitet, bestämning i laboratorium och i fält av termisk konduktivitet.
  - Laboratoriebestämning av reologiska egenskaper<sup>31</sup>, svällbarhet och svällningstryck.
  - Experimentella studier av erosionsbeständighet i molekylär skala respektive i laboratorieskala.
  - Inventering av svenska lermaterial, provtagning i fält för materialkaraktisering med avseende på mineralogi och granulometri.
  - Injekteringsmateriel och deras stabilitetsförhållanden under långa tidsperioder.
- Modeller.
  - Utveckling av matematiska modeller och beräkningsmetoder för simulering av olika processer i samband med och efter deponering.
  - Teoretiska termodynamiska studier och inventering av geologiska analogier för klarläggande av kemiska stabiliteten.
- Inventeringar och alternativstudier. Innebörden av dessa studier angavs vara att flera buffertmaterial och återfyllningsmaterial kommer att provas för att bredda möjligheterna att dels välja lermaterial, dels använda blandmaterial för bättre egenskaper och ekonomi.

I detta sammanhang bör också nämnas att det så kallade kemiprogrammet omfattade bland annat studier för att etablera tillräcklig kunskap om de kemiska egenskaper hos grundvatten och mineral som är avgörande för stabiliteten hos bufferten (del III s 45).

#### **6.1.4 Berget på förvarsdjup**

Under rubriken Geovetenskap redovisades frågor som förts samman i avsnitt om bland annat Grundvattenrörelser i berget, Bergets stabilitet i ett långtidsperspektiv samt Underjordiskt berglaboratorium.

##### ***Grundvattenrörelser i berget (del III s 21–26)***

Behovet av fortsatta forskning om grundvattenrörelserna i berget motiverades med att den modell för analyser av grundvattenrörelserna som hade presenterats i KBS-3-rapporten hade varit tillräcklig för att bilda underlag för säkerhetsanalysen i den rapporten med dess begränsade syfte. Det syftet hade varit att visa att det *existerar* bergområden dit ett slutförvar kan förläggas med hänsyn till önskvärdheten av ett lågt grundvattenflöde. Men för att *i verkligheten identifiera* en lämplig plats och då kunna genomföra en säkerhetsanalys krävdes emellertid större detaljeringsgrad i modellerna.

Det allmänna syftet med forskningen inom detta område var att:

- Utveckla modeller som beskriver grundvattenströmningen i berg.
- Utveckla och prova metoder för lokalisering och karakterisering av sprickzoner och vattenförande sprickor.

<sup>31</sup> *Reologi* är ”vetenskapen om vätskors och fasta materials tidsberoende deformationsegenskaper. Reologi beskriver spännings-töjningsförhållanden hos olika material... i såväl fast som visköst tillstånd...” (Källa: Nationalencyklopedin).

- Bredda databasen för vattenförande sprickor och sprickzoner med de data som behövs i nämnda modeller.
- Pröva olika modellers användbarhet och beräkningsresultatens tillförlitlighet.

*Målet för FoU-verksamheten* formulerades som ”att i samband med den platsanknutna systemoptimeringen under 1990-talets andra hälft kunna kvantifiera betydelsen av grundvattenströmningen i sprickzoner i närheten av slutförvaret”. Målet var vidare att, vid detaljundersökningarna av en tilltänkt slutförvarsplats, kunna identifiera sådana vattenförande sprickor och sprickzoner som har betydelse för slutförvarets säkerhet.

Under rubriken *Nuvarande kunskapsläge* konstaterades bland annat att den datainsamling och modellering som dithills hade skett var av övergripande natur. Målet hade varit att visa att det var möjligt att hitta bergvolymen av tillräcklig storlek med låg vattenomsättning och som i övrigt hade de egenskaper som är väsentliga för anläggandet av ett slutförvar. Nu behövdes en ökad datamängd och en förfinad undersökningsmetodik, så att kommande säkerhetsanalyser skulle kunna kvantifiera sprickzonernas transportegenskaper.

Som *forskningsprogram för 1987–1992* preciserades följande aktiviteter:

- Geohydrologisk metod- och modellutveckling.
  - Utveckling av förbättrade metoder för hur data ska samlas in och översättas till en tredimensionell modell som kan analyseras med befintliga beräkningsprogram.
  - Utveckling av program för tredimensionell grafisk presentation av data och beräkningsresultat.
  - Undersökning av korrelation mellan radarreflexer och geologiska och geohydrologiska förhållanden.
  - Revidering av standardprogrammet för typområdesundersökningar.
  - Utveckling av testmetodik för enhåls- och mellanhålsmätningar.
  - Inverkan av termiska effekter på grundvatten i närzonen kring en kapsel.
- Sprickzonsundersökningar, i första hand vid Finnsjön och Ävrö.
- Dokumentation av vattenförekomst i tunnlrar.
- Undersökningar av flödesfördelningen i enskilda sprickor.
- Slutsatser som kan dras från de effekter på grundvattenförhållandena som utsprängningen av SFR har gett.

### ***Bergets stabilitet i ett långtidsperspektiv (del III s 26–30)***

Två *mål för FoU-verksamheten* angavs, nämligen att:

- kvantifiera eller gränssätta de effekter av jordskalv, istider och landhöjningar som är av betydelse för att analysera säkerheten vid ett slutförvar för använt kärnbränsle,
- bearbeta, utvärdera och öka kunskapen om de geodynamiska processerna i Baltiska skölden.

Utifrån en översiktlig beskrivning av kunskapsläget rörande bergets stabilitet presenterades ett *forskningsprogram för 1987–1992*, uppdelat i två huvudområden enligt i huvudsak följande:

- Konsekvensanalys med syfte att:
  - sammanställa och utvärdera erfarenheter av jordskalv i redan existerande undermarksanläggningar,
  - upprätta modeller över bergmassan och studera den inverkan som erhålls från jordskalv, nedisning, landisens framryckning, återgång och avsmältning samt landhöjning.
- Studier av geodynamiska processer, indelade i fem huvudmoment:
  - Tillskapande av en enhetlig strukturgeologisk karta över Sveriges svaghetszoner med syfte att kunna avgränsa strukturellt enhetliga områden.
  - Analys av stora jordskalv i Baltiska skölden.
  - Neotektoniska studier vid Lansjärv (Norrbotten).
  - Seismiska registreringar i sydöstra Sverige.
  - Sammanställning av nuvarande kunskapsläge om den så kallade Protoginzonen, en randzon till det lågseismiska området i sydöstra Sverige.

### ***Underjordiskt berglaboratorium (del III s 35–36)***

Inom ramen för det så kallade Stripa-projektet (se avsnitt 10.4) hade SKB sedan slutet av 1970-talet bedrivit visst forsknings- och utvecklingsarbete i den nedlagda järnmalmgruvan i Stripa (nordost om Lindesberg). Man gjorde nu bedömningen att det för den fortsatta verksamheten fanns behov att anlägga ett särskilt så kallat berglaboratorium under jord. Detta borde förläggas till en plats med lämplig geologi och där en befintlig infrastruktur och viss service var tillgänglig. I första hand avsåg SKB att undersöka om något av kärnkraftlägena var lämpligt. Förstahandsalternativet var någon plats nära Oskarshamnsverket.

Syftet med det planerade underjordiska berglaboratoriet sammanfattade SKB enligt följande (del I s 28):

- Ge en bas för utveckling och utprovning av de detaljerade undersökningsmetoder som ska användas vid detaljerade platsundersökningar på 1990-talet.
- Detaljstudera grundvattenströmning inom ett större bergområde (än vad som studerats i Stripa) och hur denna påverkas av schaktsänkning eller tunneldrivning.
- Utgöra en plats för geovetenskapliga undersökningar och experiment.
- Ge möjlighet till försök med nuklidtransport (med grundvattnet) inom väl karakteriserade och representativa områden.
- Ge möjlighet till pilotförsök med vissa systemkomponenter eller viss utrustning.
- Ge möjlighet till så kallade in situ-försök för studier (under relativt lång tid) av samfunktion av delar av ett förvarssystem.
- Ge möjlighet till storskaliga demonstrationsförsök.
- Kunna prova anläggningsteknik eller utförandeteknik för slutförvar.
- Utgöra en väl karakteriserad referensplats för studier av olika förvarsalternativ.

Vissa av dessa syften bedömdes kunna uppnås redan under förundersöknings- och byggnadsfasen. De huvudsakliga aktiviteterna under perioden 1987–2010 bedömdes vara följande (del III s 35):

- Detaljerad undersökning av den naturliga barriären (berget) i berggrund av slutförvarskaraktär. Häri inbegrips utveckling av metodik, insamling av data och validering av modeller för grundvattenrörelser och radionuklidtransport.
- Pilotförsök på platsen för analys av funktion och samverkan mellan förvarets tekniska och naturliga barriärer.
- Utveckling av ändamålsenliga metoder för utförande och kvalitetssäkring av ett förvar.
- Demonstration av system, teknik och kvalitetssäkring.

Under rubriken *Forskningsprogram 1987–1992* beskrevs närmare vilka aktiviteter som skulle genomföras för att få fram det underlag som skulle behövas för att bedöma om det underjordiska berglaboratoriet kunde lokaliseras i närheten av Oskarshamnsverket.

#### **6.1.5 Säkerhetsanalys**

Utveckling av modeller för funktions- och säkerhetsanalys angavs av SKB som ett viktigt huvudområde inom FoU-arbetet (del I s 23). I programmet presenterades (del II s 10–11) en kort genomgång av förvarets säkerhetsmässiga funktion och av det för säkerhetsanalysen väsentliga underlaget. Det måste kunna visas att de så kallade forskningsmodeller som simulerar systemets faktiska processer, och de så kallade analysmodeller som simulerar transporten av radionuklider från förvaret, kan återge de fenomen som förekommer i verkligheten.

Den strategi som hade valts för funktionsanalysen i KBS-1-rapporten och i KBS-3-rapporten innebar att förenklingar kunde göras så länge dessa inte ledde till att de radiologiska konsekvenserna av förvarets existens underskattades. Efter slutförandet av KBS-3-rapporten hade emellertid målen för den utveckling som bedrevs på funktions- och säkerhetsanalysområdet omformulerats. Som övergripande mål angavs nu att (del III s 55):

- genomföra en slutlig säkerhetsanalys av det verkliga förvaret,
- kunna göra mer realistiska analyser för att bättre kvantifiera säkerhetsmarginalerna.



Enligt forskningsprogrammet räknade SKB med att vid årsskiftet 1988–1989 ha färdigställt en uppsättning modeller för en så kallad generisk pilotanalys, det vill säga en allmänt hållen experimentbetonad säkerhetsanalys. En andra generation av modeller för säkerhetsanalys beräknades finnas framme några år senare (del III s 56–58).

## 6.2 Granskningen av FoU-program 86

Som framgått av kapitel 5 hade regeringen lagt uppgiften att granska FoU-program 86 på Statens kärnbränslenämnd, som därefter skulle överlämna resultatet av granskningen till regeringen för beslut. Denna ordning innebar bland annat att nämnden i sin tur förutsattes inhämta yttranden över programmet från en rad andra myndigheter och organisationer, bland andra Statens kärnkraftinspektion och Statens strålskyddsinstitut. Kärnbränslenämndens yttrande förelåg i maj 1987 /6-2/.

### 6.2.1 KBS-3-metoden: Övergripande frågeställningar

Statens kärnbränslenämnd ansåg att de resultat som kommit fram i samband med remissbehandlingen år 1984 av KBS-3-rapporten inte föranledde någon omprövning av de slutsatser som då drogs om möjligheten till en säker slutförvaring av använt kärnbränsle i svensk berggrund. FoU-program 86 ingav enligt nämndens uppfattning ”förtroende för SKB:s förmåga att få fram forskningsresultat på de områden som krävs” (s 46). SKB hade, bedömde nämnden, i det nu framlagda FoU-programmet, beaktat de väsentliga synpunkterna i remissutlåtandena om KBS-3-rapporten (s 47).

### 6.2.2 Kapseln

Kärnbränslenämnden tillstyrkte SKB:s program för kapselstudier (s 51–53). Dessa borde dock inriktas mot i första hand koppar och i andra hand keramiska material, medan undersökningar av korroderande material inte behövdes. Nämnden betonade, liksom flera remissinstanser, vikten av att SKB arbetade vidare med olika metoder för tillverkning och provning av kapslar. Vidare borde programmet för kapselstudier utsträckas till att även analysera och förklara de uppgifter som kring årsskiftet 1986–1987 hade presenterats i en forskningsrapport om att koppar kunde korrodera i en syrefri miljö under vätgasutveckling.

### 6.2.3 Buffert och återfyllning

Området buffert och återfyllning betecknade Statens kärnbränslenämnd som ett av de områden där SKB:s utvecklingsarbete hade ”hunnit längst på väg mot tillfredsställande lösningar” (s 56) och tillstyrkte den föreslagna inriktningen av fortsatta studier. Nämnden påpekade samtidigt att programmet längre fram behöver kompletteras med studier av buffertens samfunktion med övriga tekniska barriärer.

### 6.2.4 Berget på förvarsdjup

Statens kärnbränslenämnd anslöt sig till SKB:s uppfattning om behovet och inriktningen av forskning kring *grundvattnets rörelser i berggrunden* och om behovet av modellutveckling. Dock saknade nämnden en närmare diskussion om med vilken noggrannhet man behöver kunna bedöma berggrundens vattenförande egenskaper (s 62–64).

När det gällde forskning kring *bergets stabilitet i ett långtidsperspektiv* konstaterade Kärnbränslenämnden att målen för FoU-arbetet var högt ställda, särskilt ”i relation till de begränsade effekter som SKB förväntar att de geodynamiska processerna får på säkerheten i ett slutförvarssystem” (s 66). Nämnden framförde ingen kritik mot målen som sådana, men var tveksam till om de skisserade projekten med föreslagen tidsplan var tillräckliga för att nå målen.

De skäl som SKB hade redovisat för att anlägga ett *underjordiskt berglaboratorium* i Sverige ansåg Kärnbränslenämnden vara tillräckliga (s 102–103). Nämnden saknade underlag för att bedöma den föreslagna lokaliseringen, men fann att systematiken i de förundersökningar som SKB hade bedrivit efter det att FoU-program 86 hade upprättats var väl genomtänkt.

## 6.2.5 Säkerhetsanalys

Resultatet av Statens kärnbränslenämnds granskning av vad SKB anfört om funktions- och säkerhetsanalys (s 78–87) kan sammanfattas i tre punkter:

- SKB bör låta utarbeta en lättillgänglig och klarläggande skrift om metoder och arbetssätt inom funktions- och säkerhetsanalys.
- SKB bör ta fram underlag för berörda svenska myndigheters arbete med så kallade besluts-kriterier för ett kärnavfallsförvar.
- SKB behöver öka sina resurser inom funktions- och säkerhetsanalys för att kunna genomföra planerna på att vid årsskiftet 1988–1989 ha färdigställt en allmänt hållen experimentbetonad säkerhetsanalys av ett tänkt slutförvar för använt kärnbränsle.

## 6.2.6 Regeringens ställningstagande

Regeringens konstaterade i sitt beslut att FoU-program 86 uppfyllde ”de anspråk som ställs i 12 § kärntekniklagen” /6-3/. Regeringen fann vidare att forsknings- och utvecklingsarbetet borde bedrivas i enlighet med den inriktning och tidsplan som anges i programmet. De synpunkter som Kärnbränslenämnden framfört borde så långt som möjligt beaktas<sup>32</sup>.

## 6.3 KBS-3 i FoU-Program 89

I september 1989 redovisade SKB sitt andra forskningsprogram, FoU-program 89, enligt bestämmelserna i kärntekniklagen /6-4/. Inledningsvis (del I s 11) återgavs allmänna riktlinjer för hanteringen av avfall från de svenska kärnkraftverken. Dessa riktlinjer var till sin lydelse identiska med vad som hade presenterats i FoU-program 86 (avsnitt 6.1.1).

Efter en översiktlig genomgång av tänkbara slutförvaringsprinciper tog SKB upp frågor om den allmänna inriktningen av forskningsprogrammet. SKB förklarade (del I s 18) att slutmålet var att slutförvaringen av det använda kärnbränslet ska ske djupt ned i svensk berggrund samt att det i KBS-3-rapporten hade beskrivits en metod baserad på denna princip, vilken hade godtagits med hänsyn till säkerhet och strålskydd.

Samtidigt förklarade SKB att dess forsknings- och utvecklingsarbete syftade till att ta fram ett brett underlag för det slutliga valet av metod samt att arbetet principiellt sett inte var knutet till någon viss metod.

Med referens till rapporten från ett seminarium som KASAM och Statens kärnbränslenämnd hade anordnat i september 1987 på temat ”Etik och kärnavfall” berörde SKB den så kallade *återtagbarhetsfrågan* (del I s 18):

”Under senare år har följande principiella krav diskuterats: Ett slutförvar bör utformas så att det dels gör övervakning och underhåll onödiga för en säker funktion men dels inte omöjliggör ingrepp och korrigerande åtgärder (’reparation’) i framtiden om t ex framtida kunskaper skulle visa att slutförvarets utformning var olämplig. ’Vi bör inte lägga ansvaret för slutförvaret på senare generationer men bör å andra sidan inte heller beröva kommande generationer deras möjlighet att ta ansvar’<sup>33</sup> SKB anser att denna princip är riktig. I ett bergförvar av t ex KBS-3-typ i kristallint berg tillgodoses båda dessa krav. För vissa andra förvarsalternativ saknas sådana förutsättningar.”

### 6.3.1 Övergripande frågor

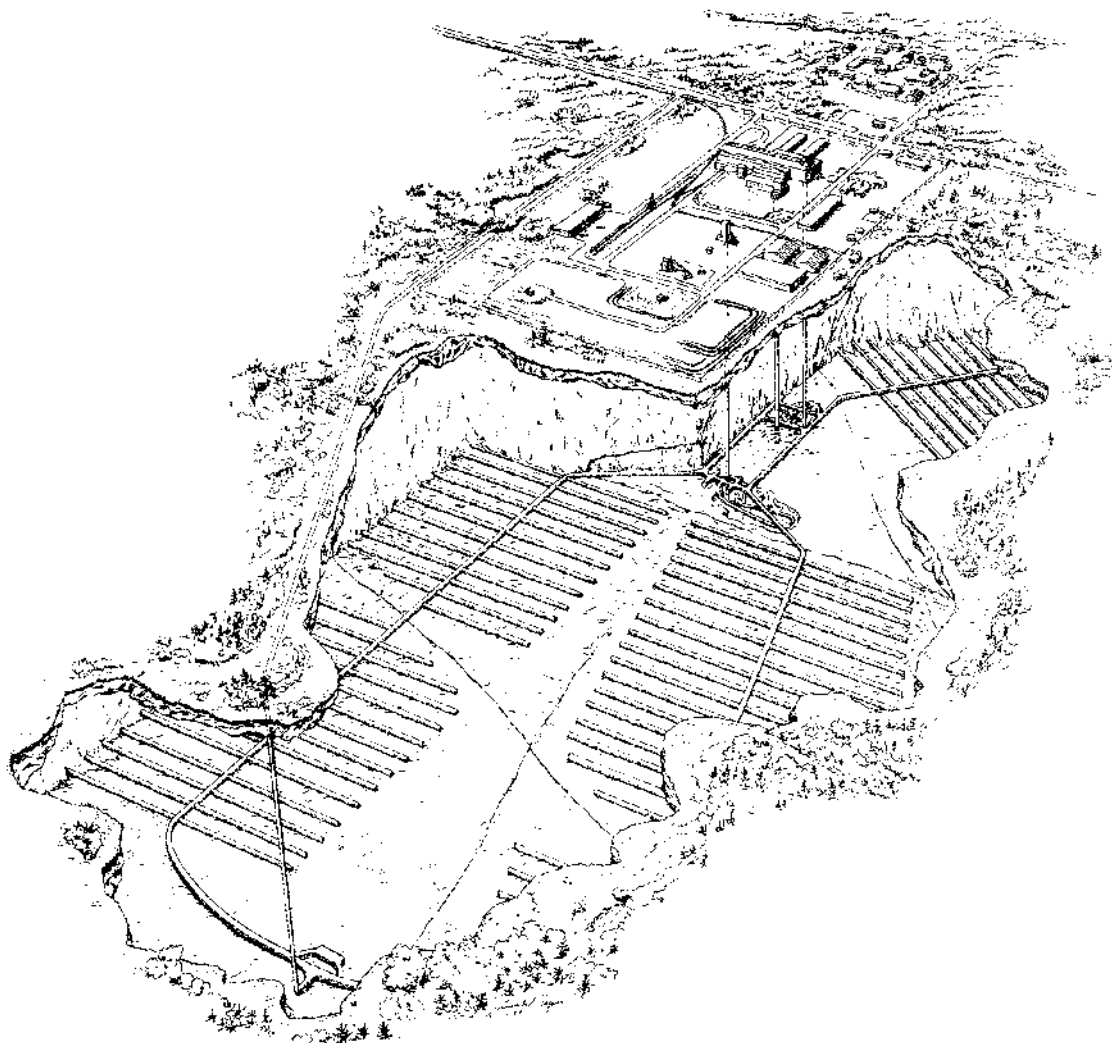
Forsknings- och utvecklingsarbetet skulle under den närmaste tioårsperioden inriktas på att ta fram det underlag som skulle behövas för att SKB senast år 2003 skulle kunna lämna in ”en platspecifik” lokaliseringsansökan (del I s 23).

<sup>32</sup> Som framgått av kapitel 5 innehöll kärntekniklagen i sin ursprungliga lydelse inga bestämmelser som gav regeringen formell grund för att utfärda villkor för SKB:s fortsatta forsknings- och utvecklingsarbete. Bestämmelser med den innebörden infördes år 1992.

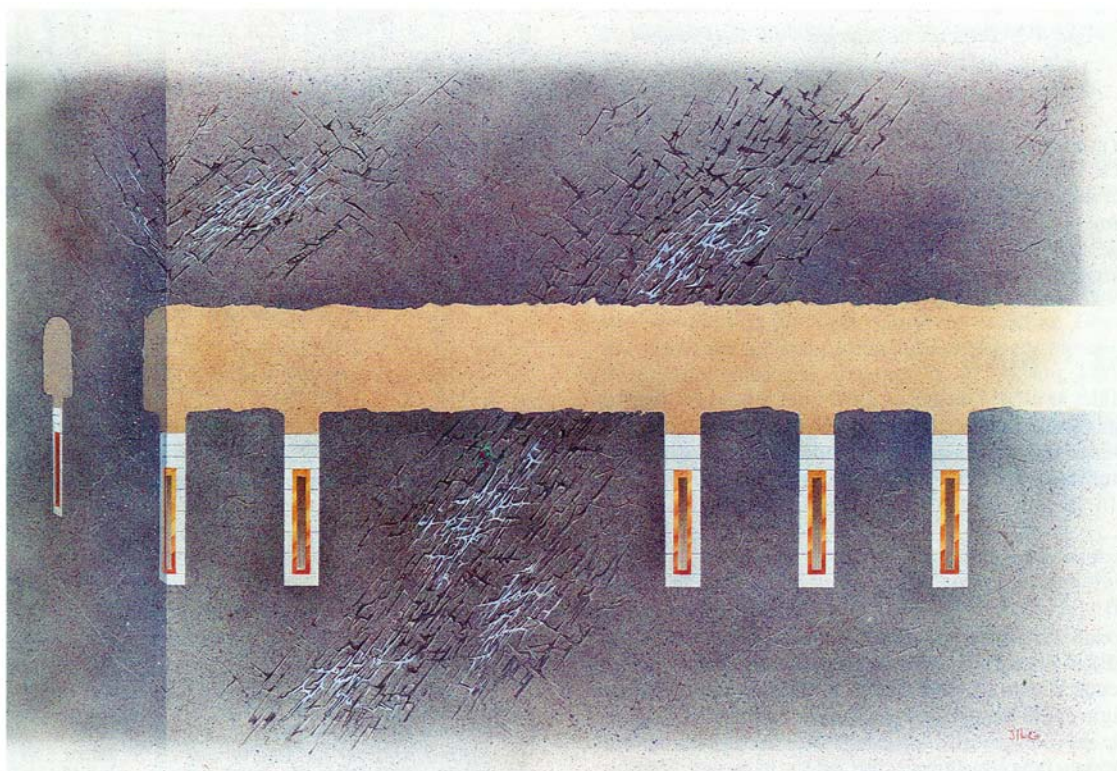
<sup>33</sup> Den citerade meningen är hämtad från s 201 i /6-5/.

SKB hade i FoU-program 86 betecknat KBS-3-metoden som ”ett referensalternativ för fortsatta studier av andra intressanta alternativ”. Samma formulering återkom i FoU-program 89 (del I s 23). Liksom år 1986 framhöll SKB även i FoU-program 89 att säkerhetsredovisningen i KBS-3-rapporten innehöll ”betydande säkerhetsmarginaler som då ej var möjliga att kvantifiera”. Ett viktigt mål för forsknings- och utvecklingsarbetet var därför att få ökad kunskap om de verkliga säkerhetsmarginalerna.

Framställningen illustrerades med bland annat en perspektivbild av ett slutförvar för använt kärnbränsle (figur 6-1) och en bild av hur ett slutförvar enligt KBS-3-metoden medger goda möjligheter för anpassning till växlande bergförhållanden (figur 6-2).



*Figur 6-1. Perspektivbild av slutförvar för använt kärnbränsle (Fud-program 89).*



**Figur 6-2.** Slutförvar enligt KBS-3-metoden medger goda möjligheter för anpassning till växlande bergförhållanden (Fud-program 89).

### 6.3.2 Kapseln

Det mål för FoU-verksamheten som angavs i FoU-program 86 upprepades även i FoU-program 89. Målet var alltså att till omkring år 1995 ha tillräcklig kunskap om såväl koppar som alternativa material för att då slutgiltigt kunna välja kapselmaterial (del II s 36).

I en redogörelse för *nuvarande kunskapsläge* beskrevs dels arbetet i ett antal länder – bland andra Finland, Kanada och Schweiz – där man inriktat forskningsarbetet på olika material för kapseln, dels vilka slutsatser SKB hade dragit för egen del.

SKB:s egna slutsatser när det gällde val av kapselmaterial kan sammanfattas i följande punkter (jfr del I s 28 f och del II s 36 f):

- Koppar utgör fortfarande referensalternativet.
- För stål som kapselmaterial har arbetet varit inriktat på undersökningar om gropfrätning. Resultaten visar att kapseln får en livslängd på cirka 1 000 år om den har en tjocklek om 100 millimeter.
- Undersökningar om titans lämplighet som kapselmaterial har avslutats.
- Keramer som kapselmaterial – som tidigare hade tilldragit sig ett betydande intresse både under KBS-projektet och studerats på initiativ av Kärnbränslenämnden – avfärdades nu av SKB. Det viktigaste argumentet var risken för så kallat fördröjt brott, en risk som hängde samman dels med materialets egenskaper, dels med tillverkningstekniken.

Inom ramen för det forsknings- och utvecklingsarbete som skedde kring referensalternativet kopparkapsel hade man studerat frågor om gropfrätning, materialets krypning, tillverkningsteknik, svetsteknik samt utformning av kapseln med hänsyn till krav på mekanisk hållfasthet. En kopparkapsel som är invändigt stödd av en stål kapsel betecknades som ”ett intressant alternativ för fortsatta studier” (del II s 37).

Särskild uppmärksamhet ägnades åt en forskarrapport från år 1986 om ett experiment enligt vilket koppar skulle kunna korrodera i en syrefri miljö under vätgasutveckling (se avsnitt 6.2.2). SKB hade uppdragit åt andra forskare att söka upprepa experimentet, men dessa hade inte lyckats. Med hänvisning ”till de utförda kontrollexperimenten och till de vetenskapligt väl grundade kunskaperna om koppars termodynamik” fann SKB att den nämnda forskarrapporten ”kan lämnas utan beaktande” (del I s 29).

Ett *forskningsprogram för perioden 1990–1995* presenterades med följande huvudinriktning (del II s 37 f):

- Korrosionsstudier, främst kompletterande studier av groppfrätning.
- Materialegenskaper, främst krypegenskaperna.
- Förslutningsteknik, främst utveckling av elektronstrålesvetsning samt av oförstörande provning av elektronstrålesvetsat material.
- Kapselutformning. Här påpekades att en kapselutformning utan de krav på uppvärmning som blyfyllning och het isostatisk pressning medför, kommer att kräva en analys av ”sammanhangen mellan dimensioner, yttre tryck, och brottlaster samt de möjligheter till kvalitetskontroll som en självbärande kapsel erbjuder”.

### 6.3.3 Buffert, återfyllning och förslutning

På samma sätt som i FoU-program 86 behandlades i FoU-program 89 frågor om buffert och återfyllning under en och samma rubrik. I det nya programmet berördes dessutom frågor om förslutning.

*Mål för FoU-verksamheten* var samma som angavs i FoU-program 86, nämligen att vid mitten av 1990-talet kunna välja material för buffert och återfyllning (del II s 38). Samma grunder för ett sådant val angavs som i FoU-program 86. I detta sammanhang framhöll SKB vidare att granskningen av FoU-program 86 hade visat att det behövdes forskning även inom följande områden:

- Sammanhang mellan höga temperaturer och bentonitens långtidsbeständighet.
- Kemisk konditionering, inblandning av bergkross.
- Reologi, vattenupptagning, erosionsbeständighet.
- Effekter av gas.
- Tätningsåtgärder i borrhål och schakt.
- Modellutveckling för barriärfunktion.
- Program för kvalitetssäkring.

FoU-program 89 innehöll även redovisningar av *kunskapsläget* inom de nämnda sju områdena. Mot bakgrund av dessa beskrivningar av kunskapsläget formulerades ett *forskningsprogram för perioden 1990–1995*. Detta innehöll i huvudsak följande (del II s 43):

- Forskningen om sammanhangen mellan lerors mikrostruktur och förhållanden av betydelse för transport i buffertmaterial ska fortsätta. Studierna breddas till att också omfatta blandningar med naturmaterial och bergkrossmaterial med mål att presentera materialmodeller för:
  - vattengenomströmning,
  - diffusion,
  - värmeledning,
  - beteende i gränsen mot rörligt vatten i bergsprickor.
- Reologiska egenskaper provas i laboratorium för buffert- och återfyllningsmaterial för materialmodeller att användas i teoretisk modellering för:
  - termomekanik,
  - kryp,
  - skjuvdeformation,
  - svällning, kompression, homogenisering,
  - bergspricktätning.

- I forskningen ingår utveckling av metoder för kvalitetssäkring som bygger på karakterisering av material och dess samverkan mellan kapsel och berg.
- I programmet ingår vidare utveckling av packningsmetoder för återfyllningsmaterial i förvaringstunnlarnas övre delar med mål att identifiera hur metoderna i sig påverkar de isolerande egenskaperna. Ett förslag till metod för användning i fältskala utarbetas, vilket är avsett att ligga till grund för framtagning av utrustning och senare praktiska prov i simulerad förvaringsmiljö.

#### **6.3.4 Berget på förvaringsdjup**

Berget är, underströks i FoU-program 89 (del II s 45), en förutsättning för säker slutförvaring av använt kärnbränsle enligt den princip som utvecklats i Sverige och många andra länder. De fundamentala funktionerna hos berget är att det ger ett mekaniskt skydd, en kemiskt stabil miljö samt en långsam och stabil vattenomsättning.

##### **Grundvattenrörelser i berget**

Fyra huvudmål för FoU-verksamheten 1990–1995 formulerades (del II s 46), nämligen att:

- vidareutveckla och pröva metoder för lokalisering och karakterisering av sprickzoner och vattenförande sprickor,
- bredda databasen för vattenförande sprickor och sprickzoner med de data som behövs i modeller,
- vidareutveckla modeller som beskriver grundvattenströmningen i berg,
- pröva olika modellers användbarhet och beräkningsresultatets tillförlitlighet.

Efter en redovisning av nuvarande kunskapsläge i fråga om bland annat observationsmetoder för grundvatten i berg (ytundersökningar, olika typer av borrhålsundersökningar samt undersökningar i tunnlar och schakt), begreppsmodeller, validering av modeller för grundvattnets rörelser samt några särskilda forskningsområden (sprickzonsstudier, subhorisontella zoner, störd zon och gastransport) skisserades ett forskningsprogram för perioden 1990–1995 med fokus på utveckling av begreppsmodeller och på utveckling av beräkningsmodeller.

##### **Bergets stabilitet**

De huvudmål för FoU-verksamheten 1990–1995 inom detta område som angavs i FoU-program 89 överensstämde med motsvarande formuleringar i FoU-program 86. Dessa huvudmål var alltså (del II s 58) att:

- kvantifiera eller gränssätta de effekter av jordskalv, istider och landhöjningar som är av betydelse för att analysera säkerheten vid ett slutförvar för använt kärnbränsle,
- bearbeta, utvärdera och öka kunskapen om de geodynamiska processerna i Baltiska skölden.

Som delmål för perioden angavs nu att:

- komplettera och avsluta studien av den postglaciala rörelsezonen vid Lansjärv,
- planera och genomföra en fördjupad tektonisk analys i sydöstra Sverige,
- genomföra en kunskapsöversikt över istider och studera deras betydelse för den långsiktiga säkerheten i ett slutförvar.

Under rubriken *Nuvarande kunskapsläge* framhöll SKB i FoU-program 89 att det är av fundamental betydelse att förstå i vad mån tektoniska eller klimatiska processer påverkar förvarets funktion. De studier som genomförts styrker, skrev SKB (del II s 58), uppfattningen att plattetektoniken tillsammans med den pågående landhöjningen efter senaste istiden är av avgörande betydelse för tolkningen av nuvarande och framtida rörelser i berggrunden. Det framgår också att dessa rörelser företrädesvis eller uteslutande sker längs större sprickzoner av mycket hög ålder.

Det forskningsprogram för 1990–1995 som presenterades innehöll fem komponenter (del II s 64 f):

- Upprättande av en kunskapsöversikt om vilken betydelse som istider och landhöjning kan ha för analysen av säkerheten hos ett förvar. Studien skulle ske i samverkan med ett av de finska kärnkraftsföretagen och vara avslutad år 1992. Mål för den kunskapsöversikten var att:
  - beskriva förhållandena före en istid och hur isen växer till,
  - beskriva hur förhållandena ser ut under isen (grundvattenrörelser och grundvattenkemi) och jordskorpan nedpressning,
  - beskriva avsmältningförloppet,
  - beskriva landhöjningen.

Av särskilt intresse var att belysa om en istid föregås av permafrost till stort djup, om grundvattenkemin förändras dramatiskt under en glaciär, om lösliga sprickmineral kan lösas ut och ge förhöjd grundvattenomsättning på förvarsnivån samt om issmältningen leder till låga effektivspänningar på stort djup i berget och stora rörelser i berggrunden.

- Fördjupad tektonisk analys – efter mönster av vad som skett för Lansjärvsområdet – av det regionala område som omger det planerade underjordiska berglaboratoriet nära Oskarshamnsverket.
- Avslutning av Lansjärvsprojektet.
- Medverkan vid analys av data från ett planerat svenskt seismiskt nät.
- Regelbunden rapportering från större internationella projekt på det geovetenskapliga området.

### **Underjordiskt berglaboratorium**

SKB:s arbete med att finna en lämplig plats för att anlägga ett underjordiskt berglaboratorium hade startat hösten 1986. I FoU-program 89 kunde SKB rapportera att man på södra Äspö (cirka två km norr om Oskarshamnsverket) hade funnit en plats med tillgång till de olika geologiska och hydrologiska förhållanden som krävdes för de planerade försöken. SKB underströk samtidigt att ”själva platsen för berglaboratoriet, Äspö, kommer inte att bli aktuell för lokalisering av slutförvaret” (del II s 90).

De viktigaste motiven för att anlägga ett berglaboratorium sammanfattade SKB enligt följande (del II s 89):

- Verifikationer av metoder för yt- och borrhålsundersökningar.
- Utprovning av metoder för detaljerade platsundersökningar med schakt- eller tunneldrivning.
- Möjlighet att i realistisk miljö och i stor skala undersöka förhållanden som är viktiga för säkerheten, till exempel grundvattenflöde och därtill kopplad transport av lösta ämnen.
- Möjlighet att i realistisk miljö genomföra demonstrationsförsök och långtidsförsök av växelverkan mellan tekniska barriärer och berg.
- Metodutveckling för bergarbeten, avfallshantering och återfyllning.

I fråga om det sistnämnda motivet, metodutveckling, framhöll SKB att man i mitten av 1990-talet – när man har valt en principutformning för slutförvaret – behöver kunna prova de olika delar som ingår i detta system i en realistisk skala. Det var särskilt viktigt att ”pröva och demonstrera växelverkan mellan tekniska barriärer och berg i en så riktig miljö som möjligt”. I första hand skulle det bli fråga om långtidsförsök och demonstrationsförsök i fullstor eller representativ skala. Även ”förstörande” prov kunde bli aktuella.

Dessutom måste man, skrev SKB (del II s 89), inför byggandet av ett slutförvar, ”utveckla och verifiera de metoder och den teknik som behövs bland annat för att bygga tunnlar och förvarsutrymmen, för att exakt bestämma var avfall ska placeras, för att hantera avfallet i berg, för att deponera avfallet på avsedd plats samt för att återfylla och försegla förvarets olika delar. Alla dessa aktiviteter måste genomföras med jämn dokumenterad kvalitet för att tillgodose säkerhetskraven. Många av dessa moment kan utvecklas och provas i ett berglaboratorium. Tillgång till ett sådant ger goda förutsättningar att möta kvalitetskraven.”

Tre huvudmål för FoU-verksamheten i berglaboratoriet formulerades, nämligen (del II s 91) att:

- pröva kvalitet och användbarhet för olika metoder att karakterisera berggrunden med avseende på förhållanden av vikt för ett slutförvar,
- vidareutveckla och demonstrera metoder för hur ett slutförvar vid projektering och byggande ska kunna anpassas till bergets lokala egenskaper,
- ta fram underlag och data av betydelse för slutförvaringens säkerhet och för tilltron till säkerhetsanalysernas kvalitet.

### 6.3.5 Säkerhetsanalys

I FoU-program 89 meddelade SKB (del II s 17) att man hade underskattat resursbehovet för att ta fram den av Statens kärnbränslenämnd rekommenderade skriften om metoder och arbetssätt inom funktions- och säkerhetsanalys (se avsnitt 6.2.5). SKB aviserade i detta sammanhang att en integrerad säkerhetsanalys, kallad SKB 91, skulle genomföras som underlag för att kunna bedöma den säkerhetsmässiga betydelsen av förläggningsplatsens geologi. Analysen skulle utgå från ett sådant förvar som hade förutsatts i KBS-3-rapporten, men ”i mindre grad utnyttja säkerhetsmarginaler och pessimistiska förenklingar för att etablera en viss säkerhetsnivå” (del II s 18). Det geologiska underlaget skulle bygga på befintliga data från Finnsjön kompletterade med viss information från slutförvaret för låg- och medelaktivt avfall i Forsmark. Tidsplanen för arbetet innebar att en sammanfattande rapport skulle publiceras under fjärde kvartalet 1991.

Vidare nämndes i FoU-program 89 att strålskydds- och kärnsäkerhetsmyndigheterna i de nordiska länderna diskuterade gemensamma acceptanskriterier för anläggningar för slutförvaring av använt kärnavfall och att resultatet av dessa diskussioner väntades komma att redovisas under år 1990. Detta material måste, framhöll SKB, analyseras med avseende på de konsekvenser det kan ha på genomförandet av säkerhetsanalyserna (del II s 24).

## 6.4 Granskningen av FoU-program 89

Ansvaret för att granska FoU-program 89 och att därefter överlämna granskningsresultatet till regeringen för beslut låg, liksom beträffande FoU-program 86, på Statens kärnbränslenämnd. Nämnden inhämtade i sin tur yttranden över programmet från en rad andra myndigheter och organisationer, bland andra Statens kärnkraftinspektion och Statens strålskyddsinstitut. Nämnden överlämnade i mars 1990 resultatet av sin granskning till regeringen /6-6/.

### 6.4.1 Övergripande frågor

I FoU-program 89 (och tidigare även i FoU-program 86) hade SKB återgett ett antal ”allmänna riktlinjer för hanteringen av avfall från de svenska kärnkraftverken”. Kärnbränslenämnden menade nu (s 2) att två av dessa riktlinjer borde ställas under diskussion, nämligen att:

- beslut om den definitiva utformningen av slutförvaret för använt kärnbränsle ska fattas först omkring år 2000 för att kunna baseras på ett brett kunskapsunderlag, och att
- avfallsfrågan ska till alla väsentliga delar lösas av den generation som utnyttjar elproduktionen från kärnkraftverken.

Nämnden ansåg att det kunde 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. Nämnden utvecklade sitt resonemang enligt i huvudsak följande (s 2):

”Vi kommer i Sverige i så fall antagligen bli först om ett sådant beslut vad gäller slutförvaring i urberg. Andra länder kommer sannolikt att fortsätta att bearbeta förvaringsproblemen långt in på 2000-talet. Nya behandlingsmetoder eller deponeringstekniker, som har fördelaktiga säkerhetsegenskaper eller är mer kostnadseffektiva än dagens, kommer sannolikt att utvecklas efterhand för både radiotoxiskt och kemiskt giftigt avfall. De definitiva besluten om slutförvaring i full skalas 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. Delar av den normala industriella utvecklingsprocessen skulle kunna efterbildas. Det underjordiska berglaboratoriet ger möjligheter till att pröva förvaringstekniken och till omfattande kontroll av de tillverkade barriärernas funktion i ett inledningsskede. Som nästa steg kan en anläggning byggas i form av ett förvar i demonstrationsskala, exempelvis 5–10 procent av fullskalförvaret. Demonstrationsanläggningen kan förses med utrustning för övervakning av barriärernas tillstånd under den inledande temperaturstegringen, och skall, naturligtvis, kunna öppnas för eventuella åtgärder med bränslekapslarna utan höga stråldoser och utan betydande kostnader.”

Kärnbränslenämnden slutsats var (s 3) att en demonstrationsanläggning borde inta slutförvarets plats i SKB:s tidsplanering och tillade att ”på så sätt ges fortfarande i de i avfallsarbetet engagerade organisationerna och deras personal ett konkret mål att arbeta mot och nå fram till inom överskådlig tid”. Enligt nämndens uppfattning skulle vår generation med en demonstrationsanläggning ta sitt ansvar för kärnavfallet ”genom att ta de första stegen på vägen till en möjlig och säker lösning, men bevarar åt den efterkommande generationen friheten att fortsätta på den inslagna vägen eller välja en som de finner vara bättre”.

Statens kärnbränslenämnd noterade vidare (s 23) att SKB i FoU-program 89 hade behållit KBS-3-utformningen som ett ”huvudalternativ”. Samtidigt påpekade nämnden att pågående och planerade studier av kapslings- och buffertmaterial och kemiska tillsatsmedel för närområdet både kan ses som alternativstudier inom ramen för KBS-konceptet samtidigt som de kan ge resultat som är användbara även i alternativa koncept.

#### **6.4.2 Kapseln**

Kärnbränslenämnden erinrade om vad nämnden anfört vid granskningen av FoU-program 86 (jfr avsnitt 6.2.2) och uttalade att den inte hade funnit någon redovisning av nya förhållanden som skulle ge anledning för nämnden att frångå den uppfattningen (s 58). Nämnden menade alltså att SKB:s studier av kapselmaterial borde inriktas mot i första hand koppar och i andra hand keramiska material och att undersökningar av korroderande material inte behövdes. Dock uteslöt nämnden inte att studier under den närmaste femårsperioden av andra metoder för geologisk deponering än KBS-3 (här syftades på WP-Cave samt deponering i urberg under sedimentära bergarter) kunde komma att leda till slutsatsen att kraven på kapselmaterial kunde ställas lägre än vid ett KBS-3-förvar. Nämnden underströk samtidigt att fortsatta studier av järn som kapselmaterial förutsätter att kombinationer av kapsel och andra barriärer ”får en med långlivskapseln likvärdig verkan”.

SKB:s avfärdande av fortsatta studier av keramer som kapselmaterial kritiserades, bland annat med motiveringen att ingen samlad redovisning hade lämnats om graden av de svårigheter som kunde finnas i detta alternativ.

Nämnden tog även upp diskussionen om möjlig kopparkorrosion i en syrefri miljö. Med hänvisning till remissyttranden från såväl Statens kärnkraftinspektion som organ inom forskarvärlden förordade Kärnbränslenämnden att SKB skulle göra ytterligare insatser för att klargöra förhållandena<sup>34</sup>.

Kärnbränslenämnden rekommenderade vidare att SKB snarast skulle starta konstruktions- och tillverkningsstudier av kapslar innehållande koppar samt kombinationer av koppar och andra material.

#### **6.4.3 Buffert, återfyllning och förslutning**

Kärnbränslenämnden tillstyrkte SKB:s planer för det fortsatta arbetet med buffert och återfyllning (s 62–63).

#### **6.4.4 Berget på förvarsdjup**

SKB hade i FoU-program 89 återigen understrukit bergets fundamentala funktioner att ge mekaniskt skydd, en kemiskt stabil miljö och en långsam och stabil vattenomsättning (se avsnitt 6.3.4).

<sup>34</sup> Nämnden uppdrog senare åt dåvarande Statens provningsanstalt (SP) att gå vidare med undersökningar av kopparkorrosion i vatten utan löst syre. Resultatet av dessa undersökningar redovisades år 1995 i en rapport från Statens kärnkraftinspektion (SKI Rapport 95:72). SP:s slutsats var att kopparkorrosion inte sker i rent syrefritt vatten. Sedan frågan om kopparkorrosion i rent syrgasfritt vatten aktualiserades under år 2008, har SKB beslutat att på nytt kritiskt granska frågor om kopparkorrosion i denna miljö.

Kärnbränslenämnden framhöll – liksom Statens kärnkraftinspektion – att stora tekniska fördelar kan vinnas med att utnyttja berget som barriär i ett slutförvar. En förutsättning är dock, skrev nämnden (s 68), ”att fortsatta undersökningar kan bekräfta att de krav på olika egenskaper hos berget som har ställts upp också motsvaras av de verkliga förhållandena. Dessa krav gäller framför allt bergets förväntade funktion under mycket långa tidsrymder vad gäller bergspänningar, sprickbildningar, förändringar i grundvattenrörelser etc.” (s 68).

I sin kommentar till forskningsprogrammet avseende *grundvattenrörelser i berget framhöll* Kärnbränslenämnden (s 72–74) att det var angeläget att arbete inte bara lades på utveckling av modeller, utan även på att öka kunskapen om hur vatten i verkligheten uppträder i berg. Nämnden konstaterade att SKB hade studerat hur vatten uppträdde i redan utsprängda berganläggningar och tillrådde fortsatta studier.

När det gällde forskningsprogrammet kring *bergets stabilitet* stödde Kärnbränslenämnden (s 78–80) uttryckligen SKB:s planer på att fortsätta Lansjärvsprojektet, att studera eventuell ny sprickbildning även utanför Lansjärv och att utarbeta en kunskapsöversikt om istider och landhöjning.

Planerna på att anlägga ett *underjordiskt berglaboratorium* vid Äspö stöddes fullt ut av Kärnbränslenämnden, som dock hade kritiska synpunkter på det sätt som SKB bedrev vissa förberedande undersökningsarbeten och krävde ytterligare redovisningar kring dessa (s 83–87).

#### 6.4.5 Säkerhetsanalys

Statens kärnbränslenämnd upprepade (s 8–9) sin rekommendation från år 1986 (se avsnitt 6.2.5) att SKB skulle låta utarbeta en lättillgänglig och klagörande skrift om metoder och arbetssätt inom funktions- och säkerhetsanalys och hänvisade till att önskemål i denna riktning även hade framförts i remissyttranden till nämnden från bland andra Statens kärnkraftinspektion, Samrådsnämnden för kärnavfallsfrågor och Lokala säkerhetsnämnden vid Forsmarks kärnkraftverk. Nämnden efterlyste vidare en skrift för att informera om scenarioarbetets metodik samt uttalade även farhågor för att SKB inte anslög tillräckligt stora resurser för att säkerhetsanalysen SKB 91 skulle kunna bli färdig vid planerad tidpunkt.

#### 6.4.6 Regeringens ställningstagande

Kärnbränslenämnden hade i sitt yttrande funnit att FoU-program 89 uppfyllde ”de krav som rimligen kan ställas utifrån bestämmelserna i kärntekniklagen”. Nämnden ”förutsatte” dock att vissa åtgärder skulle vidtas. Bland dessa var /6-6 s 2/ att regeringen borde uppmana reaktorinnehavarna att:

- utreda om slutförvaring kan genomföras stegvis med ”kontrollstationer” och inom ramen för denna utredning planera för byggande av en demonstrationsanläggning,
- ompröva sin tidplan så att val av förvaringssystem föregår val av plats och så att erfarenheter från det planerade berglaboratoriet kan tas till vara i högre utsträckning.

Regeringens gjorde i sitt beslut med anledning av FoU-program 89 /6-7/ bland annat följande uttalanden:

- Kärnbränslenämndens rekommendationer i fråga om bland annat säkerhetsanalysen SKB 91, konstruktionsstudier av kapslar och underjordiskt berglaboratorium ”bör beaktas”.
- I övrigt bör de uttalanden som Kärnbränslenämnden gjort ”vara vägledande” i det fortsatta forsknings- och utvecklingsarbetet.
- 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 i nästa FoU-program ... utreda möjligheterna att låta ett slutförvar i demonstrationsskala ingå som ett led i arbetet med att utforma ett slutförvar.”

## 7 Forskning, utveckling och demonstration åren 1992–1996

### 7.1 Säkerhetsanalysen SKB 91

#### 7.1.1 Förutsättningar och syfte

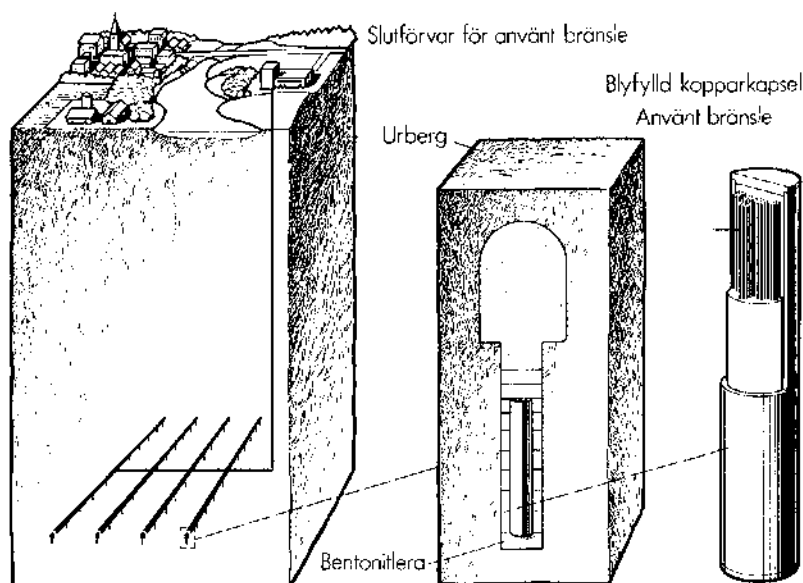
SKB hade i FoU-program 89 aviserat att en ”fullständig säkerhetsanalys”, kallad SKB 91, skulle genomföras under de närmast kommande åren. En utgångspunkt för detta arbete var att använt kärnbränsle skulle komma att deponeras i huvudsak på det sätt som beskrivits i KBS-3-rapporten. För att vid olika beräkningar kunna utnyttja verkliga data från berggrundsundersökningar arbetade man med data från ett område vid Finnsjön som hade undersökts tidigare. Det främsta syftet med SKB 91 var att utvärdera bergbarriärens betydelse för den långsiktiga säkerheten, det vill säga att analysera bergets förmåga att reducera och fördröja transporten av radionuklider som eventuellt läcker från förvaret.

Arbetet visade sig vara mer tidskrävande än som ursprungligen hade antagits. Rapporten var färdig i maj 1992 /7-1/.

Följande principer låg till grund för utformningen av det fiktiva slutförvaret vid Finnsjön (s 2):

- Slutförvaringen görs i kristallin svensk berggrund på ett djup som skyddar förvaret mot störningar från ytan (det vill säga 300–700 meter), i ett eller flera bergblock omgivna av svaghetszoner.
- Avfallet innesluts i kapslar som hanteras som separata enheter. Deras innehåll av bränsle, storlek och geometriska inplacering i förvaret väljs så att temperaturen på kapselns yta begränsas till väl under 100 °C.
- Avfallet omges av flera olika barriärer för att isolera det från omgivande grundvatten, och förhindra eller fördröja spridningen av radionuklider.
- Förvaret arrangeras så att det för sin säkra funktion inte är avhängigt av övervakning och kontroll under en lång framtid. Genom förvarets placering i berggrunden kommer det dock alltid att vara möjligt att komma åt avfallet så länge förvarets existens och lokalisering är känd.

Den beskrivning av förvarets utformning som gavs i SKB 91 illustrerades med hänvisning till figur 7-1 och innebar i huvudsak följande (s 3).



Figur 7-1. Principiell utformning av ett slutförvar för använt kärnbränsle i urberg (SKB 91).

Det använda bränslet placeras i kopparkapslar som därefter fylls med bly. Kapslarna deponeras en och en i hål som borras i botten av ett system av orter i berget. Utrymmet mellan kapslar och berg fylls med bentonitlera. Förvarsorterna antas vara regelbundet utlagda med 25 meters centrum-avstånd. Deponeringshålen har ett inbördes avstånd av 6 meter. Bränslemängden antas vara den mängd som erhålls från det svenska kärnkraftsprogrammet fram till år 2010. Vid förslutningen av förvaret återfylls samtliga hålrum. Orter och schakt förses med tätande pluggar för att undvika genomgående transportvägar för grundvattnet.

I den säkerhetsanalys som hade presenterats i KBS-3-rapporten hade man bortsett från positiva faktorer om de inte kunde kvantifieras. Sådana förenklings undveks i möjligaste mån i SKB 91. Syftet med denna var ”att i görligaste mån presentera en realistisk och inte alltför pessimistisk bild av förvarets funktion så att effekten av antagna variationer i platsens egenskaper inte göms bakom överdrivna säkerhetsmarginaler” (s 8). Samtidigt påpekades att underlaget för analysen kunde vara bristfälligt, eftersom analysen hade genomförts för en plats där data delvis hade tagits fram för andra syften än för att lokalisera ett slutförvar.

### 7.1.2 Slutsatser i SKB 91

De slutsatser som redovisades i rapporten (s 178) kan sammanfattas i sex punkter:

- Ett förvar anlagt djupt ner i svenskt urberg och med långtidsstabla tekniska barriärer uppfyller med god marginal de säkerhetskrav som myndigheterna har föreslagit.
- Säkerheten hos ett sådant förvar är endast i ringa utsträckning beroende av det omgivande bergets förmåga att fördröja och sorbera utläckande radioaktiva ämnen.
- Bergets funktion är i första hand att under lång tid ge stabla mekaniska och kemiska förhållanden så att de tekniska barriärernas långtidsfunktion inte äventyras.
- De säkerhetsmässiga krav som måste ställas på en plats där ett slutförvar ska byggas är sådana att de torde vara uppfyllda på de flesta platser som SKB undersökt i Sverige.
- Det finns ett antal faktorer som kan vara starkt styrande för hur berggrunden fungerar som extra säkerhetsbarriär; exempel på sådana faktorer är förekomst och läge av flacka strukturer och deras vattenföring.
- Den metodik som använts för säkerhetsanalysen SKB 91 kan utnyttjas för att anpassa förvaret på ett sådant sätt att bergets förmåga att bidra till förvarets säkerhet utnyttjas på bästa sätt. Detta fordrar dock tillgång till plats-specifika data och möjlighet att successivt komplettera dessa parallellt med fortlöpande säkerhetsanalyser.

### 7.1.3 Kärnkraftinspektionens synpunkter

Med hänvisning till att rapporten SKB 91 inte var kopplad till något tillståndsärende konstaterade kärnkraftinspektionen att en formell granskning av den inte var nödvändig. Inspektionen tillsatte emellertid en arbetsgrupp med uppgift att granska rapporten. Motiveringen var bland annat att närmare tio år hade gått sedan den integrerade säkerhetsanalysen i KBS-3-rapporten hade presenterats och att SKB baserade delar av resonemangen i Fud-program 92<sup>35</sup> på slutsatser dragna från SKB 91. En rapport från arbetsgruppens granskning färdigställdes i december 1992 /7-2/.

Arbetsgruppen, som betecknade SKB 91 som ”ett lovligt initiativ att söka sammanfatta och integrera den kunskap som ingår i en säkerhetsanalys”, inriktade sig på att identifiera svagheter, bristande logik och behov av vidareutveckling, medan mindre insatser hade lagts vid att lyfta fram analysens samtliga företräden (s 1). Kritiken gick ut på att de sammanfattande slutsatserna i SKB 91 inte var tillräckligt underbyggda.

<sup>35</sup> SKB:s Fud-program 92 förelåg i september 1992.

En av slutsatserna i SKB 91 var att förvaret ”med god marginal uppfyller av myndigheterna föreslagna säkerhetskrav”. Arbetsgruppen menade (s 40) att den slutsatsen var:

”en direkt konsekvens av de ansatta långtidsstabila egenskaperna för de tekniska barriärerna... Slutsatsen att bergets funktion i första hand är att ge stabila mekaniska och kemiska förhållanden förefaller därför vara något av ett cirkelbevis. Även om denna slutsats skulle komma att visa sig korrekt vill arbetsgruppen understryka att SKI i en kommande ansökan om lokalisering av ett slutförvar kommer att kräva en fullständig säkerhetsanalys som belyser kopplingen mellan osäkerheter i närområdes- och fjärrområdesbeskrivningen även för mindre sannolika scenarier än de som antagits för de tekniska barriärernas degradering i SKB 91.”

Vidare vände sig Kärnkraftinspektionens arbetsgrupp mot uttalandet i SKB 91 att analysen hade visat ”att de säkerhetsmässiga krav som måste ställas på en plats där ett slutförvar skall byggas är sådana att de torde vara uppfyllda på de flesta platser som SKB undersökt i Sverige” och ifrågasatte på vilket sätt detta visats i SKB 91. Arbetsgruppen menade att det inte var klarlagt hur olika platser skiljer sig åt när det gäller möjligheterna att anpassa förvarets utformning till de lokala geologiska och hydrologiska förutsättningarna. Den argumentation som lett fram till slutsatsen borde ha redovisats tydligare. Arbetsgruppen poängterade också (s 41):

”att man bör vara försiktig med att dra generella slutsatser om de säkerhetsmässiga krav som ställs på en plats eftersom SKB 91 inte är, eller gör anspråk på att vara, en fullständig säkerhetsanalys. Det är uppenbart att olika platsspecifika egenskaper och strukturer i det omgivande berget kan få avsevärt större betydelse med andra, mindre gynnsamma, antaganden om närområdets funktion. I en fullständig säkerhetsanalys måste även denna aspekt vägas in vid bedömningen av en plats lämplighet för slutförvaring”.

## 7.2 Fud-program 92 – allmän inriktning

I september 1992 presenterade SKB det tredje forskningsprogrammet enligt bestämmelserna i kärntekniklagen. Den fullständiga titeln var *Fud-program 92 Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling, demonstration och övriga åtgärder /7-3/*.

Som skäl för att övergå till beteckningen Fud-program angavs i förordet att SKB ville betona ”att verksamhetens tyngdpunkt förskjuts mot att demonstrera olika delar av valt förvarssystem i och med arbetena vid Äspölaboratoriet och de planer som redovisas i detta program”. I underlagsrapporter till programmet gavs mer detaljerade redovisningar av arbetet med lokalisering av ett djupförvar<sup>36</sup>, Äspölaboratoriet samt FoU-verksamheten åren 1993–1998. Fud-program 92 baserades vidare på studier av alternativa utföranden som utförts inom det så kallade Projekt AlternativStudier för Slutförvar (PASS), se vidare avsnitt 7.4. En slutrapport från det projektet /7-4/ färdigställdes ungefär samtidigt med Fud-program 92. Den rapporten fanns tillgänglig vid granskningen av programmet.

Som nämndes i avsnitt 6.4.6 hade granskningen av FoU-program 89 resulterat i uttalanden av såväl Kärnbränslenämnden som regeringen av innebörd att SKB borde utreda möjligheterna att låta ett förvar i demonstrationsskala ingå som ett led i arbetet med att utforma ett slutförvar. SKB hade i Fud-program 92 kommit till slutsatsen att en demonstrationsfas hade ”betydande fördelar” och utvecklade dessa närmare i programmet (s 12–13).

När det gällde allmänna riktlinjer för hanteringen av avfall från de svenska kärnkraftverken erinrade SKB om sina redovisningar i FoU-programmen 1986 och 1989 (se avsnitt 6.1.1 och ingressen till avsnitt 6.3). SKB tog därefter upp Kärnbränslenämndens invändningar vid dess granskning av 1989 års program jämte regeringens uttalanden i december 1990 om att undvika bindning till viss metod och att arbeta med kontrollstationer och möjligheter till justerande åtgärder (se avsnitt 6.4.6).

<sup>36</sup> SKB införde i detta program termen ”djupförvar”. Uttrycket var avsett att knyta an till den internationellt använda termen *deep geolocial disposal*, men kom i praktiken ofta att användas som en synonym till det i kärntekniklagen använda begreppet ”slutförvar”. Från och med år 2003 återgick SKB successivt till att använda begreppet ”slutförvar”.

SKB:s slutsats var bland annat att en bred politisk och allmän opinion torde vara överens om följande grundprinciper för kärnavfallshantering i Sverige (s 19–20):

- 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 kunskaper 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, alltmedan man arbetar konkret och målmedvetet mot att förverkliga en slutförvaring av allt kärnbränsle, så långt möjligt behålla handlingsfriheten med tanke på om alternativa och på något sätt bättre eller enklare lösningar kommer fram eller på grund av att man till exempel omvärderar nuvarande bedömning angående återutnyttjande (upparbetning) av en del av de klyvbara ämnena (uran, plutonium) i bränslet. De nordiska strålskyddsmyndigheterna har formulerat följande princip: *Bördan 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*. Detta krav finns också formulerat på internationell nivå och har allmänt accepterats som en grundprincip av alla länder med kärnkraft.

SKB menade att Fud-program 92 innebar att de synpunkter som framförts med avseende på värdet av bevarad handlingsfrihet hade beaktats.

Inom ramen för PASS-projektet hade överväganden skett i fråga om alternativa djupförvarssystem och olika kapselalternativ. Med utgångspunkt från dessa överväganden redovisade SKB i Fud-program 92 två principiellt viktiga slutsatser (s 47). Den första var att KBS-3 skulle behållas som referenssystem. Den andra var att en kopparklädd stål kapsel – kallad kompositkapsel – skulle väljas som referensutförning (se vidare avsnitt 7.3.2).

Den övergripande tidsplan för sitt arbete som SKB redovisade i Fud-program 92 innebar att ett slutförvar i demonstrationsskala skulle tas i bruk under slutet av det första decenniet av 2000-talet.

SKB framhöll samtidigt (s 115) att det fanns skäl att avdela vissa resurser åt uppföljning av alternativa metoder i fråga om både behandling och slutförvaring av använt kärnbränsle och hänvisade i detta sammanhang till att detta låg i linje med kärntekniklagens krav på ett allsidigt program.

När det gällde alternativa metoder för behandling av använt kärnbränsle aviserade SKB planer på att stödja vissa insatser vid svenska högskoleinstitutioner med inriktning på kompetensutveckling inom separation och transmutation. I fråga om alternativa slutförvaringsmetoder pekade SKB på konceptet djupa borrhål som ett område där pågående forskning i andra länder behövde följas.

Ett viktigt inslag i Fud-program 92 var en konkretisering av strategin för lokalisering av ett slutförvar. Dessa frågor har belysts i två andra rapporter /7-5, 7-6/. Ett ytterligare viktigt inslag var avsiktsförklaringen att uppföra en inkapslingsanläggning i direkt anslutning till mellanförvaret för använt kärnbränsle, Clab, vid Oskarshamns kärnkraftverk. Inkapslingsanläggningen borde – mot bakgrund av den övergripande tidplanen för ett slutförvar i demonstrationsskala – kunna tas i bruk ungefär år 2007.

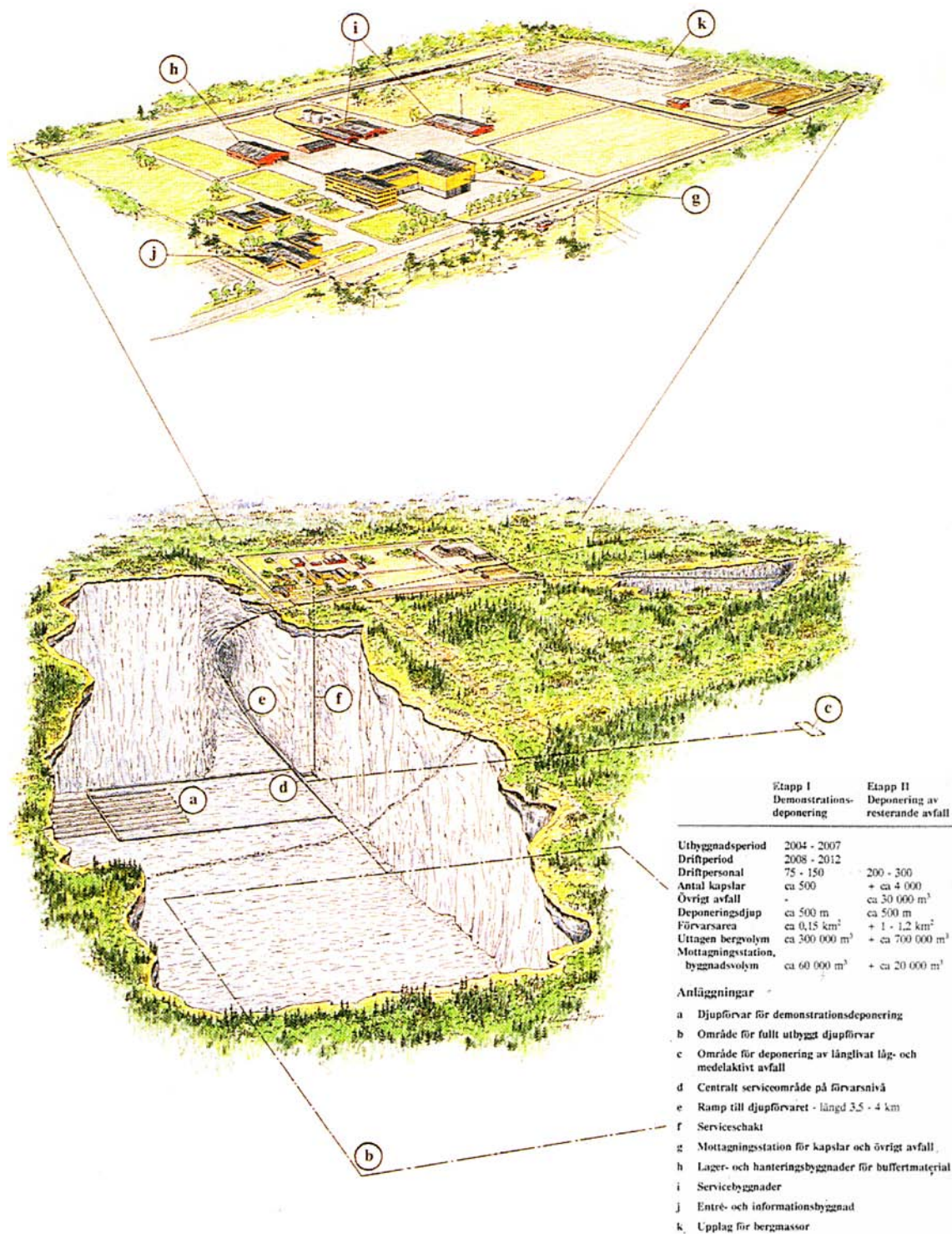
## 7.3 KBS-3 i Fud-program 92

### 7.3.1 Övergripande frågor

Ett så kallat djupförvar enligt KBS-3-metoden beskrevs i /7-3/ som bestående av ett antal parallella tunnlar på cirka 500 meters nivå, sammanbundna av en central ort för transporter och kommunikation (s 40). Deponeringstunnlarnas layout anpassas efter bergets förutsättningar. Från botten i deponeringstunnlarna borrar vertikala hål med plats för en kapsel. I borrhålen placeras kopplarkapslar innehållande det använda bränslet och omges av ett lager av kompakterad bentonitlera. Efter deponering återfylls tunneln med en blandning av sand och bentonit.

Detta djupförvar skulle enligt planerna utföras i två etapper. En första etapp avsåg en så kallad demonstrationsdeponering, som förutsattes äga rum under perioden 2008–2012 och omfatta cirka 10 procent av ett fullständigt förvar (s 61).

Beskrivningen kompletterades med en bild av ett tänkbart slutförvar enligt figur 7-2.



**Figur 7-2.** Bild av tänkbar utformning av ett djupförvar. För demonstrationsdeponeringen byggs cirka 10 % av ett fullständigt förvar ut såsom markeras i figuren (Fud-program 92).

### 7.3.2 Kapseln, inkapslingsfrågor

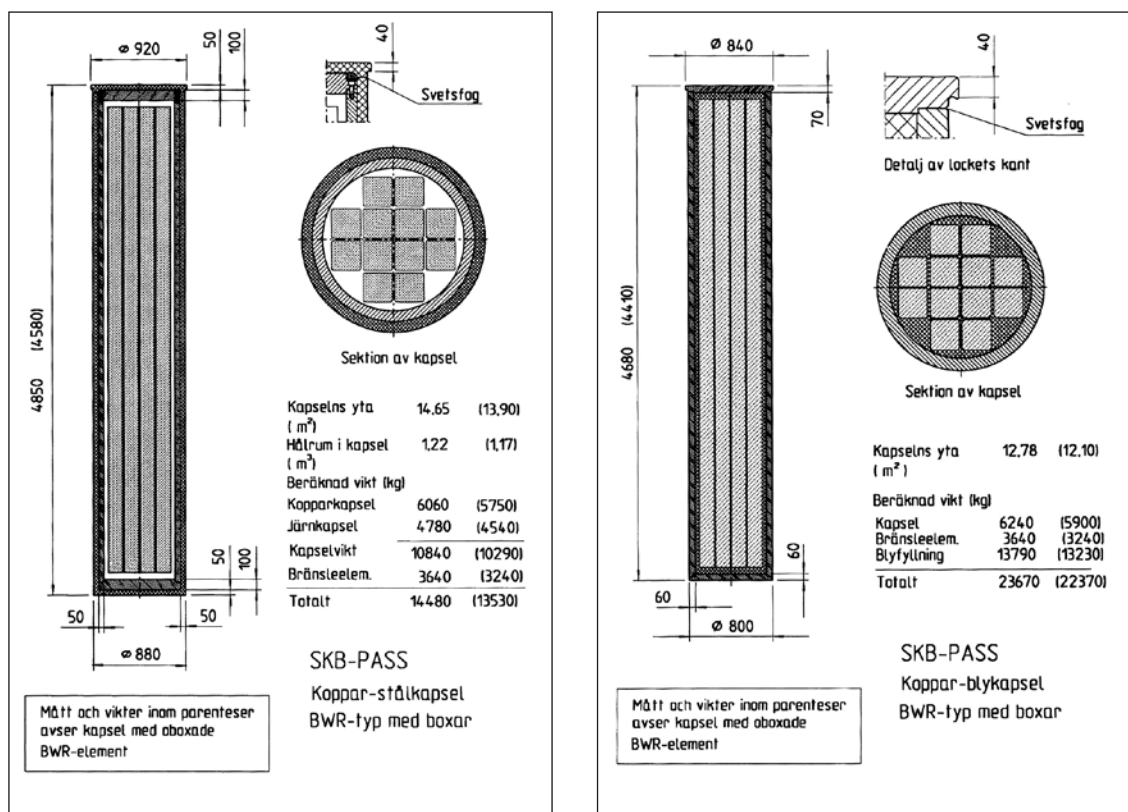
För vart och ett av de olika förvarssystem som analyserades inom ramen för PASS-projektet övervägdes också olika alternativa material för kapslarna. Fem olika ”kapselvarianter” som var avsedda för system av KBS-3-typ redovisades i /7-3 s 46/:

- Koppar fylld med bly.
- Koppar/stål – kompositkapsel.
- Koppar – het isostatpressad.
- Stål fylld med bly.
- Stål.

Slutsatsen var att kompositkapseln bedömdes som bäst, före det blyfyllda alternativet. De främsta orsakerna var att kompositkapseln ansågs fördelaktigare avseende mekanisk integritet och att en ”kall” inkapsling skulle innebära en enklare processteknik. En ”kall” inkapsling i en ren stålkapsel skulle visserligen ha fördelar från såväl konstruktionssynpunkt som kostnadssynpunkt. Men den avgörande nackdelen var emellertid ”att stålkapselns korrosionslivslängd är kort”.

De båda huvudalternativen illustrerades enligt figur 7-3.

Den kompositkapsel som i Fud-program 92 utgjorde huvudalternativ hade en ytterdiameter av 0,88 meter. Den hade ett yttre korrosionsskydd av fem centimeter koppar över en fem centimeters inre stålstruktur, som var dimensionerad för att motstå de tryck som kan bli aktuella på deponeringsdjupet. Väggtjockleken var sålunda tio centimeter. Varje kapsel skulle rymma tolv BWR-element alternativt fyra PWR-element. En fylld kapsel skulle få en kvarstående tomvolym på cirka 1 m<sup>3</sup>. Tomvolymen skulle kunna reduceras till 0,35 m<sup>3</sup> genom efterfyllning med till exempel kvartssand, glaspärlor eller blyhagel. Genom att fylla kapseln med torr inert gas skulle man kunna eliminera risker för att korrosiva ämnen skulle kunna bildas inuti kapseln genom radiolys.



Figur 7-3. Kompositkapsel (till vänster) och blyfylld kapsel (till höger) (Fud-program 92).



Skälen för valet av *kapselmaterial* sammanfattades i Fud-program 92 enligt i huvudsak följande (s 81): Sedan år 1976 har ett flertal kapselmaterial studerats, såväl keramiska som metalliska. Flera av dessa har visat sig ha en mycket god korrosionsbeständighet, till exempel koppar, aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), glaskeramik och titan. För de keramiska materialen identifierades tidigt fördröjt brott – orsakat av långsam spricktillväxt från initiala defekter – som en möjlig och svårförutsägbar brottmekanism. Mot bakgrund av ett antal experiment drogs slutsatsen att det var vanskligt att med säkerhet fastställa en minsta livslängd för en keramisk kapsel. Även för titan finns risker för fördröjt brott, även om sannolikheten är låg. Koppar är emellertid ett material ”som ger kapseln en mycket lång livslängd ur korrosionssynpunkt samtidigt som det har tillfredsställande mekaniska egenskaper”.

För *tillverkning av kapselns kopparkhölje* redovisades två huvudalternativ (s 53). Det ena var varmpressning av antingen ett kopparrör eller en kapsel. Det andra var valsning och formning av en kopparplåt med längsgående svets. Den senare metoden bedömdes tillåta en bättre kontroll av kornstorleken i kopparen, något som hade betydelse för kontroll med ultraljud av svetsen vid förslutningen.

När det gällde *svetsning av koppar* sågs elektronstrålesvetsning som det mest intressanta alternativet, med friktionssvetsning som ett andrahandsalternativ. SKB avsåg att under det närmaste året prova elektronstrålesvetsning. Det slutliga valet av svetsmetod bedömdes kunna ske om två år.

I detta sammanhang behandlades också studier av olika *material som kunde användas för utfyllnad i kapseln* samt frågor om *metodik och teknik för kontroll av tillverkningen* av kapslar. I fråga om *koppars korrosionsbeständighet* redovisade SKB i Fud-program 92 följande bedömning (s 54):

”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 förhållanden åter etablerats i förvaret, kommer kapseln att utsättas för mycket liten korrosion. Det använda bränslet kommer att vara helt isolerat från grundvattnet i miljontals år. Viss korrosion kan förekomma under den tidsperiod, då kapseln ännu har en oxiderande omgivning. Under den perioden är spänningskorrosion 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 kapseln.”

I Fud-program 92 presenterades också en integrerad *tidsplan för utvecklingsarbetet beträffande kapseltillverkning och planeringen av den inkapslingsanläggning* som förutsattes bli förlagd i nära anslutning till mellanlagret Clab (jfr avsnitt 7.2). Denna integrerade tidsplan syftade till att ansökningar om tillstånd att uppföra inkapslingsanläggningen skulle finnas kring årsskiftet 1996–1997 (s 57).

*Mål* för de vidare studierna av kapselmaterial under perioden 1993–1998 angavs (s 82) vara dels att till år 1996 välja kopparkvalitet med hänsyn till krypegenskaper, dels vidareutveckla kunskaper och dataunderlag för korrosion på koppar och stål.

### 7.3.3 Buffert och återfyllning

Frågor om buffert och återfyllning behandlades översiktligt i Fud-program 92. Buffertens främsta uppgift var att ”begränsa grundvattentransporter i kapselns absoluta närhet” (s 83). Den skulle dessutom skapa en lämplig mekanisk och kemisk miljö runt kapseln. Buffertmaterialet förutsattes vara bentonitlera med beteckningen MX-80 (Wyoming-bentonit), men andra kvaliteter hade också undersökts och befunnits ha liknande, goda egenskaper.

Mål för perioden 1993–1998 var att under år 1995 redovisa:

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

Till cirka år 2000 skulle dessutom tekniken för tillverkning av kompakterade bentonitblock färdigutvecklas för användning vid demonstrationsdeponering. Detta innebar bland annat:

- 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 lämpade för återfyllning i orternas takregioner.

Av figur 7-4 kan utläsas att buffertens tjocklek förutsattes vara 36 centimeter, det vill säga 1 centimeter mer än enligt KBS-3-rapporten. Detta hängde samman med att deponeringshålens diameter hade ökat från 150 till 160 centimeter samtidigt som kapslarnas diameter ökat från 80 till 88 centimeter.

### 7.3.4 Förslutning

Frågor om förslutning uppmärksammades i den underlagsrapport till Fud-program 92 som redovisade det detaljerade FoU-programmet för perioden 1993–1998 /7-7/. Här nämndes att SKB inom ramen för Stripa-projektet (jfr avsnitt 7.3.5) hade gjort försök med att försluta såväl tunnlar och schakt som borrhål med pluggar av betong och bentonit. Följande bedömning gjordes (s 148):

”Pluggarna med de provade utformningarna tätade effektivt av kanaler för vattentransport inne i tunneln (eller schaktet). I närberget strax utanför pluggen kvarstår emellertid eventuella axiella kanaler i den störda zonen. Dessa bedöms också behöva tätas, vilket kan ske genom att slitsar fräses ut i bergväggen så att pluggen får en större diameter än tunneln. Injekteringsskärmar kan därtill läggas runt pluggen. Utformning och effekter har emellertid ej analyserats i detalj.

Också borrhål behöver tätas med pluggar. Metod och utformning har utvecklats i Stripaprojektet ... Kompletterande fältförsök i långa hål kan genomföras i Äspölaboratoriet.”

### 7.3.5 Berget på förvarsdjup

Frågor som hänger samman med bergets egenskaper behandlades i Fud-program 92 /7-3/ i ett avsnitt om Geovetenskap (s 83–87), i ett kapitel om arbetet med att bygga Äspölaboratoriet och om den planerade verksamheten där (s 93–107) samt i ett kapitel med en samlad redovisning av det så kallade Stripaprojektet åren 1980–1992 (s 109–113). Stora delar av den pågående och planerade geovetenskapliga verksamheten syftade till resultat som var generellt tillämpliga vid analyser av slutförvar i berggrunden och inte specifika för just KBS-3-metoden.

Inledningsvis framhölls att berggrunden har ett antal centrala egenskaper som utnyttjas för förvarets funktion och säkerhet. Dessa egenskaper kan vara mer eller mindre kopplade till varandra genom fysikaliska eller kemiska processer. Egenskaperna är:

- mekaniskt skydd,
- kemiskt stabil miljö,
- långsam och stabil grundvattenomsättning.

*Målen* för SKB:s geovetenskapliga verksamhet under perioden 1993–1998 var i huvudsak (s 85–86):

- att inför lokaliseringen vidareutveckla kunskaper om hydrogeologiska och bergmekaniska förhållanden för att bättre kvantifiera osäkerheter och marginaler i bergets förmåga att isolera avfallet,
- att vidareutveckla modeller för beräkning av grundvattenrörelser 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 se till att lämpliga mätmetoder och utrustningar finns tillgängliga för högkvalitativ insamling av sådana mätdata som behövs för att karakterisera den eller de bergvolymerna som kommer att undersökas inför anläggandet av SKB:s djupförvar för använt kärnbränsle.

### **Grundvattenrörelser i berget**

Studiet av grundvattenrörelser i berget avsågs under perioden 1993–1998 ha i huvudsak följande inriktning (s 86):

- Vidareutveckling av metoder för att kunna beskriva enskilda sprickors geometri och deras hydrauliska egenskaper.
- Utredning av det konceptuella underlaget vid numerisk modellering med inriktning på till exempel flödesmönstrets beroende av sprickmineraliseringar, bergspänningar och tidigare permafrostdjup.
- Utredning av riskerna för kortvariga tryckförändringar i grundvattenmagasin på förvarsnivå på grund av jordbävningar.
- Fortsatt utredning av de hydrogeologiska förutsättningarna, randvillkoren, för grundvattenflöde och transport vid ett djupförvar i ett regionalt perspektiv. Därvid beaktas dagens klimatsituation liksom förhållanden under förväntade framtida glaciationer och deglaciationer.

### **Bergets stabilitet**

Under perioden 1993–1998 skulle utredningsinsatser ske inom i huvudsak följande områden (s 86):

- Sammanställning av uppgifter om de huvudsakliga lastriktningar som påverkat den Baltiska urbergsskölden under dess historiskt sett sprödetektoniska skede.
- Utredning – i regionala perspektiv – av gångbergarternas riktningar, tidigare sedimentindikationer, sprickmineraliseringar etc.
- Sammanställning av olika nordiska studier om riskerna för jordskalv.
- Fortsatt kunskapsuppbyggnad om de olika metoder som används för åldersbestämningar av senaste rörelser i sprickzoner.

### **Äspölaboratoriet**

När Fud-program 92 färdigställdes pågick arbetet med att bygga det underjordiska berglaboratorium som sedan några år hade benämnts Äspölaboratoriet. Tunneldrivningen hade vid denna tidpunkt nått drygt 200 meter under markytan.

I Fud-program 92 upprepades de tre huvudmål för FoU-verksamheten i berglaboratoriet som formulerats i 1989 års program (se avsnitt 6.2.4). Med utgångspunkt från ambitionen att vid mitten av 1990-talet kunna bestämma plats för djupförvaret i demonstrationsskala var avsikten att man med verksamheten i berglaboratoriet skulle kunna (s 93):

- *Verifiera förundersökningsmetoder* – demonstrera att undersökningar på markytan och i borrhål ger tillräckliga data om väsentliga säkerhetsrelaterade egenskaper hos berget på förvarsnivå.
- *Fastställa detaljundersökningsmetodik* – vidareutveckla och verifiera de metoder och den teknik som behövs vid karakterisering av berget i de detaljerade platsundersökningarna.
- *Pröva modeller för grundvattenströmning och transport av lösta ämnen* – vidareutveckla och i stor skala på förvarsdjup pröva metoder och modeller för bestämning av grundvattenflöde och radionuklidmigration.
- *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.
- *Pröva viktiga delar i förvarssystemet* – i full skala pröva, undersöka och demonstrera olika komponenter som har betydelse för långtidssäkerheten hos ett djupförvarssystem.

Fud-program 92 innehöll vidare (s 94–107) redogörelser för vilka resultat som dittills hade uppnåtts och för den verksamhet som planerades äga rum, framför allt med inriktning på att pröva modeller för grundvattenströmning och radionuklidmigration.

### **Stripaprojektet<sup>37</sup>**

Fud-program 92 innehöll även (s 109–113) en sammanfattande redogörelse för resultaten från det internationella Stripaprojektet. Detta hade två syften, nämligen att:

- utveckla teknik för att undersöka djupt belägen kristallin berggrund med potentiella möjligheter för ett geologiskt slutförvar för högaktivt avfall,
- studera speciella tekniska lösningar för att under långa tidsperioder höja säkerheten i ett geologiskt förvar.

Aktiviteterna var koncentrerade till Stripa gruva i Bergslagen och avslutades i mitten av år 1991. De viktigaste resultaten sammanfattades i programmet (s 112–113) och återges i detta sammanhang därför att de bidragit till metodutvecklingen kring KBS-3-projektet.

- 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 grundvattencirkulation och grundvattnets ursprung.
- Det finns en god överensstämmelse mellan fältmätningar och prediktering av grundvattnets flöde samt dess transport av lösta ämnen, där predikteringen baseras på användning av moderna sofistikerade 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 egenskaper som påverkar livslängden hos bentonit- och cementbaserade tätningsmaterial under förväntade förvaringsförhållanden.

I Fud-program 92 gjordes bedömningen att resultaten utgjorde vetenskapliga framsteg som gav ”en bas för framtida systematisk lösning av de många frågeställningar som finns kring geologiskt förvar av radioaktivt avfall” (s 113). Resultaten ”har betydande tillämplighet på avfallsprogrammet i Sverige och många andra länder från användning av verktyg och teknik för platsundersökning till att klargöra koncept för karakterisering av olika geologiska enheter och förutsägelse av grundvattenrörelser inom dessa”.

### **7.3.6 Deponeringsteknik**

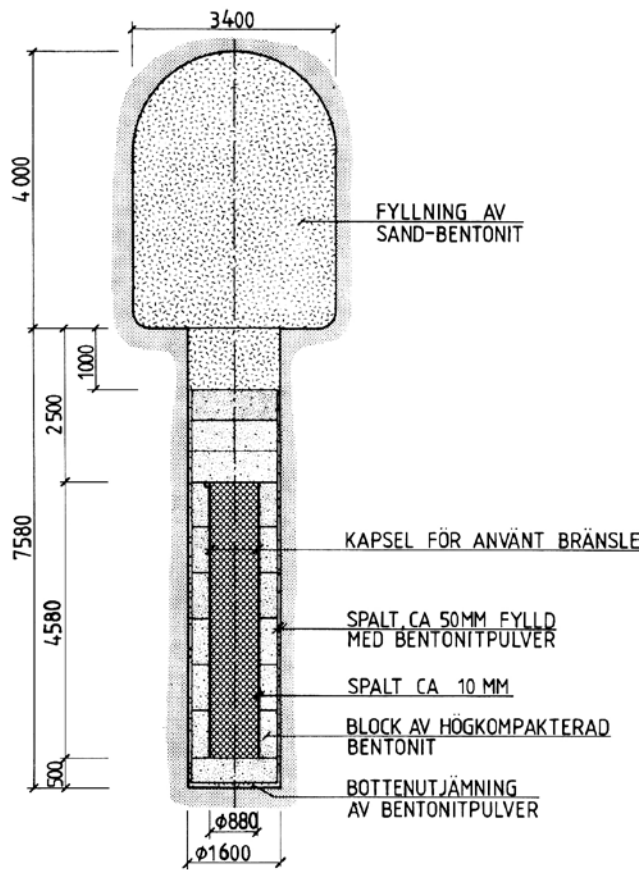
I Fud-program 92 illustrerades utformningen av kapselpositionerna i ett förvar enligt figur 7-4.

Enligt en beskrivning av tekniken för deponering av kapslarna (s 61) skulle kapslarna transporteras ner under jord antingen via rampen i strålskärmda behållare eller med hiss i ett schakt. Båda alternativen hölls öppna. På deponeringsnivån skulle kapslarna köras fram till deponeringsortens mynning (omlastning till fordon under jord i schaktalternativet) och flyttas över till ett specialkonstruerat deponeringsfordon. Detta skulle köra fram till deponeringshålet och där resa upp kapseln till vertikalt läge och sänka ner den i hålet. Den undre delen av bentonitbufferten förutsattes redan ha placerats i hålet. När kapseln kommit på plats skulle övriga bentonitblock läggas på plats med samma deponeringsfordon som hanterade kapseln.

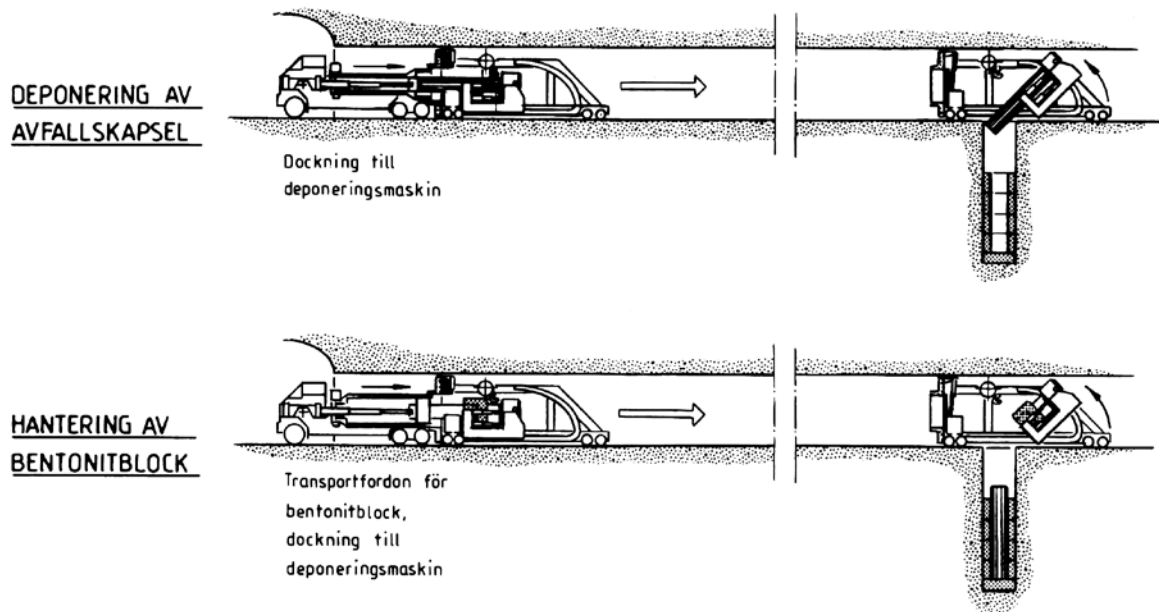
Utrustningen skulle bestå av beprövade komponenter som kan konstrueras, byggas och utprovas enligt vedertagen ingenjörspraxis. Tekniken illustrerades enligt figur 7-5.

I detta sammanhang togs också frågan om teknik för återtagning upp. Enligt Fud-program 92 (s 61) var det nödvändigt att såväl under som efter deponering kunna ta tillbaka kapslar. Missöden under deponeringen kunde inte uteslutas och felaktigheter måste kunna rättas till. Kravet på återtagbarhet blev därför ett av flera kriterier vid konstruktion och utprovning av deponeringsmaskinen. Och efter demonstrationsdeponering ”är det meningen att det skall vara möjligt att avbryta verksamheten och besluta om att deponerade kapslar skall återtas”. Den tekniska lösningen kunde vara att under jord använda samma maskin som vid deponeringen, alternativt särskild utrustning. Dessa frågor skulle bearbetas i samband med utvecklingen av deponeringsmaskinerna.

<sup>37</sup> En redogörelse för det internationella samarbetet kring Stripa-projektet finns i avsnitt 10.4.



Figur 7-4. Utformning av kapselpositioner (Fud-program 92).



Figur 7-5. Teknik för deponering (Fud-program 92).

### 7.3.7 Säkerhetsanalys

I ett kort avsnitt av Fud-program 92 (s 75–78) refererade SKB till den nyligen genomförda säkerhetsanalysen SKB 91 och de slutsatser som redovisats där (se avsnitt 7.1). Ett program för den säkerhetsanalytiska verksamheten under perioden 1993–1998 presenterades i sju punkter (s 77–78):

- Kompletterande funktionsstudier görs av närzonens (eventuellt även fjärrzonens) 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, kan genomföras på en första kandidatplats:
  - En översiktlig regional hydrogeologisk modellering som stöd för den regionala karakteriseringen av förvarsområdet.
  - Modellering inom ramen för det lokaliseringsskedet av bland annat 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 analysmodellen.
  - 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 cirka 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 ska 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 eventuella 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 Äspölaboratoriet och förundersökningsskedet planläggs så att de kan vara avslutade under 1998.
- Fortsatt uppföljning och medverkan i den internationella utvecklingen inom området.

## 7.4 PASS-rapporten

Av avsnitt 7.2 har framgått att SKB:s ställningstagande i Fud-program 92 att behålla KBS-3 som referenssystem hade föregåtts av överväganden inom ramen för PASS-projektet. Detta hade startats inom SKB under år 1990 mot bakgrund bland annat vad Statens kärnbränslenämnd hade anfört med anledning av den tidsplanering som SKB hade presenterat i Fud-program 89 (jfr avsnitt 6.4.1). SKB:s bedömning var att studier av alternativa metoder för slutförvaring behövde prioriteras för att få fram ett underlag för ett val av system under år 1992.

Under perioden 1990–1992 studerades tre alternativ till KBS-3-systemet närmare och jämfördes med utgångspunkt från teknik, säkerhet och ekonomi /7–4 s 1/. Dessa alternativ var:

- Horisontell deponering i parallella tunnlar av samma kapslar som i KBS-3. Förvaringssystemet gavs arbetsnamnet Medellånga tunnlar (engelska *Medium Long Holes, MLH*).
- Deponering av relativt stora kapslar i långa horisontella tunnlar, så kallade Långa tunnlar (engelska *Very Long Holes, VLH*).
- Förvaring av det använda bränslet på stort djup, från 2 till 4 kilometer under markytan, så kallade Djupa borrhål (engelska *Very Deep Holes, VDH*).

I en första fas studerades alternativa kapselmaterial för såväl KBS-3-systemet som för de tre övriga slutförvarssystemen. De högst rankade kapselalternativen för vart och ett av de fyra systemen kombinerades med respektive system, varefter en slutlig jämförelse gjordes mellan dessa.

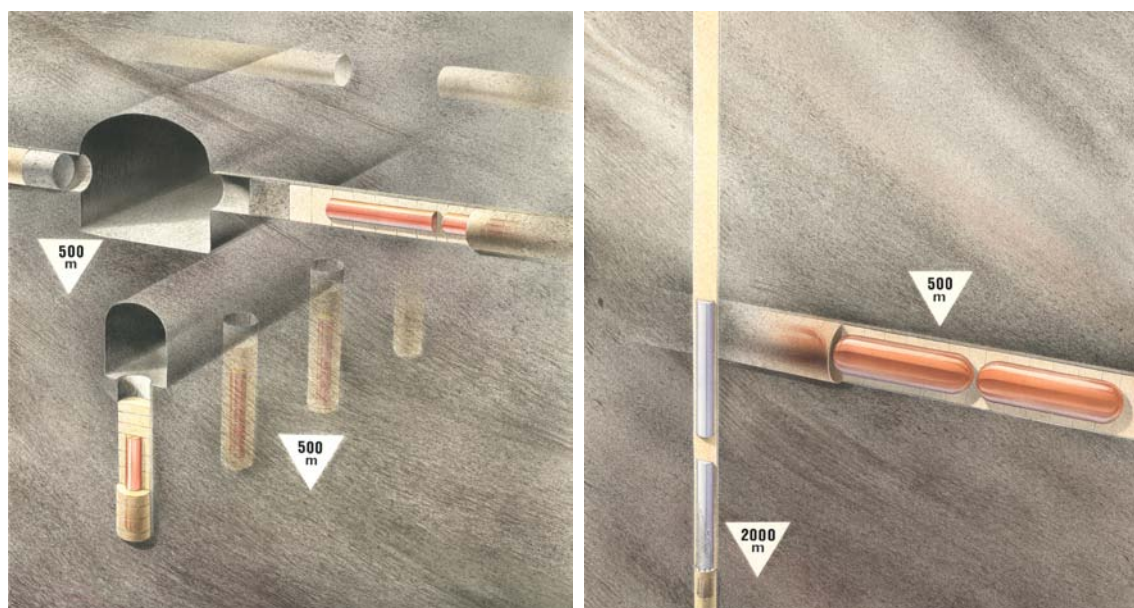
Av tabell 7-1 framgår vilka kapselalternativ som kombinerades med vilka slutförvarssystem (det slutligt valda kapselalternativet för jämförelsen är i tabellen markerat med *kursiv* stil).

**Tabell 7-1. Studerade slutförvarssystem och kapselalternativ (PASS-rapporten 1992).**

Slutförvarssystem	Kapselalternativ
KBS-3: Kapslarna placeras en och en i vertikalt borrarade hål i botten på en deponeringstunnel. Kapslarna omges av tätpackad bentonit.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Koppar/stålkapsel (kompositkapsel)</i></li> <li>• Koppar/blykapsel (fylld med bly)</li> <li>• Kopparkapsel (Het Isostatisk Pressning, HIP)</li> <li>• Stål/blykapsel (fylld med bly)</li> <li>• Stålkapsel</li> </ul>
Medellånga tunnlar (MLH): Kapslarna placeras i centrum av horisontella, borrarade tunnlar och omges av tätpackad bentonit.	<i>Samma kapselalternativ som i KBS-3-alternativet</i>
Långa tunnlar (VLH): Kapslarna placeras i centrum av långa, fullborrade tunnlar och omges av tätpackad bentonit.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Koppar/stålkapsel (kompositutformning med halvsfäriska eller plana gavlar)</i></li> <li>• Stålkapsel (med halvsfäriska eller plana gavlar)</li> <li>• Kopparkapsel (med halvsfäriska gavlar)</li> </ul> <p>Samtliga tre alternativ är självbärande.</p>
Djupa borrhål (VDH): Kapslarna staplas på varandra i djupa hål (2–4 km) omgivna av en bentonitbuffert.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Titan/betongkapsel (fylld med betong)</i></li> <li>• Kopparkapsel (HIP)</li> <li>• Titankapsel (självbärande)</li> </ul>

De fyra alternativa slutförvarssystemen jämte studerade kapselalternativ illustrerades enligt figur 7-6 och figur 7-7 /7-4 s 3–5/.

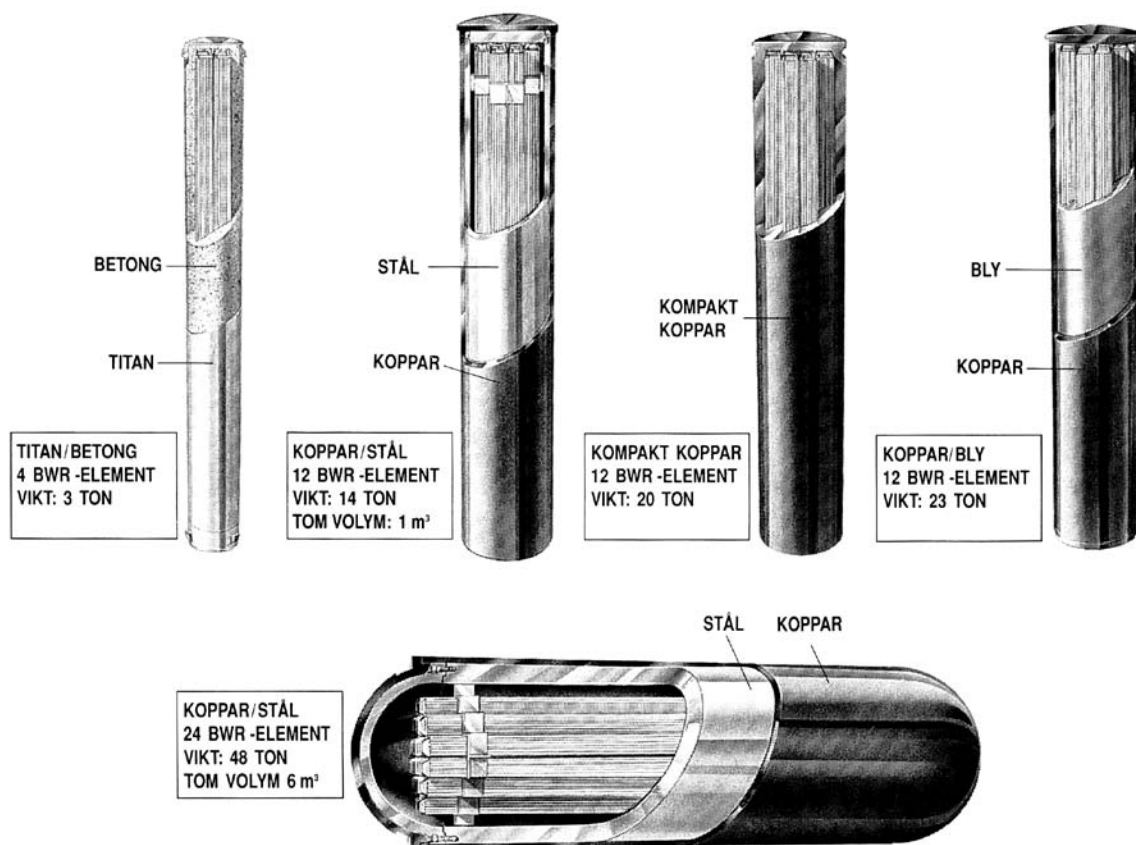
Som antytts i det föregående (avsnitt 7.2) drog SKB två viktiga slutsatser av arbetet inom PASS-projektet. Den ena var sålunda att KBS-3 skulle behållas som referenssystem och den andra att den så kallade kompositkapseln – en kopparklädd stålkapsel – skulle väljas som referenskapsel /7-4 s 49/.



**KBS-3 och Medellånga tunnlar**

**Djupa hål och Långa tunnlar**

**Figur 7-6.** Inom PASS-projektet studerade alternativa utformningar av slutförvar (PASS-rapporten 1992).



*Figur 7-7. Inom PASS-projektet studerade kapselkonstruktioner för de olika alternativa utformningarna av slutförvar (PASS-rapporten 1992).*

## 7.5 Granskningen av Fud-program 92 och PASS-rapporten

Våren 1992 beslutades om ändringar i den statliga organisationen på kärnavfallsområdet. Ändringarna innebar bland annat att Statens kärnbränslenämnd lades ned och att verksamheten fördes över till Statens kärnkraftinspektion. Det blev sålunda Kärnkraftinspektionen som i fortsättningen skulle svara för granskningen av de i kärntekniklagen föreskrivna forsknings- och utvecklingsprogrammen och därefter överlämna resultatet till regeringen.

Till Kärnbränslenämnden hade varit knutet ett vetenskapligt råd, känt under benämningen KASAM. Som framgått av kapitel 5 omvandlades rådet i samband med Kärnbränslenämndens nedläggning till en vetenskaplig kommitté, knuten till dåvarande Miljö- och naturresursdepartementet, och med benämningen KASAM – Statens råd för kärnavfallsfrågor. En av huvuduppgifterna för KASAM blev – och är fortfarande – att till regeringen redovisa sin ”självständiga bedömning” av SKB:s forsknings- och utvecklingsprogram.

Den nya ordningen innebar alltså att regeringen, som underlag för sitt ställningstagande till forsknings- och utvecklingsprogrammen på kärnavfallsområdet, skulle ha tillgång till resultatet av två av varandra oberoende granskningar. Vidare gavs regeringen, genom en ändring i kärntekniklagen, uttryckliga möjligheter att ställa villkor för det fortsatta forsknings- och utvecklingsarbetet.

Kärnkraftinspektionens granskning förutsattes vara baserad på bland annat ett omfattande remissförfarande, där yttrandet från Statens strålskyddsinstitut skulle väga särskilt tungt. KASAM hade vid sin granskning att utgå från de kompetenser inom skilda områden som var företrädare bland dess ledamöter. Det låg i sakens natur att KASAM:s granskning inte kunde vara lika detaljerad som den som utfördes av Kärnkraftinspektionen.



### 7.5.1 Allmän inriktning av programmet samt övergripande frågor kring KBS-3

I sitt yttrande till regeringen framhöll Statens kärnkraftinspektion /7-8/ att programmet innebar att ett antal tekniska och ekonomiska bindningar skulle komma att ske under de närmaste tre till fem åren. Huvudfrågan blir uppenbarligen, skrev inspektionen, om dessa bindningar sker mot bakgrund av en på ett tillfredsställande sätt genomarbetad och presenterad överblick över de olika säkerhets- och strålskyddsproblemen.

SKB hade grundat sina principiella ställningstaganden på PASS-rapporten. Kärnkraftinspektionen påpekade att den rapporten inte hade varit föremål för någon särskild och ingående remissgranskning av myndigheter och oberoende experter. Inspektionen återgav kritik som förts fram mot rapporten, bl a att den grupp som utarbetat rapporten ”haft påtagliga anknytningar till arbetet på systemlösningar av typ KBS-3” och att ”underlaget med avseende på de alternativa metodernas egenskaper inte varit tillräckligt genomarbetat” (s 3). Inspektionen godtog dock ”att de fortsatta Fud-insatserna huvudsakligen inriktas mot en metod av typ KBS-3” och motiverade sin inställning med argument som kan sammanfattas i följande punkter:

- Det finns ingen metod som förefaller väsentligt bättre från säkerhetssynpunkt och som kan förverkligas i Sverige utan att avsevärt utsträcka tidsramen jämfört med SKB:s planer.
- Ett KBS-3-liknande förvar bör kunna utformas så att det kan erbjuda en rimlig avvägning mellan övergivbarhet, återtagbarhet och oåtkomlighet för det klyvbara materialet.
- SKB bör emellertid fortsätta att bevaka den internationella utvecklingen i fråga om alternativa metoder att ta hand om använt kärnbränsle och komplettera analyserna i PASS-rapporten. Denna bevakning bör ”även kunna innefatta vissa kompletterande studier av djupa borrhål”.
- Upprätthållandet av handlingsfrihet i fråga om val av alternativ bör dock inte innebära att tidpunkten för slutförvaring ”skjuts ytterligare många decennier in i framtiden” i förhållande till SKB:s planer, bland annat ”med hänsyn till med tiden växande osäkerheter om det framtida samhällets stabilitet och betalningsförmåga”.

För att få ett bättre underlag för att använda KBS-3-principen som huvudinriktning för det fortsatta utvecklingsarbetet borde, ansåg Kärnkraftinspektionen, nu en ny säkerhetsanalys av hela slutförvarssystemet tas fram (se vidare avsnitt 7.5.7). Inspektionen menade vidare att det var en god handlingsstrategi att bygga ut djupförvaret i etapper och att man successivt skulle tillgodogöra sig erfarenheter och kunna ompröva valda detaljlösningar.

Inspektionens sammanfattande bedömning var (s 6) att Fud-program 92 uppfyllde grundkraven i kärntekniklagen avseende programmets målinriktning, bredd och djup. Emellertid fanns det brister som gällde ”framför allt ... att redovisa överblickande analyser av hög kvalitet inför beslut som innebär bindningar”. Med hänvisning till denna kritik föreslog Kärnkraftinspektionen att regeringen skulle ange ett antal villkor inför SKB:s fortsatta forsknings- och utvecklingsarbete.

Även KASAM hade i sitt yttrande /7-9/ en rad kritiska kommentarer till den allmänna inriktningen av Fud-program 92 (s 1–7). SKB:s inriktning på att i en första etapp anlägga ett djupförvar i demonstrationsskala och att då utgå från KBS-3-metoden tillstyrktes visserligen. Men samtidigt underströk KASAM att SKB inte borde binda sig för någon specifik hanterings- och förvaringsmetod inför den fortsatta hanteringen av den resterande bränslemängden. Vidare borde SKB i nästa Fud-program redovisa sin bedömning av kunskapsläget beträffande andra alternativ som skulle kunna komma i fråga för svenskt kärnbränsle. De tidsplaner som SKB hade angett i Fud-program 92 ansåg KASAM vara orealistiska. KASAM:s slutsats var att SKB borde presentera en reviderad tidsplan för granskning av myndigheterna.

### 7.5.2 Kapsel, inkapslingsfrågor

Både Statens kärnkraftinspektion och KASAM gav i sina yttranden stort utrymme åt frågor om kapselmaterial och inkapslingsteknik. De kommenterade dock inte den redovisning av skälen för valet av koppar som inkapslingsmaterial som SKB hade presenterat i Fud-program 92.

Kärnkraftinspektionen /7-8/ menade sammanfattningsvis (s 8–9) att de konstruktionstekniska förutsättningarna för tillverkning av kapslarna behövde kartläggas bättre och pekade på frågor kring det kemiska och mekaniska samspelet mellan koppar och stål samt eventuellt fyllnadsmaterial i kapseln. Inspektionen anförde vidare att det förelåg ”en viss sårbarhet” i programmet genom att SKB dels inte hade identifierat något reservalternativ till koppar som kapselmateriell, dels inte tillräckligt ingående hade belyst utformningen av kapseln. Som exempel på de sistnämnda frågeställningarna angav Kärnkraftinspektionen bland annat frågor om eventuell kringgjutning runt bränslet med legeringar innehållande bly samt smältning av kringgjutningsmaterial i direkt samband med inkapslingen.

De två metoder för tillverkning av kapslar som SKB hade pekat på i Fud-program 92, nämligen extrusion och valsning/fogning, kunde enligt Kärnkraftinspektionen inte utan vidare tillämpas för industriell produktion av kapslar. Det var exempelvis oklart om det i världen fanns någon anläggning som kunde tillverka fullstora kapslar med dessa två metoder. Inspektionen saknade också en analys av möjligheterna att tillämpa Het Isostatisk Pressning (HIP) för tillverkning av kapseln. Vidare pekade Kärnkraftinspektionen på att frågor om förslutningsteknik (elektronstrålesvetsning eller friktionssvetsning), liksom om kontrollteknik (ultraljudsprovning eller röntgentomografi) behövde analyseras ytterligare.

Den redovisning av inkapslingsanläggningens utformning som fanns i Fud-program 92 ansåg Kärnkraftinspektionen var ”mycket summarisk”, men bedömde samtidigt att SKB hade ”en realistisk bild” av vad som behöver göras för att projektera anläggningen (s 9). Inspektionen underströk samtidigt att ett ställningstagande till en inkapslingsanläggning innebär att de huvudsakliga konstruktionsförutsättningarna för kapseln läggs fast och därmed också vissa av de krav som behöver ställas på en slutförvarsplats. Utformningen av inkapslingsanläggningen kan knappast tillstyrkas, skrev inspektionen, utan en ingående redovisning av konstruktionsförutsättningarna för kapslarna och de kvalitetskrav på serietillverkning av kapslar som ska gälla utifrån en säkerhetsanalys av hela slutförvarssystemet.

KASAM /7-9/ identifierade ett antal fördelar och nackdelar mellan den av SKB nu förordade stål-kopparkapseln och den kapselkonstruktion som förutsatts i KBS-3-rapporten 1983 (s 39–40). I sammanfattning fann KASAM (s 4) att SKB:s stål-kopparkapsel gav såväl potentiella fördelar som nackdelar jämfört med den blyfyllda kopparkapseln enligt KBS-3. KASAM bedömde dock att fördelarna övervägde nackdelarna. Men ytterligare studier behövdes, menade KASAM och tillade att om den nya utformningen inte skulle visa sig tillfredsställande måste det finnas möjlighet att återgå till den kapselkonstruktion som förutsatts i KBS-3-rapporten.

### **7.5.3 Buffert och återfyllning**

SKB:s program i fråga om buffert och återfyllning tillstyrktes i allt väsentligt av Kärnkraftinspektionen /7-8/. Inspektionen pekade (s 16) dock på behovet av insatser på utveckling av teknik för tillverkning och inplacering av buffertmaterialen.

Också KASAM /7-9/ var positivt inställd till SKB:s planerade insatser, men framhöll att SKB också borde utreda vilka konsekvenserna blir om bentoniten genom så kallad illitiseringsgradvis övergår till att bli en ”styv” lera (s 72).

### **7.5.4 Förslutning**

Varken Kärnkraftinspektionen eller KASAM kommenterade frågor om förslutning av förvaret (jfr avsnitt 7.3.4).

### **7.5.5 Berget på förvarsdjup**

I fråga om *geovetenskapligt utvecklingsarbete* menade Kärnkraftinspektionen /7-8/ att SKB:s beskrivning av geovetenskapens roll i säkerhetsanalysen, kunskapsläge och inriktning av fortsatta insatser var av hög kvalitet. Dock saknades fortfarande ”den integration som är nödvändig inför den slutliga analysen” (s 16). Inspektionen hade inga erinringar mot SKB:s planer på fortsatta undersökningar om grundvattenrörelser i berget och om bergets stabilitet, men pekade på ytterligare frågeställningar som behövde belysas.

KASAM /7-9/ angav i ett antal punkter vad som SKB ”i första hand” borde ägna sin geovetenskapliga forskning åt, nämligen (s 73–74):

- vidareutveckling av metoder att bestämma mängdflödet av grundvatten genom ett potentiellt försvarsutrymme,
- bestämningar av halter av aggressiva komponenter i grundvatten från olika djup på olika platser, dels nära kusten, dels inne i landet,
- kartläggning av grundvattenrörelser i regional skala för att ta reda på under vilka förutsättningar grundvattnet *på försvarsdjup* är ettdera stagnant eller styrs av den lokala topografin (det hittills vanligaste antagandet) eller deltar i en storskalig grundvattentransport från inlandet mot havet,
- fortsatta studier av de påverkningar – tektoniska, istidsrelaterade eller orsakade av förvaret – som kan väsentligt ändra sprickmönstret och därmed grundvattenrörelserna i berggrunden,
- att med resultaten av ovanstående studier utveckla och föreslå geologiska kriterier för kandidatplatserna för djupförvaret.

De pågående anläggningsarbetena för *Äspölaboratoriet* uppmärksammades av både Statens kärnkraftinspektion och KASAM. Kärnkraftinspektionen /7-8/ menade att de forskningsbehov som finns rent allmänt motiverade verksamheterna vid Äspö, men framförde en rad synpunkter på uppsatta mål och hur olika studier och experiment borde genomföras (s 22–24). Vidare ansåg inspektionen att tidsschemat för olika studier och experiment var alltför snävt tilltaget med hänsyn till den nödvändiga kopplingen mellan Äspölaboratoriets driftsskede och djupförvarsprojektet. Inspektionen efterlyste vidare en prioritering mellan olika planerade försök.

Även KASAM /7-9/ framförde synpunkter på hur olika studier och experiment borde genomföras (s 60–65). Enligt KASAM borde SKB prioritera ”sådana undersökningar och försök som ger information och data till i tiden närliggande behov inom bl a områdena säkerhetsanalys, platsundersökningsmetodik och –metoder samt konstruktion av djupförvaret” (s 65).

### 7.5.6 Deponeringsteknik

Varken Kärnkraftinspektionen eller KASAM kommenterade i sina yttranden närmare vad SKB hade anfört rörande frågor kring deponeringsteknik (jfr avsnitt 7.3.6).

### 7.5.7 Säkerhetsanalys

Statens kärnkraftinspektion /7-8/ anknöt i sitt yttrande över Fud-program 92 till den kritik som inspektionen redan hade framfört vid sin granskning av säkerhetsanalysen SKB 91 (se avsnitt 7.1.3). Att nu gå till platsval i huvudsak grundat på slutsatserna i den rapporten och samtidigt påbörja projektering och detaljkonstruktion av en inkapslingsstation skulle enligt SKI:s mening innebära bindningar som skulle medföra ett betydande tekniskt och ekonomiskt risktagande inför kommande tillståndsprövningar. Kritiken utmynnade i ett förslag att regeringen borde ställa upp bland annat följande villkor för SKB:s fortsatta arbete (s 6):

”Innan SKB bestämmer konstruktionsförutsättningar och teknik för kapseln samt innan SKB inlämnar ansökan att påbörja detaljundersökningar av plats för djupförvar skall en fullständig säkerhetsanalys inlämnas till SKI. Säkerhetsanalysen bör särskilt belysa betydelsen av olika osäkerheter vad gäller slutförvarets långtidsegenskaper, hur dessa bör inverka på teknisk detaljutformning och platsval (dvs konstruktionsförutsättningarna), samt vilka slutsatser som kan dras vad gäller inriktning av fortsatta FoU-insatser. Före 1993 års utgång skall SKB inge en plan för detta arbete till SKI. I planen skall anges syften samt avgränsningar och andra förutsättningar för analysen. Av planen skall bl a framgå hur analysen skall kunna utnyttja platsspecifika data från kommande platsundersökningar liksom de scenarier som bör innefattas i en fullständig säkerhetsanalys. Arbetet skall redovisas regelbundet och på ett sätt som möjliggör oberoende granskning och uppföljning.”

Även KASAM /7-9/ behandlade utförligt frågor om säkerhetsanalys (s 46–59) och instämde med Kärnkraftinspektionens kritik. Rådet sammanfattande sin kritik enligt bland annat följande (s 5–6):

”SKB har i sin säkerhetsanalys SKB 91 utelämnat växelverkan mellan grundvattnet och de tekniska barriärerna. Analysen måste kompletteras i detta avseende och också behandla förloppen när fel uppkommer på de tekniska barriärerna. En sålunda kompletterad säkerhetsanalys bör sedan användas för att precisera, i form av acceptansgränser, de krav som måste tillgodoses av berggrunden på en kandidatplats för att den skall kunna utses till detaljundersökningsplats och – i nästa seg – motsvarande krav för att detaljundersökningsplatsen skall kunna godtas för demonstrationsdeponeringen.

Det är viktigt att säkerhetsanalysen utformas så att man får en totalbild av säkerhetsfrågorna såväl i hanteringsskedet som på lång sikt. Denna helhetsredovisning saknas i SKB:s program. En helhetssyn kräver att stråldoser till individer i olika faser av verksamheten kvantifieras, vägs mot varandra och summeras. På kort sikt vet man att personal bestrålas, i långtidsperspektivet beräknar man doser till ”tänkta” personer. Här finns ett behov av total optimering mellan risker som inte är enkelt jämförbara med hjälp av kunskapsunderlag som inte är likvärdiga.”

### 7.5.8 Regeringens ställningstagande

I sitt beslut med anledning av granskningen fann regeringen – i likhet med Kärnkraftinspektionen – att Fud-program 92 uppfyllde de anspråk som ställs i kärntekniklagen /7-10/.

Mot bakgrund av de synpunkter som framkommit vid Kärnkraftinspektionens och KASAM:s granskningar ställde emellertid regeringen upp ett antal ”villkor för det fortsatta forsknings- och utvecklingsverksamheten”. Två av dessa villkor var att SKB skulle komplettera Fud-program 92 genom att redovisa:

- ett program för beskrivning av förutsättningarna för konstruktion av inkapslingsstation och slutförvar,
- ett program för de säkerhetsanalyser som SKB avser att upprätta.

Denna redovisning – jämte ytterligare två<sup>38</sup> – skulle lämnas till regeringen i mitten av år 1994.

Av motiveringen för regeringsbeslutet framgick bland annat att regeringen fann att SKB:s inriktning på ett första steg med demonstrationsdeponering ”har betydande fördelar även om slutförvarets långtidsegenskaper inte kan demonstreras”. Regeringen ville ”särskilt framhålla att även om KBS-3-metoden skulle vara ett rimligt val för demonstrationsdeponering bör SKB inte binda sig för någon specifik hanterings- och förvarsmetod innan en samlad och ingående analys av tillhörande säkerhets- och strålskyddsfrågor redovisats”.

Av motiveringen framgick vidare att regeringen delade Statens kärnkraftinspektionens uppfattning att beslut som rör slutförvarssystemet samt tekniska konstruktionsförutsättningar för detta ska grundas på säkerhetsanalyser. Med hänvisning till Kärnkraftinspektionen och KASAM fann regeringen ”att de metoder för säkerhetsanalyser som SKB använder bör ytterligare utvecklas, särskilt vad gäller hur olika osäkerheter skall beskrivas och vägas samman. En strategi för granskning av modellernas giltighet (validering) utgående från de krav säkerhetsanalysen ställer bör utvecklas av SKB”.

Regeringen uttalade vidare att Kärnkraftinspektionens och KASAM:s ”rekommendationer bör beaktas i fråga om studier av kapselkonstruktion, fortsatt arbete vid Äspölaboratoriet samt övrig stödjande forskning inom områdena använt kärnbränsle, buffertmaterial och återfyllning, geologi, hydrologi och bergmekanik.”

---

<sup>38</sup> Övriga begärda redovisningar gällde

- de kriterier som kan bilda underlag för val av platser lämpliga för slutförvar,
- en analys av på vilket sätt olika åtgärder och beslut påverkar senare beslut inom slutförvarsprogrammet.

Ett ytterligare villkor var att SKB i nästa forsknings- och utvecklingsprogram skulle redovisa sin ”bedömning av kunskapsläget beträffande de alternativ som kan komma ifråga för slutförvaring av använt kärnbränsle och långlivat kärnavfall i Sverige”.

## 7.6 KBS-3 i kompletteringen av Fud-program 92

SKB färdigställde i augusti 1994 den begärda kompletterande redovisningen /7-11/. I kompletteringen ingick bland annat ett ”Program för beskrivning av förutsättningarna för konstruktion” av inkapslingsstation och slutförvar (s 45–67) samt ett ”Program för säkerhetsanalyser” (s 69–83).

Det förstnämnda programmet innehöll redovisningar av planerat arbete kring ett antal teknikutvecklingsfrågor med kopplingar till de båda anläggningarna. Närmast (avsnitt 7.6.1 och 7.6.2) återges de delar av dessa redovisningar som bedöms ha störst intresse för föreliggande framställning. Därefter redovisas vad SKB anförde i programmet för säkerhetsanalys (avsnitt 7.6.3).

### 7.6.1 Teknikutvecklingsfrågor med koppling till inkapslingsanläggning

SKB:s arbete var inriktat på att kapseln skulle utföras med en inre del av stål (för att ge mekanisk hållfasthet) och en yttre del av koppar (för att ge korrosionsskydd). Alternativet med en kopparkapsel där tomrummet runt bränslet fylls med bly behövs dock som ett reservalternativ (s 57).

#### **Kapselutformning**

Arbetet med utformning av kapseln planerades ske i följande steg (s 61–63):

- Sammanställning av funktionskrav: Kapseln ska utformas så att den:
  - förblir tät under erforderlig tid i djupförvaret,
  - kan tillverkas och förslutas på ett tillförlitligt sätt,
  - kan hanteras på ett säkert sätt vid tillverkning, transport och deponering,
  - ger begränsad värmebelastning i djupförvaret,
  - har erforderlig marginal mot kriticitet i alla skeden.
- Materialval och tester av koppar och stålkomponenter. Arbetet kan indelas i följande huvuddelar:
  - kravspecifikation för kopparmaterialet,
  - tester av materialegenskaper för olika kopparkvalitéer,
  - studier av spänningskorrosion i koppar,
  - kravspecifikation av stålmaterialet,
  - eventuella verifierande tester av stålmaterial.
- Dimensionering. Arbetet består av följande huvuddelar:
  - bestämning av antal bränsleelement som kapseln ska innehålla med hänsyn till maximal värmebelastning på bentoniten och förväntad resteffekt i bränslet vid deponeringstillfället,
  - bestämning av inre tvärsnittsarea med hänsyn till förekommande bränsleelement,
  - dimensionering av väggjocklekar för stål och koppar med hänsyn till funktionskraven.
- Innehåll i kapseln. Arbetet omfattar:
  - utformning av erforderliga insatser eller styrningar för bränsleelementen i kapseln,
  - utredning av risken för kriticitet i kapseln och eventuellt planering för fyllning av tomrummet med lämpligt material.
- Detaljutformning av lock. Arbetet innebär att:
  - stållocket detaljutformas med hänsyn till de krav som ställs för lyft och svetsning av detta lock samt eventuella ytterligare krav från inkapslingsprocessen,
  - kopparlocket detaljutformas med hänsyn till de krav som ställs för lyft av locket och eventuellt hela kapseln samt för genomförande av förslutningssvets och kontroll av denna.
- Tillverknings- och kontrollmetoder. Arbetet innebär att:
  - sammanställning görs över lämpliga metoder för tillverkning och kontroll av kapslar,
  - metodprov genomförs för utvärdering av kvalitet och kostnader,
  - förutsättningar för serieproduktion av kapslar utreds.
- Prototyp tillverkning: Tillverkning av prototypkapslar sker i flera etapper. Dessa kapslar ska användas för provning av förslutningstekniken samt senare vid den inaktiva provdriften av inkapslingsanläggningen.
- Reservalternativ: Den tidigare studerade utformningen av kopparkapseln med fyllning av smält bly runt bränsleelementen utgör reservalternativ till kopparkapseln med inre stålbehållare.

## **Förslutningsteknik**

Arbetet med att utveckla en förslutningsteknik planerades också ske stegvis enligt följande (s 63–64):

- Utveckling av elektronstrålesvetssteknik: Arbeta med utveckling av elektronstrålesvetssteknik bedömdes ha ”kommit så långt att utrustningen ger önskat resultat”. Nu återstod provsvetsningar av lock på kopparcylindrar.
- Utveckling av kontrollmetoder: Metoder för kontroller dels av tillverkningen av metallbehållarna, dels efter förslutningen av kapseln ska bestämmas och vid behov utvecklas. Detta ska ske samtidigt med fastställande av metoder för tillverkning och förslutning av kapseln.
- Provsvetsning av lock på kopparcylindrar. En första serie av sådan provsvetsning hade genomförts under år 1994 i en särskilt byggd svetskammare. Proven hade gjorts på kopparcylindrar med full diameter och godstjocklek, men i halv längd jämfört med en kapsel.
- Svetsning av prototypkapslar. När de första kopparcylindrarna provtillverkats i full längd planerades provsvetsningar av kopparlock på dessa. Kapslarna ska då också ha en inre stålbehållare.
- Prototypanläggning. En prototypanläggning för prov av svetsutrustningen och svetskammaren uppförs för att senare byggas in i inkapslingsanläggningen.

### **7.6.2 Teknikutvecklingsfrågor med koppling till slutförvarsanläggning**

Mot bakgrund av översiktliga redogörelser för de undersökningar som behövde ske som underlag för lokaliseringen av ett förvar, för hur förvarets layout var tänkt ovan och under jord samt för hur förvaret skulle byggas ut i olika etapper (s 47–55) redovisades (s 55–56) ett antal teknikområden där SKB såg behovet av fortsatt utvecklingsarbete som särskilt framträdande. Äspölaboratoriet utgjorde en betydelsefull resurs i detta teknikutvecklingsarbete.

Följande teknikområden redovisades med i huvudsak följande motiveringar:

#### ***Byggnadsmetoder för tunnlar och berggrum inklusive borrhning av deponeringshål***

Det ställs särskilda krav på att kunna beskriva den inverkan på berget som byggnation av schakt, ramp, tunnlar och deponeringshål har. Problematiken ligger delvis i att förstå sambanden mellan brytningsmetod och påverkan, delvis i att utveckla och anpassa utrustning för mekaniserad brytning av tunnlar, för schaktborrning, borrhning av deponeringshål etc. Praktiska erfarenheter fås från pågående arbete med fullortsborrning med tunnelborrningsmaskin (TBM) i Äspö, från genomförda försök med borrhning av deponeringshål i Finland och från planerade borrhningar av deponeringshål i Äspö. Utbredningen av sprickor efter borrhning/sprängning, den så kallade störda zonen (EDZ), undersöks i Äspö.

#### ***Injekteringsteknik för tätning av vatteninflöde***

SKB såg behov att utveckla teknik för dels tätning av grova och vattenförande zoner på förvarsdjup, dels tätning av fina sprickor för begränsning av vattenflödet under deponering.

#### ***Pressning av bentonitblock***

Forsknings- och utvecklingsarbetet kring bentonit syftade till att senast år 1996 redovisa en sammanställning av materialegenskaper av betydelse för dess användning som buffertmaterial. Med detta som underlag skulle data för bufferten kunna fastställas, pressningsförsök planeras och genomföras, fullskaleförsök i Äspö kunna planeras och utföras samt utveckling av lämplig maskinutrustning kunna genomföras. Prov med aktuell maskinutrustning planerades ske först på plats vid djupförvaret.

#### ***Deponeringsförfarandet – möjligheter till återtag***

Återstående arbeten i fråga om deponeringsförfarandet var att konstruera och utveckla utrustning som kan genomföra inplacering av bentonitblock och kapsel på föreskrivet sätt. För att i praktiken möjliggöra återtag av deponerade kapslar behövde man utveckla olika maskinutrustningar för att gräva ur återfyllningsmaterial, för att frilägga kapslarna, för att greppa kapslarna och för att ta kapslarna från

deponeringshåll till en strålskyddad transportbehållare. Utvecklingsarbete beträffande utrustning för återtagning förutsattes ske parallellt med utveckling av utrustning för deponeringsförfarandet.

### **Återfyllning och förslutning**

Primärt studerades återfyllning och förslutning av deponeringstunnlarna. Här behövdes studier av olika material (blandningar av sand och bentonit i olika kvaliteter, krossat berg, morän), samt av två principer för återfyllning, nämligen blockpressning alternativt så kallad in situ-kompaktering. När det gällde pluggar för förslutning och tätning mot vattentransport räknade SKB med att ha tillgång till resultat från försök dels utomlands, dels från Äspö. Vidare bedömde SKB att långtidsförsök skulle kunna göras under hela deponeringsskedet i det planerade djupförvaret.

### **7.6.3 Program för säkerhetsanalys**

Programmet för säkerhetsanalys sammanfattades av SKB enligt i huvudsak följande (s xvi–xvii).

Säkerhets- och strålskyddsfrågor avses blir redovisade vid samtliga viktigare beslutstillfällen. Det kommer att ske:

- dels i form av (preliminära respektive slutliga) säkerhetsrapporter för verksamheten och processerna
  - i inkapslingsanläggningen,
  - vid transporter,
  - i djupförvaret,
- dels i form av säkerhetsrapporter över integrerade analyser av djupförvarets långsiktiga funktion efter deponering och förslutning.

Utvärdering av driftsäkerheten vid avfallsanläggningar kan, skrev SKB, ”i allt väsentligt genomföras med den metodik som används för andra kärntekniska anläggningar”, varför den inte diskuterades vidare i detta sammanhang.

Programmet för kommande långsiktiga säkerhetsanalyser skulle under den närmaste sexårsperioden syfta till att ta fram:

- underlag för dimensionering och utformning av förvaret med hänsyn till säkerheten,
- lämplig struktur för hur säkerhetsanalysen skall redovisas,
- en säkerhetsrapport över förvarets långsiktiga funktion baserad på allmänna data och preliminära platsdata inför byggande av inkapslingsanläggningen samt en säkerhetsrapport (PSR) för inkapslingsanläggningen,
- en säkerhetsrapport över förvarets långsiktiga funktion baserad på data från platsundersökningar inför detaljundersökningar för djupförvaret samt en översiktlig säkerhetsrapport (PSR) för driften av slutförvaret.

Det fortsatta analysarbetet för därefter kommande säkerhetsrapporter skulle genomföras på principiellt samma sätt som för de nämnda men med successivt mer detaljerat dataunderlag.

Oavsett om analyserna skulle utgöra funktionsanalyser av barriärer eller delsystem, eller om de skulle utgöra säkerhetsanalyser av hela förvarssystemets totala funktion, skulle arbetet med dem genomföras enligt följande:

- Definition av analysens syfte.
- Definition av givna förutsättningar för analysen.
- Klarläggande av de förhållanden för vilka systemet skall analyseras (scenarier).
- Klarläggande av de processer som är väsentliga för systemets funktion.
- Definition av beräkningsmodeller för att kvantifiera systemets funktion.
- Kvantifiering av systemets funktion och väsentliga funktionsförändringar.
- Diskussion av osäkerheter och av analysens giltighet och tillräcklighet – validitet – med avseende på sitt syfte.

## 7.7 Granskningen av kompletteringen av Fud-program 92

På liknande sätt som vid granskningen av Fud-program 92 företog Statens kärnkraftinspektion ett omfattande remissförfarande som en av utgångspunkterna för sin egen granskning av det kompletterade programmet och överlämnade därefter resultatet av granskningen till regeringen. Även KASAM granskade kompletteringen och redovisade sina synpunkter till regeringen. I detta avsnitt redovisas enbart uttalanden av Kärnkraftinspektionen och KASAM som är hänförliga till de delar av SKB:s komplettering som redovisats i avsnitt 7.6.

### 7.7.1 Teknikutvecklingsfrågor med koppling till inkapslingsanläggning

SKB:s redovisning av planer för utveckling av inkapslingsteknik gav enligt Statens kärnkraftinspektion /7–12/ en god beskrivning av hur själva anläggningen skulle byggas och drivas. Redovisningen beträffande konstruktion, tillverkning och förslutning av kapseln samt beträffande den utrustning som skulle ingå i inkapslingsanläggningen ansåg emellertid inspektionen vara ofullständig (s 5) och bedömde att ett avsevärt utvecklingsarbete återstod innan kapslar med lämpliga och kvalitetssäkrade egenskaper kunde framställas i serieproduktion. Kärnkraftinspektionen ansåg att SKB senast i FoU-program 1995 skulle redovisa planer för:

- Utformning av funktionskrav. Kraven ska i första hand vara baserade på kapselns roll i slutförvarssystemet utvärderat från funktions- och säkerhetsanalyser. Kraven på funktion i övrigt avser främst inkapsling, hantering och transport.
- Utveckling av teknik i industriell skala för tillverkning och förslutning av kapslar samt för provning och materialkontroll.
- Kvalificering av kapslar för slutförvaring. Utformning av utförandekrav. Analys och redovisning av samband mellan funktions- och utförandekrav.

I planerna borde ingå en redovisning av hittills uppnådda resultat samt vilken ytterligare kunskap som SKB såg behov av. SKB borde också överväga vilka och hur stora insatser det är meningsfyllt att utföra beträffande projektering av inkapslingsanläggningen innan utvecklingsarbetet med teknik för tillverkning och förslutning av kapseln hunnit längre.

Även KASAM /7–13/ riktade kritik mot SKB:s program för beskrivning av förutsättningarna för konstruktion av inkapslingsanläggningen och efterlyste konkretiseringar (s 6–7).

### 7.7.2 Teknikutvecklingsfrågor med koppling till slutförvarsanläggning

Kärnkraftinspektionen /7–12/ stödde i stort SKB:s planer för bergbyggnads- och återfyllningsteknik (s 5). KASAM /7–13/ menade att SKB:s redovisning av de teknikutvecklingsfrågor som hade koppling till slutförvarsanläggningen var tillfredsställande ”i dagens läge” (s 1).

### 7.7.3 Program för säkerhetsanalys

Statens kärnkraftinspektion /7–12/ bedömde SKB:s planer på att genomföra säkerhetsanalyser vid besluts- och ansökningstillfällen som ”ändamålsenliga” (s 6). Kärnkraftinspektionen påpekade samtidigt att säkerhetsanalyser också kommer att behöva utnyttjas när SKB tar fram ett program för platsundersökningar och utvecklar konstruktionsförutsättningar för kapseln. Vidare menade Kärnkraftinspektionen att SKB behöver utveckla ett program för analys av säkerheten vid drift av inkapslingsanläggningen och slutförvaret och önskade att en plan för detta arbete skulle redovisas i Fud-program 95. I övrigt fann inspektionen att ”SKB:s planerade uppläggning av arbetet med säkerhetsanalys utgör en god utgångspunkt för en dialog mellan olika parter om vad säkerhetsanalyser bör innehålla och hur de principiellt bör läggas upp”.

KASAM /7–13/ betecknade det redovisade programmet för säkerhetsanalyser som ”ett framsteg” (s 1). Vid nästa redovisningstillfälle önskade KASAM en redovisning av hur SKB avsåg använda funktions- och säkerhetsanalyser för att stegvis utveckla tekniska krav för barriärer, delsystem och komponenter.



#### 7.7.4 Regeringens ställningstagande

I maj 1995 tog regeringen ställning till de kompletteringar som SKB gjort av Fud-program 92 /7-14/. Det formella *beslutet* omfattade tre skilda frågeställningar, av vilka endast den ena har relevans för denna framställning<sup>39</sup>. SKB ålades sålunda att i sitt fortsatta forsknings- och utvecklingsprogram ”redovisa sina planer och program för framtagning av tekniska krav på barriärer, delsystem och komponenter grundade på funktions- och säkerhetsanalyser av slutförvarssystemet”.

Under rubriken *Skälen för regeringens beslut* angavs bland annat att regeringen hade funnit att SKB hade kompletterat Fud-program 92 i enlighet med regeringsbeslutet i december 1993. Regeringen redovisade även ”sin bedömning” av ett antal frågor. I fråga om bindning till en viss slutförvaringsmetod samt om säkerhetsanalys kan följande citeras ur beslutet:

”I beslutet den 16 december 1993 framhöll regeringen särskilt att SKB inte bör binda sig för någon specifik hanterings- och förvaringsmetod innan en samlad och ingående analys av tillhörande säkerhets- och strålskyddsfrågor redovisats. Det är regeringens uppfattning att tekniska krav på enskilda barriärer och komponenter i slutförvarssystemet inte bör fastställas innan systemets totala säkerhet på ett tillfredsställande sätt redovisats.

...

Regeringen konstaterar, med ledning av den redovisning som SKB nu har lämnat, att besluten enligt 4 kap. naturresurslagen<sup>40</sup> och 5 § kärntekniklagen om uppförande av den planerade inkapslingsanläggningen kan komma att innebära stora bindningar med avseende på fortsatta hanterings- och förvaringsmetoder. Dessa beslut bör därför såvitt kan bedömas inte fattas innan en säkerhetsanalys av slutförvarssystemet i sin helhet redovisats och den planerade slutförvaringsmetoden kunnat visas lämplig. Regeringen finner att en säkerhetsanalys av slutförvarssystemet bör kunna redovisas successivt till SKI men att en samlad analys bör ingå som underlag i eventuella ansökningar om tillstånd enligt 4 kap. naturresurslagen och kärntekniklagen att uppföra den planerade inkapslingsanläggningen.”

#### 7.8 KBS-3 i Fud-program 95

Det fjärde forskningsprogrammet enligt bestämmelserna i kärntekniklagen, Fud-program 95, presenterades av SKB i september 1995 /7-15/. Tonvikten lades på att genomföra de projekt som krävdes för att inleda deponering av inkapslat bränsle enligt de planer som hade presenterats i Fud-program 92 och i kompletteringen till detta.

De grundprinciper för kärnavfallshantering i Sverige som identifierats i Fud-program 92 (se avsnitt 7.2) upprepades i det nu aktuella programmet (s 1). SKB menade – liksom i 1992 års program – att de synpunkter som framförts med avseende på bevarande av handlingsfrihet hade beaktats. Det mål som gällt för SKB sedan år 1992 sammanfattades nu i följande punkter (s xv–xvi):

- Målet är att, med uppfyllande av alla miljö- och säkerhetskrav, år 2008 påbörja deponering i ett djupförvar av en mindre del (cirka 800 ton) av det använda kärnbränslet.
- Inriktningen är inkapsling i kopparkapslar. Djupförvaringen avses genomförd enligt det s k KBS-3-konceptet eller närliggande optimerat utförande på cirka 500 meters djup i urberg.
- En inkapslingsanläggning utförs som en tillbyggnad av Clab.
- Ett djupförvar lokaliseras till en lämplig plats i Sverige som dels ger möjlighet att uppfylla högt ställda säkerhetskrav, dels ger möjlighet att utföra erforderlig verksamhet i samförstånd med berörd kommun och berörd befolkning.
- Säkerhets- och strålskyddsfrågorna kommer att penetreras grundligt och redovisas innan beslut om väsentligt bindande åtgärder tas.

<sup>39</sup> De två övriga gällde dels frågor om hur studier inom ramen för lokaliseringsförfarandet skulle redovisas, dels att Kärnkraftinspektionen gavs möjligheter att betala ut ersättningar ur den så kallade Kärnavfallsfonden för vissa kostnader till kommuner där SKB bedrev förstudier.

<sup>40</sup> Naturresurslagen upphävdes i samband med att Miljöbalken trädde i kraft år 1999.

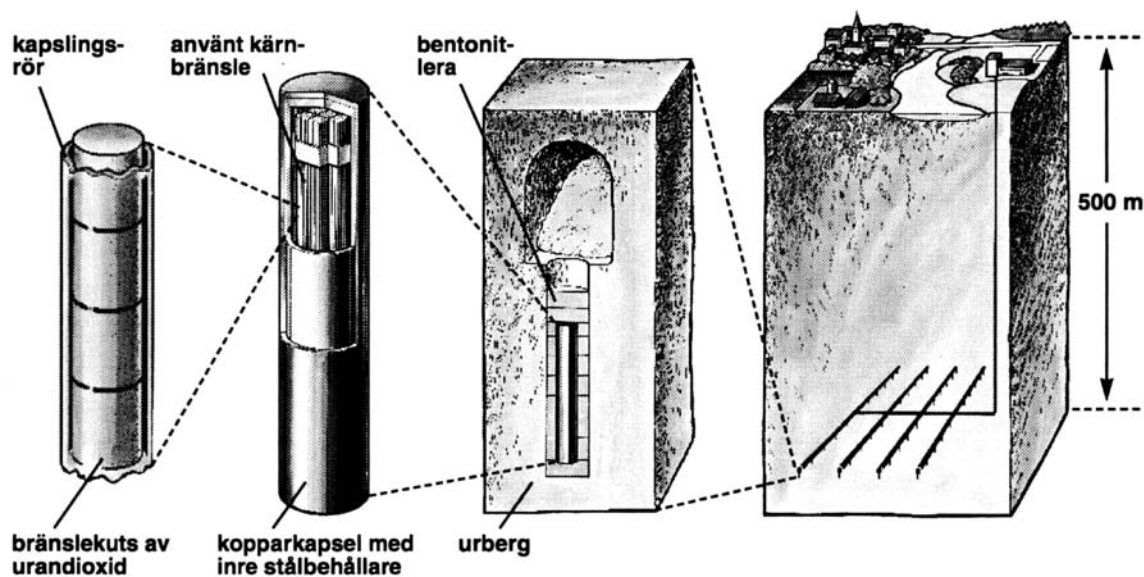
En väsentlig del av Fud-program 95 utgjordes av redovisningar kring arbetet med att finna en lämplig plats för djupförvaret och med att vidareutveckla den säkerhetsanalytiska metodiken. Endast det sistnämnda ämnesområdet redovisas i detta sammanhang.

### 7.8.1 Övergripande frågor

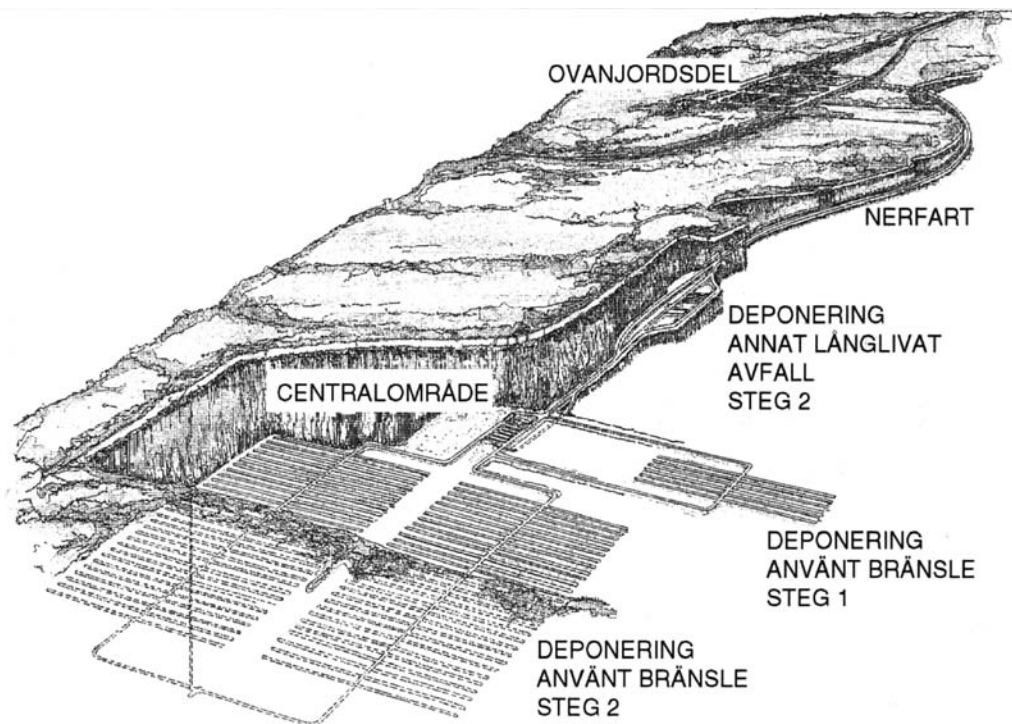
Utformningen av djupförvaret följde enligt Fud-program 95 de principer som utarbetats i KBS-3-rapporten och i Fud-program 92. Den principiella utformningen beskrevs nu enligt i huvudsak följande sätt (s 6) och illustrerades med figur 7-8 och 7-9.

- Förvaret förläggs på cirka 500 m djup beroende på förhållandena på den valda platsen. Från tunnlar på detta djup borrar deponeringshål i vilka kopparkapslar med använt kärnbränsle placeras och omges av bentonitlera. Återfyllning av tunnarna kan ske med en blandning av bentonit och kvartssand eller annat lämpligt material.
- Förvaret byggs ut i två steg. I ett första steg deponeras cirka 400 kapslar. Denna inledande period planeras starta tidigast år 2008 och pågå i ungefär fem år, varefter erfarenheterna utvärderas. Det finns då också möjligheter att återta kapslarna.
- Om utvärderingen visar att fortsatt deponering är lämpligt och acceptabelt – vilket SKB nu bedömer kommer att vara fallet – byggs i ett andra steg hela förvaret ut. Allt använt kärnbränsle från det svenska kärnkraftsprogrammet fram till år 2010 (cirka 8 000 ton, motsvarande cirka 4 500 kapslar). kommer i så fall att ha deponerats omkring år 2040.
- Under det andra steget planeras även deponering ske av annat radioaktivt avfall (dock mer långlivat än det som slutförvaras i SFR) i en särskild del av förvaret.
- Avfallet deponeras i tre separata förvarsområden, vilka sammanlagt upptar en yta på cirka 1 km<sup>2</sup>:
  - ett område för kapslar som deponeras under den inledande driften (steg 1),
  - ett område för kapslar som deponeras under den reguljära driften (steg 2),
  - ett område för annat radioaktivt avfall (steg 2).
- Om utvärderingen skulle leda till beslut att avbryta deponeringen efter den inledande driften (steg 1) finns det möjlighet att återta de deponerade kapslarna och placera dem i ett mellanlager.

Djupförvarsanläggningen förutsattes bli utformad i ett plan, även om möjligheten att vid behov använda två plan kvarstod. I detta sammanhang påpekades också att alternativ till den vertikala deponeringen med en kapsel i varje hål övervägdes. Ett sådant alternativ var ”horisontell placering i hål borrade i tunnelväggen, varvid hål kan borrar åt båda håll”, ett annat alternativ var ”ett system med två kapslar i varje hål” (s 105).



Figur 7-8. Djupförvar enligt KBS-3-konceptet (Fud-program 95).



Figur 7-9. Principiell skiss av djupförvaret (Fud-program 95).

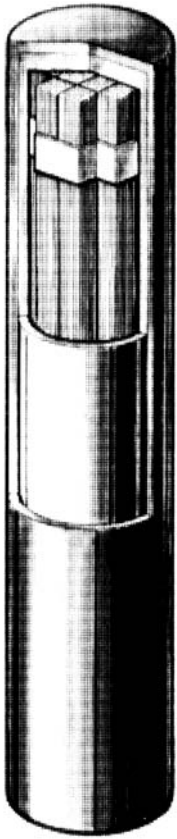
### 7.8.2 Kapsel, inkapslingsfrågor

I Fud-program 95 (s 75) upprepade SKB de huvudsakliga skäl som talade för koppar som kapselmaterial och som tidigare hade sammanfattats i Fud-program 92 (se avsnitt 7.5.2). I programmet angavs vidare att utgångspunkten för det fortsatta arbetet med lämplig kapsel skulle vara en insats av till exempel stål som ger mekanisk hållfasthet, och en yttre del av koppar som ger korrosionsskydd. Denna utgångspunkt var alltså oförändrad, jämfört med vad SKB hade redovisat året innan i sin komplettering av Fud-program 92 (se avsnitt 7.6.1). Fortfarande fanns ett reservalternativ – koppar-kapsel där tomrummet fylls med bly – kvar, men inga studier av ett sådant alternativ planerades tills vidare (s 98). SKB sammanfattade skälen för val av ”referenskapsel” enligt i huvudsak följande (s 71):

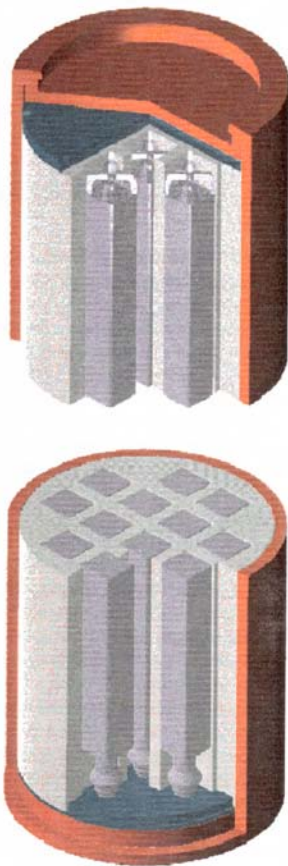
Tidigare har även andra utformningar av kapseln studerats, till exempel en homogen kopparkapsel, där inneslutningen genomförs med het isostatisk pressning, eller en kopparkapsel, där tomrummet runt bränslet fylls med bly. Båda dessa kräver dock att inkapslingen sker vid hög temperatur. Detta undviks med den nu planerade utformningen av kapseln. Kapselns insats har positioner där bränsleelementen placeras och locket försluts utan att någon större uppvärmning av bränslet sker. Denna ”kalla process” begränsar riskerna i samband med inkapslingen, vilket varit avgörande för valet mellan de tre kapseltyperna, eftersom den långsiktiga funktionen hos dessa är likvärdiga.

Referenskapseln illustrerades enligt figur 7-10.

Utvecklingsarbetet för kapsel och inkapslingsprocess hade nu resulterat i ”en något modifierad utformning av innerbehållaren” (s 74). Tidigare planerades fyllning kring bränsleelementen med sand eller glaspärlor i en innebehållare i form av en stålcylinder. Detta innebar ett tekniskt komplicerat arbetsmoment. För att undvika detta hade ett alternativ med gjuten innerbehållare till kopparkapseln studerats. Den behållaren – som illustreras i figur 7-11 – ersatte både stålcylindern som tryckupptagande komponent i kapseln och den insats som behövdes för styrning av elementen. Innerbehållaren skulle vara gjuten i ett stycke med hål för de olika typerna av bränsleelement.



*Figur 7-10. Kopparkapsel med tryckbärande insats av stål (Fud-program 95).*



*Figur 7-11. Kopparkapsel med gjuten insats (Fud-program 95).*

En rad detaljerade krav och kriterier för dimensionering och utformning av kapslarna formulerades (s 73–74). Dessa kan förenklat sammanfattas i följande punktsatser:

- Täthet.
  - Initial täthet.
  - Korrosionsbeständighet.
  - Hållfasthet.
- Påverkan på djupförvarets barriärer.
  - Val av material som inte påverkar buffert och berg.
  - Begränsning av värmeöverföring till omgivande bentonit.
  - Begränsning av stråldos till bentoniten.
  - Kapseln ska utformas så att bränslet förblir underkritiskt även vid ett vatteninbrott.
  - Kapselns upplagstryck mot bentoniten begränsas så att kapseln inte sjunker ned genom bentoniten.
- Tillverkning och hantering.
  - Tillverkning och kontroll av ofyllda kapslar.
  - Transport till inkapslingsanläggningen och ankomstkontroll.
  - Hantering av kapsel i inkapslingsanläggningen.
  - Förslutning och efterbehandling.

Som framgått förutsattes referenskapseln bestå av en yttre del av koppar och en innerdel av stål. Innerbehållaren skulle vara gjuten i ett stycke med hål för de olika typerna av bränsleelement. De exakta dimensionerna för kapseln och val av materialkvaliteter skulle studeras i det fortsatta arbetet. Som bas för detta utgick man nu från en kopparkapsel med 50 millimeters godstjocklek tillverkad av syrefri koppar med låg fosforhalt. Botten och lock förutsattes fogade till manteln med elektronstrålesvetsning. Kapselinsatsen skulle vara i gjutstål och med en minsta väggstjocklek om 50 millimeter. Referenskapseln skulle alltså ha en total väggstjocklek av cirka 100 millimeter.

Alternativa utformningar av kapseln som skulle studeras vidare var (s 75):

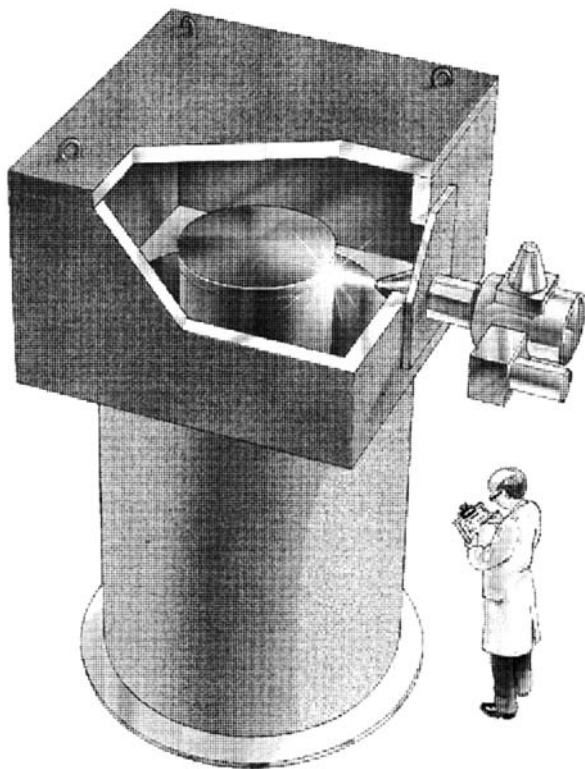
- Kopparkapsel med en innerkomponent i form av en stålcylander, som dimensionerats för det yttre övertrycket (figur 7-10).
- Kopparkapsel med en innerkomponent i segjärn med samma utformning som referenskapseln (figur 7-11).
- Kopparkapsel med en innerkomponent i gjutbrons med samma utformning som referenskapseln.

Det framgick vidare att SKB fortsatte studierna av lämplig kapselstorlek. I dessa studier ingick bland annat analyser av hur känslig temperaturen är för variationer i värmeledningsförmåga för bentonit och berg, bergtemperatur, försvarsutformning och tidplan för deponeringen. Vidare analyserades metoder för att undvika kriticitet hos det inkapslade bränslet.

I ett särskilt avsnitt (s 80–84) redogjordes för hur provtillverkningen av kopparkapslar och kapselinsatser fortskred och för de alternativa tillverkningsmetoder som övervägdes. Två metoder hade provats för tillverkning av fullstora kopparkapslar, nämligen dels rullpressning/kantpressning av rörhalvor med efterföljande sammanfogning med elektronstrålesvetsning, dels så kallad extrudering av hela rör. Man studerade även två ytterligare tillverkningsalternativ, nämligen så kallad Het isostatisk pressning (HIP) samt Elektrodeponering.

Utvecklingsarbetet beträffande förslutningsteknik var (s 84–86) inriktat på att lock och botten på kapslarna skulle sättas fast genom elektronstrålesvetsning. Andra svetsmetoder som studerades var friktionssvetsning och diffusionssvetsning. Friktionssvetsning betraktades i Fud-program 95 som ”ett reservalternativ som kan aktualiseras om elektronstrålesvetsningen inte ger tillräckligt goda resultat” (s 85). Vidare redovisades pågående metodutveckling för oförstörande provning med ultraljud och digital radiografi.

Elektronstrålesvetsning illustrerades med figur 7-12.



**Figur 7-12.** Elektronstrålesvetsning av kopparlock på kopparcylinder (Fud-program 95).

Sambanden mellan kapselutvecklingen och projekteringen av inkapslingsanläggningen belystes också ingående (s 92–101). Bland annat presenterades planer på att uppföra en ”pilotanläggning” för utveckling och samprovning av utrustningar för förslutningssvetsning och oförstörande provning. Denna anläggning fick senare benämningen *Kapsellaboratoriet* och invigdes under år 1998.

Arbetet med att utforma en *inkapslingsanläggning* var inriktat på att underlag för en tillståndsanmälan skulle föreligga vid årsskiftet 1997/1998 (s 91). Tillståndsprövning, bygge driftsättning och provdrift bedömdes därefter kunna genomföras så att kapslar kunde vara färdiga för leverans till ett djupförvar år 2008. En lokalisering av inkapslingsanläggningen i anslutning till Clab såg SKB som huvudalternativ, men pekade samtidigt på att det också var naturligt att belysa en placering i anslutning till djupförvaret.

### 7.8.3 Buffert

Uppgiften för bufferten precisades till att ”ge kapseln en gynnsam miljö för att bibehålla isoleringen, utgöra ett skydd mellan kapseln och berget med avseende på mekaniska och kemiska påverkningar, samt, om kapselns isolering bryts, begränsa och fördröja uttransporten av radionuklider från förvaret” (s 21). För att kunna fullgöra den isolerande funktionen skulle bufferten:

- helt omsluta kapseln under lång tid – ”stanna kvar i deponeringsutrymmet”,
- bära kapseln centrerad i deponeringshålet,
- förhindra strömning av grundvatten och därigenom fördröja intransport av ämnen som kan leda till korrosion,
- leda bort värme från kapseln,
- motstå kemisk omvandling under lång tid,
- inte äventyra kapselns och bergets möjligheter att uppfylla sina funktionskrav,
- skydda kapseln genom att utgöra ett plastiskt skydd mot berg rörelser.

För att kunna fullgöra den fördröjande funktionen skulle bufferten:

- förhindra strömning av grundvatten och därigenom fördröja uttransport av radioaktiva ämnen,
- motstå kemisk omvandling under lång tid,
- helt omsluta kapseln under lång tid – ”stanna kvar i deponeringsutrymmet”,
- tillåta eventuellt bildad gas att komma ut,
- filtrera kolloider.

I programmet redogjorde SKB också (s 35–38) för pågående arbete med att ställa samman de kunskaper och erfarenheter om bentonitlerans egenskaper som – mot bakgrund av dessa grundläggande krav – hade byggts upp genom studier i laboratorier och i fält. Här redovisades också kunskapsläget i fråga om transport av gas och förekomst av bakterier på förvarsdjup samt aviserades studier kring vilken betydelse för den långsiktiga säkerheten som användning av betong i slutförvaret (för injektering, golvbeläggning, pluggning av tunnlar och schakt etc) kunde ha.

De fortsatta studierna skulle inriktas på olika bentonitmaterials egenskaper, på olika beräkningsmodeller samt på processen för transport genom bentonitbufferten av den vätgas som kan bildas i händelse av att hål bildas i kopparmanteln och vatten tränger in i kapseln (s 151).

Planerna för *hur* bentonitblocken skulle framställas och hur de skulle fås på plats i deponeringshålen redovisades i Fud-program 95 i ett avsnitt om teknik för deponering. Dessa planer återges i avsnitt 7.8.6.

#### **7.8.4 Återfyllning och förslutning**

Som material för *återfyllning* av tunnlar, bergrum och schakt tänktes olika blandningar av bentonit och ballast (s 35). Den nödvändiga funktionen hos dessa material var att de skulle:

- motverka utsvällning av bentonit från deponeringshål,
- förhindra eller begränsa strömning av vatten i tunnel och kring kapselpositioner,
- motstå kemisk omvandling under lång tid,
- inte medföra betydelsefull kemisk omvandling av bufferten runt kapseln.

Fortsatta studier förutsattes ske parallellt med studierna av buffertmaterialet (s 151, jfr avsnitt 7.8.3). Frågorna om applicering av återfyllningsmaterialet redovisas nedan i avsnitt 7.8.6.

Under rubriken *förslutning* nämndes (s 108–109) att en särskild utredning hade belyst de tekniska möjligheterna att hålla deponeringstunnlarna öppna under olika tidsperioder och att slutsatsen var att det av tekniska skäl är lämpligt att återfylla och försluta deponeringstunnlarna i ett tidigt skede.

I fråga om metoder för pluggning av tunnlar och borrhål hänvisades till vad som hade redovisats i Fud-program 92 (se avsnitt 7.3.6).

#### **7.8.5 Berget på förvarsdjup**

De viktigare mål för SKB:s geovetenskapliga verksamhet som angetts i Fud-program 92 (se avsnitt 7.3.5) upprepades i Fud-program 95 (s 40). I det sammanhanget presenterades också kunskapsläge och erhållna resultat i fråga om bergets mekaniska stabilitet, grundvattenkemiska förhållanden på förvarsdjup samt bergets förmåga att begränsa transporten av radionuklider (s 40–56).

#### **7.8.6 Deponeringsteknik**

Det ”referenskoncept” för deponering som presenterats i Fud-program 92 (se ovan avsnitt 7.3.6) gällde fortfarande men redovisades nu mer utförligt. Beskrivningen av konceptet, av hur bentonitblock skulle framställas och fås på plats i deponeringshålen, av hur återfyllning skulle ske och med vilket material samt av frågor om återtagning innehöll i huvudsak följande (s 108):

Kapslarna transporteras ner under jord i transportbehållare (det i Fud-program 92 nämnda alternativet att ta ner kapseln med hiss i ett schakt nämndes inte). På försvarsdjup skulle sedan kapseln överföras till en deponeringsmaskin som kör den fram till aktuellt deponeringshål och sänker ner den. Beskrivningen fortsatte:

”Innan dess har hålet klätts med block av högkompakterad bentonit och ett inre utrymme lämnats för kapseln. När kapseln är på plats läggs bentonitblock över kapseln och hålet fylls ut med en blandning av sand eller bergkross och bentonit. Samma material används sedan för återfyllning av hela deponeringstunneln.

Blocken av högkompakterad bentonit kring kapslarna förutsätts kunna framställas i form av ”ananasringar”, om sådana visar sig vara lämpliga att hantera under deponeringen. Två olika metoder för pressning har provats: isostatisk pressning och axiell pressning. Den isostatiska metoden tillämpades för fabricering av block för försök i Stripa. Kunskapsläget för metoden med axiell pressning är att 10–20 kg tunga block nu kan produceras med hjälp av samma teknik som används för pressning av eldfast tegel. Tekniken bygger på en hög presshastighet, vilket kräver ett grovkornigt bentonitmaterial. I dagens läge kan block som är lämpliga för manuell applicering i KBS-3-hål tillverkas med en torrdensitet inom området 1,7–1,9 g/cm<sup>3</sup> och med en vattenmättnadsgrad av 50–85 %. Med måttliga spalter i deponeringshålet för att få rum att bygga upp bentonitbufferten och för att klara isättningen av kapseln är denna blockkvalitet tillräcklig för att resultera i en täthet hos bufferten på cirka 2,0 g/cm<sup>3</sup> i vattenmättat och utsvällt tillstånd. Buffertegenskaperna hos blocken är lika goda som hos block som pressats av bentonitpulver.

För återfyllning av tunnlar och berggrum studeras bergkross som ballastmaterial i stället för sand med rundade korn som var huvudalternativet i KBS-3-rapporten.

Preliminära resultat tyder på att en lämplig blandning vid återfyllning kan vara 10–20 % bentonit och krossat berg. Blandningen läggs ut i skikt och kompakteras med vibrovält respektive med vibrerande verktyg överst mot taket. Detta material beräknas efter vattenmättnad få en hydraulisk konduktivitet på mindre än 10<sup>-9</sup> m/s, vilket är i nivå med den i mycket tätt berg.

Alternativa fyllnadsmaterial som studeras är krossat berg eller morän utan bentonit som också läggs ut i lager och kompakteras på platsen. Dessa materials hydrauliska konduktivitet kommer emellertid efter kompaktering av vara högre än den för bra berg men andra faktorer kan vara fördelaktiga.

Under deponeringen av en kapsel kan man inte utesluta missöden som kräver någon form av åtgärd. Vanligen torde felet kunna avhjälpas och deponeringen fortsätta, men det är också tänkbart att felet inte kan avhjälpas med mindre än att kapseln först måste tas bort. Därför ingår möjligheten till reversering av deponeringsprocessen som en av flera funktioner i konstruktion och utprovning av deponeringsutrustningen.

...

Den allmänna bedömningen är att den utrustning som behövs för deponering av kapslar ... kan byggas med beprövade komponenter och utprovats på vedertaget sätt.”

### 7.8.7 Program för säkerhetsanalys m m

Regeringen hade i sitt beslut i maj 1995 med anledning av kompletteringen av Fud-program 92 understrukt behovet av en säkerhetsanalys för slutförvarssystemet i dess helhet (se avsnitt 7.7.4). Med hänvisning till dessa uttalanden diskuterade SKB i Fud-program 95 (s 143) omfattningen av de olika säkerhetsrapporter och analyser av den långsiktiga säkerheten i ett slutförvar som planerades att ingå i kommande ansökningar om tillstånd att i första hand:

- uppföra en inkapslingsanläggning,
- anlägga ett ”djupförvar”,
- ta inkapslingsanläggningen och ”djupförvaret” i drift under ett inledande skede, det så kallade steg 1.

Bland annat framgick att analyser av den långsiktiga säkerheten förutsattes bli utarbetade för att utgöra underlag för samtliga dessa tre ansökningar. Det förutsattes vidare att nya analyser med ökad detaljeringsgrad skulle tas fram efter hand som nya data blev tillgängliga om den plats som slutligen valdes för slutförvaret.



**Tabell 7-2. Sammanställning, byggd på uppgifter i Fud-program 95 (s 144–147) om planerat innehåll i analyser av slutförvarets långsiktiga säkerhet vid olika ansökningar.**

Uppförande av inkapslingsanläggning	Anläggande av slutförvar för använt kärnbränsle	Idrifttagning (steg 1) av inkapslings- och slutförvar
<p>Förståelsen av kapselns långsiktiga säkerhetsfunktion under både förväntade och rimligt ogynnsamma förhållanden.</p> <p>Specifik redovisning av vilka miljöförhållanden som antagits föreligga när funktionskraven för kapseln fastställdes och jämförelse mellan dessa och de förhållanden som normalt förekommer i den berggrund som är aktuell för lokalisering av slutförvaret.</p> <p>Eftersom data från kandidatplatser inte förväntas föreligga, kommer säkerhetsanalyserna att baseras på typiska förhållanden i svensk kristallin berggrund och på SKB:s tidigare arbete i vissa undersökningsområden samt Stripa och Äspö</p>	<p>En platsspecifik analys, baserad på den kandidatplats som rekommenderas för detaljundersökningar.</p> <p>Kapseldata hämtas ur specifikationerna i den preliminära säkerhetsrapporten för inkapslingsanläggningen.</p>	<p>Principerna som etablerats i tidigare säkerhetsanalyser ska användas. Det innebär att avvägningar och beräkningar baseras på tillgängligt plats- och systemspecifikt underlag, och att de kompletteras där så är lämpligt med prognoser eller generisk information.</p> <p>Analysen baseras på:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kapselegenskaper enligt slutliga säkerhetsrapporten för inkapslingsanläggningen,</li> <li>• de acceptanskrav som definierats i säkerhetsrapporten för drift av slutförvaret vad gäller egenskaper hos berg och tekniska barriärer,</li> <li>• en efter detaljundersökningarna reviderad biosfärsbeskrivning och strukturmodell av förvaret.</li> </ul>

I tabell 7-2 återges hur SKB i Fud-program 95 presenterade vilket innehåll som analysen av den långsiktiga säkerheten skulle ha vid de nyss nämnda ansökningstillfällena.

I övrigt hänvisade SKB till en nyligen framtagna mall för rapporter om den långsiktiga säkerheten, SR 95 (se avsnitt 7.9)

## 7.9 SR 95 – Mall för säkerhetsrapporter

Dokumentet *SR 95 Mall för säkerhetsrapporter med beskrivande exempel /7-16/* publicerades i december 1995 och kom att granskas tillsammans med Fud-program 95.

Dokumentet utgjorde ingen säkerhetsanalys eller säkerhetsrapport utan presenterades som en synopsis för kommande säkerhetsrapporter med inriktning på den långsiktiga säkerheten för ett slutförvar för använt kärnbränsle. Avsikten var (s 2) att beskriva förutsättningar och arbetsläge inför kommande säkerhetsanalyser och därmed ”komplettera den kunskapsöversikt som ges i Fud-program 95 med en detaljerad genomgång av de metoder och modellverktyg SKB har till förfogande för de närmaste säkerhetsanalyserna.”

Den synopsis som presenterades innehöll 14 olika kapitel uppdelade på fyra olika delar. För varje kapitel beskrevs det tänkta innehållet mer i detalj och uppdelat på ett antal underrubriker. De fyra delarna och de 14 kapitlen hade följande rubriker:

Del I Förutsättningar och syfte:

- 1 Inledning
- 2 Säkerhetsmål och acceptanskriterier
- 3 Metodikbeskrivning

Del II Beskrivning av djupförvarssystemet:

- 4 Använt kärnbränsle och övrigt långlivat avfall
- 5 Förvarssystemets uppbyggnad
- 6 Förvarsplatsens egenskaper
- 7 Inplacering och utbyggnad av förvaret
- 8 Biosfären

Del III Förvarssystemets utveckling med tiden:

- 9 Analys – förvarssystemet, scenarier
- 10 Analys – förvarets funktion
- 11 Modeller och beräkningsmetoder för radionuklidtransport
- 12 Scenarier/beräkningsfall

Del IV Utvärdering och slutsatser:

- 13 Integration av resultat och osäkerhet
- 14 Slutsatser

## 7.10 Granskningen av Fud-program 95 och SR 95

### 7.10.1 Övergripande frågor

Statens kärnkraftinspektion /7–17/ fann att Fud-program 95 uppfyllde grundkraven i kärntekniklagen och betecknade programmet som ”i huvudsak ändamålsenligt när det gäller att utveckla och utpröva en metod för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall i svenskt urberg” (s 1). Vidare konstaterade inspektionen att SKB:s program nu var inne i en ”övergång från forskning och metodutveckling till projektering, konstruktion och lokalisering av anläggningar, i ett första steg i pilotskala”. SKB borde därför, underströk Kärnkraftinspektionen, mer precist inrikta det framtida Fud-programmet på det underlag regering, myndigheter och berörda kommuner behöver för prövningen av tillstånd för dessa anläggningar enligt olika lagar.

KASAM /7–18/ menade att Fud-program 95 i ännu högre grad än Fud-program 92 hade ”karakter av ett konkret handlingsprogram med avgränsade projekt inom olika ämnesområden som är samordnade inom en gemensam tidplan” (s 11). Programmet kunde enligt KASAM ses som två delar som behövde utvecklas parallellt. Den ena omfattade åtgärder som SKB kunde genomföra på egen hand och av egen kraft. Hit hörde forskning, utredningar, konstruktion, tillverkning och provning av komponenter i slutförvaret, projektering av anläggningar samt analyser av anläggningarnas funktion och säkerhet. Fud-program 95 redovisade, ansåg KASAM, ”värdefulla framsteg i arbeten av detta slag” (s 12). Den andra delen av programmet omfattade åtgärder som fordrar medgivanden av utomstående parter för att kunna drivas vidare. KASAM syftade här närmast på de åtgärder som behövdes inför lokalisering av de planerade anläggningarna.

### 7.10.2 Kapsel, inkapslingsfrågor

SKB hade i Fud-program 95 redovisat att referenskapseln numera var en kopparkapsel med innerkomponent i gjutstål i stället för en stålcyllinder (se avsnitt 7.8.2). Kärnkraftinspektionen /7–17/ bedömde att det tidigare problemet med val av fyllnadsmaterial i kapseln därmed hade undanröjts (s 11).

SKB:s tidsplan innebar att en inkapslingsanläggning skulle stå klar att tas i bruk år 2008 och att ansökningar om tillstånd att uppföra anläggningen skulle lämnas in vid årsskiftet 1997/1998. Enligt Kärnkraftinspektionen återstod mycket arbete innan kapseln var färdigutvecklad. Inspektionen efterlyste ett mer detaljerat program inför byggstart av anläggningen samt bedömde att ”betydande insatser behövs främst inom områdena tillverkning, förslutning och kontroll” (s 13).

För val av kapselmateriäl och tillverkningsprocessen för kapslar ansåg Kärnkraftinspektionen att det var viktigt att de material som väljs för kapselproduktionen testas med avseende på korrosion och krypning i det tillstånd och med den struktur som materialen kommer att få genom den valda tillverkningsprocessen (s 11). Inspektionen menade också att ”hittills” inte framkommit något som skulle tala emot en mycket lång livslängd hos kopparkapslarna ur *korrosionssynpunkt*, men uppmanade SKB ”att fullfölja sina studier av korrosionsförlopp där kunskapsbasen ännu är ofullständig” (s 12). Särskilt gällde detta mikrobiell korrosion, spänningsskorrosion och lokal korrosion i sulfidmiljö. Vidare underströk inspektionen att den *kapselkonstruktion och tillverkningsprocess* som SKB väljer måste visas vara reproducerbar i den skala som SKB beslutar sig för i djupförvarsprogrammet och att olika

tillverkningskriterier (hållfasthet, ovalitet, tillåtna defekter, ytfinhet och lämplig struktur) måste tas fram (s 12). SKB:s planer på en *pilotanläggning* för utveckling och samprovning av utrustningar för förslutningssvetsning och oförstörande provning fick starkt stöd av Kärnkraftinspektionen (s 12).

KASAM /7–18/ noterade att SKB från FoU-program 89, via Fud-program 92 och nu i Fud-program 95 hade ”ändrat kapselkonstruktionen i tre steg utan någon mer ingående redovisning av motiven för ändringarna” (s 49). Det låg inget anmärkningsvärt i dessa resultat av ett utvecklingsarbete, menade KASAM, kanske skulle ytterligare ändringar visa sig nödvändiga. Men det var viktigt för tilltron till SKB:s arbete att man utformade sin till slutet av år 1997 planerade ansökan om att uppföra inkapslingsanläggningen på ett sådant sätt att det klart framgick hur utvecklingsarbetet kring kapselkonstruktionen hade bedrivits samt för- och nackdelar med studerade alternativ. Efter en genomgång av frågor rörande kapseltillverkning inklusive tillverkningskontroll, kapselns mekaniska egenskaper samt kapselmaterialets korrosionsegenskaper formulerade KASAM följande slutsatser (s 51):

- Med tanke på kapselns centrala roll som barriär är fortsatt forskning kring mekaniska egenskaper och korrosion angelägen. Det gäller inte minst sådant som endast i begränsad utsträckning studerats tidigare som krypning i svetsförband och mikrobakteriell korrosion.
- Den utvecklingsinsats som hittills bedrivits rörande kapselns tillverkning har huvudsakligen haft teknologisk karaktär. Det är viktigt att den även kompletteras med långsiktig kunskapsuppbyggnad och forskning inte minst i Sverige.
- Även om många aspekter av kapselns egenskaper har studerats av SKB, så rekommenderar KASAM att man utnyttjar hela den tidsram som finns för utveckling och studier, och inte låser sig enbart till ett alternativ.
- SKB bör tillverka ett förhållandevis stort antal kapslar för verifiering av produkttegenskaperna och kontrollprogrammet. Dessa används därefter lämpligen för en pilotdeponering i Äspölaboratoriet.

### 7.10.3 Buffert och återfyllning

SKB:s arbete med att utveckla modeller som beskrev buffertens och återfyllningens funktion betecknade Kärnkraftinspektionen /7–17/ som ”framgångsrikt, generellt sett” (s 9). Inspektionen efterlyste dock en bättre integrering med övrig kunskapsbas av frågor som rör eventuella förändringar av buffertens kemiska egenskaper samt pekade på behovet av validerande experiment i större skala när det gällde frågan om gastransport i buffert och i återfyllning.

KASAM /7–18/ menade att Fud-program 95 gav ”ett intryck av överdriven tilltro till bentonitens förmåga dels att först svälla och därefter i alla tider behålla sin höga täthet, dels att kemiskt binda porvattnet så fast att bakterier torkas ihjäl” (s 52). Enligt KASAM var tolkningen försiktigare i SKB:s tekniska rapporter och de risker som där påpekats borde SKB undersöka närmare. KASAM pekade för egen del också på ett antal frågor kring bentonitens egenskaper och hur återfyllningen skulle gå till och argumenterade för behovet av ytterligare studier och forskning.

### 7.10.4 Berget på förvarsdjup

Kärnkraftinspektionen /7–17/ ansåg att SKB:s redovisning av kunskapsläget rörande bergets funktion hade ”god bredd och är i vissa fall djupgående” (s 9). I yttrandet från KASAM diskuterade inte hithörande frågor.

### 7.10.5 Deponeringsteknik

Under rubriken *Bygg- och driftrelaterade insatser* kommenterade Kärnkraftinspektionen /7–17/ vad SKB anfört om deponeringsteknik (se ovan avsnitt 7.8.6). Vad inspektionen anförde kan sammanfattas i följande punkter (s 15–16):

- SKB bör i Äspölaboratoriet pröva teknik för horisontell deponering av kapslar och relaterad maskinutveckling.
- Deponering av två kapslar i varje vertikalt hål kan komma att kräva andra dimensioner på bentonitblock i hålbotten och mellan kapslarna för att förhindra kapselrörelser.

- Den metodik som tillämpats för att borra vertikala deponeringshål förefaller fungera och bör utvecklas vidare i Äspölaboratoriet.
- Alternativet att bygga djupförvaret i två plan bör utredas ytterligare.
- SKB bör fördjupa kunskapen om injekteringsbruks beständighet och långtidsegenskaper.
- SKB:s uppfattning att block av grovkorning bentonit framställda med isostatpressning är lika goda som hos block som pressats av bentonitpulver måste bekräftas genom ytterligare utvecklingsarbete.
- ”SKI förutsätter att SKB planerar och konstruerar maskinutrustning för eventuellt återtagande av deponerade kapslar eftersom SKB:s trovärdighet annars skulle kunna ifrågasättas beträffande såväl avsikt som förmåga att vid behov återta kapslar.”

### 7.10.6 Säkerhetsanalys, SR 95

Av särskild vikt var, menade Kärnkraftinspektionen /7-17/, ”att SKB genomför och redovisar en ingående och heltäckande säkerhetsanalys av den systemlösning (KBS-3) som utgör SKB:s huvudalternativ, innan man går vidare med verksamheter och beslut som innebär allt starkare bindningar både till systemlösningen som helhet och till detaljutformningen av dess olika delar” (s 2). Inspektionen föreslog därför att regeringen skulle ställa upp ett villkor av innebörd att SKB skulle utföra en sådan säkerhetsanalys innan platsundersökningar påbörjas och att analysen skulle bli föremål för en fristående nationell och internationell expertgranskning. Kärnkraftinspektionen menade också att en sådan säkerhetsanalys borde underkastas en nationell och internationell expertgranskning och hänvisade till följande skäl (s 5-6):

- En heltäckande, aktuell säkerhetsanalys behövs för den prövning av hela systemlösningen som ska ske senast i samband med tillståndsprövningen för den första anläggningen i systemet, likaväl som för en systematisk inriktning och prioritering av fortsatta FoU-insatser.
- Konstruktions- och kvalitetskrav för kapseln behöver kunna återföras på en aktuell säkerhetsanalys av hela systemet.
- Utformning av mätprogram för platsundersökningar och utvärderingen av mätdata från dessa behöver också kunna återföras på en aktuell säkerhetsanalys av hela systemet.
- SKB:s metoder och modeller för säkerhetsanalys behöver genomgå en samlad utvärdering mot bakgrund av den utveckling som skett sedan SKB presenterade den första genomgripande KBS-3-analysen för 13 år sedan.

Även KASAM /7-18/ uppmärksammade behovet av en säkerhetsanalys för hela KBS-3-systemet och erinrade om vad regeringen uttalat i maj 1995 om en sådan samlad analys som underlag för ansökningar om tillstånd att uppföra en inkapslingsanläggning (se avsnitt 7.7.4). Det var enligt KASAM ”mycket viktigt att denna samlade redovisning kommer fram och att den granskas av myndigheterna”, eftersom redovisningen kommer att ge en grund för programmets fortsatta utveckling (s 2).

Den mall för säkerhetsanalys som SKB hade presenterat i SR 95 bedömde Kärnkraftinspektionen /7-17/ som ”ett bra och flexibelt ramverk för framtida säkerhetsredovisningar”, men konstaterade samtidigt ”att delar av den metodik som redovisas behöver vidareutvecklas och konkretiseras” (s 19). Också KASAM /7-18/ kommenterade SR 95 och fann ambitionsnivån vara ”aktningsvärd” (s 22).

### 7.10.7 Regeringens ställningstagande

Regeringen fattade i december 1996 beslut med anledning av granskningen av Fud-program 95 /7-19/. I det formella *beslutet* togs tre olika frågeställningar upp, av vilka särskilt två har relevans för denna framställning.

SKB ålades sålunda att genomföra en systemanalys av hela slutförvarssystemet (inkapslingsanläggning, transporter och slutförvar). I den systemanalysen skulle ingå en redovisning av de alternativa lösningar till KBS-3-metoden som SKB hade redovisat i tidigare forskningsprogram eller som aktualiserats i internationella studier. Även olika varianter av KBS-3-systemet borde redovisas. I redovisningen skulle vidare ingå konsekvenserna för det fall att det planerade slutförvaret inte alls kommer till stånd (nollalternativet) liksom det pågående internationella arbetet med transmutation.

Vidare beslutade regeringen att SKB skulle genomföra en säkerhetsanalys av slutförvarets långsiktiga säkerhet och då redovisa ”hur behovet av fortsatt stödjande forskning och utveckling knyter an till säkerhetsanalysen och hur forskningsresultaten förs över till projektarbetet samt vidare hur grundläggande osäkerheter hanteras i det fortsatta arbetet”. Av motiveringen för beslutet om säkerhetsanalys framgår att regeringen delade ”SKI:s uppfattning att SKB i SR 95 redovisat en mall som utgör ett bra och flexibelt ramverk för framtida säkerhetsredovisningar. Mallen behöver dock vidareutvecklas och konkretiseras på ett sätt som SKI redovisat i sitt yttrande till regeringen. SKB bör även ta hänsyn till de synpunkter som KASAM för fram i detta sammanhang. En säkerhetsanalys av slutförvarets långsiktiga säkerhet bör enligt regeringens bedömning vara genomförd innan ansökan om uppförande av den planerade inkapslingsanläggningen inges till myndigheterna, liksom innan platsundersökningar på två eller flera platser påbörjas.”

## **7.11 Kärnkraftinspektionens säkerhetsanalysprojekt**

Från mitten av 1980-talet började man inom Statens kärnkraftinspektion att mer systemetiskt bygga upp kompetens och resurser för att säkerställa en förmåga att bedöma SKB:s analyser av den långsiktiga säkerheten hos ett slutförvar för använt kärnbränsle.

Denna kompetens- och resursuppbyggnad skedde främst i två projekt vilka genererade åtskilliga rapporter och är kända under benämningarna Projekt-90 och SITE-94. Dessa projekt ska alltså inte betraktas som en del av arbetet med att utveckla lösningar för slutförvaring, vilket är SKB:s ansvar. I stället var det uttalade syftet att stödja myndighetens granskning av SKB:s utvecklingsarbete och framtida förslag. En sammanfattande redogörelse för de båda projekten finns i /7-20/.

### **7.11.1 Projekt-90**

Projekt-90 genomförde åren 1986–1991 en säkerhetsanalys av ett slutförvar av KBS-3-typ, placerat på en hypotetisk plats med egenskaper som förutsattes vara typiska för svenska förhållanden. Projektet visade på områden där betydelsen av osäkerheter kunde vara särskilt viktiga för resultaten, även om ett normalfall gav låga beräknade stråldoser. Andra slutsatser var att särskilda insatser behövdes för att stärka analysen av olika scenarier och för att utveckla metoder för kvalitetskontroll av säkerhetsanalysen.

Sedan projektet genomförts blev det, på initiativ av Kärnkraftinspektionen, föremål för granskning av en expertgrupp som tillsattes av OECD/NEA. Expertgruppen noterade den begränsning som låg i att Projekt-90 utnyttjade en hypotetisk plats med hypotetiska egenskaper och ifrågasatte på denna grundval en del av slutsatsernas allmängiltighet. Gruppen ansåg också att Projekt-90 borde ha ägnat mer uppmärksamhet åt möjliga mekanismer för fel på kopparkapseln. Vidare menade expertgruppen att den scenarieanalys som gjorts inom Projekt-90 var ”en bra insats” /7–20 s 3/, men behövde utvecklas ytterligare.

### **7.11.2 SITE-94**

Med ledning av erfarenheterna från Projekt-90 och vad som kommit fram under den internationella granskningen av projektet beslöt SKI år 1992 att genomföra ett större forskningsprojekt, benämnt SITE-94. Både svenska och utländska konsulter engagerades. Dokumentationen av SITE-94-projektet, som pågick fram till år 1997, omfattar 50 tekniska bakgrundsrapporter (på engelska) jämte slutrapport på engelska och en svensk sammanfattning.

Den övergripande målsättningen med SITE-94 var att utveckla Kärnkraftinspektionens kunskaper, metoder och verktyg för säkerhetsanalysen. Tre områden stod i centrum /7–20 s 3/:

- Säkerhetsanalysens metoder, med mål att
  - utveckla och testa metodik för att analysera scenarier och för att hantera tillhörande osäkerheter,
  - utveckla procedurer för genomförandet av en säkerhetsanalys som ger god spårbarhet vad avser information, beslut och aktiviteter i övrigt, som skulle kunna ingå i ett system för kvalitetssäkring.
- Platsutvärdering, med mål att
  - förbättra spårbarheten i hur platsdata överförs från rena mätdata till indata i säkerhetsanalysen,
  - föreslå och testa analysverktyg för att hantera dataosäkerheter i modellerna,
  - öka överensstämmelsen i hur geologi, hydrogeologi, bergmekanik och geokemi används för att beskriva platsens utveckling under långa tider.
- Kapselns egenskaper, med mål att identifiera och så långt som möjligt analysera mekanismer som kan påverka beständigheten under lång tid.

Ytterligare ett mål var att utbilda och träna Kärnkraftinspektionens personal i att genomföra och granska säkerhetsanalyser. Fokus låg på analys av scenarier och beräkningar av transporter av radionuklider.

Liksom för Projekt-90 baserades arbetet med SITE-94 på ett hypotetiskt slutförvar av KBS-3-typ. En viktig skillnad var emellertid att detta förvar tänktes vara placerat på en verklig plats, närmare bestämt vid SKB:s Äspölaboratorium<sup>41</sup>. Kärnkraftinspektionen gavs tillgång till de mätdata som SKB hade tagit fram i samband med planering och byggande av detta laboratorium och kunde göra egna tolkningar av dessa data för tillämpning i säkerhetsanalysen.

Resultatet av det omfattande arbetet med SITE-94 sammanfattades i slutrapporten enligt i huvudsak följande fyra punkter /7-20 s 83/:

- Projektet har medfört framsteg med avseende på metodik för säkerhetsanalyser, utvärdering av plats specifika data samt hantering av osäkerhetsfaktorer och scenarier. Kärnkraftinspektionen har fått tillgång till metodik som tidigare varken förelåg inom ramen för det svenska nationella programmet eller kunde överföras från projekt för slutförvaring av radioaktivt avfall utomlands.
- Arbetet har tydligt identifierat viktiga frågor för säkerheten hos ett slutförvar. Dessa resultat kommer att vara till hjälp för att ange vad Kärnkraftinspektionen förväntar sig av SKB i en framtida tillståndsansökan.
- Arbetet har tydligt visat på att Kärnkraftinspektionen har kapacitet att genomföra säkerhetsanalyser samt på de verktyg inspektionen har tillgång till för att granska en ansökan.
- Arbetet har identifierat områden där ytterligare arbete måste genomföras för att lösa återstående tekniska frågor.

I en kommentar till den tredje punktsatsen erinrade Kärnkraftinspektionen /7-20 s 86/ att man vid avslutningen av Projekt-90 hade konstaterat att ”de tidigare slutsatserna som dragits av regeringen (efter genomgången av KBS-3) att säker slutförvaring av använt kärnbränsle i Sverige skulle vara genomförbar, fortfarande var att betrakta som korrekta. Det arbete som genomförts inom ramen för SITE-94 har inte identifierat någonting som förändrar denna generella slutsats. SKI anser fortfarande att KBS-3-metoden är ett realistiskt huvudalternativ för SKB:s fortsatta forsknings- och utvecklingsarbete. Som framhållits ovan konstaterar emellertid SKI att flera viktiga osäkerheter fortfarande behöver behandlas, såväl med avseende på de tekniska barriärernas långsiktiga funktion som med avseende på geosfärens utveckling. Återkommande säkerhetsanalyser kommer att spela en viktig roll för att styra och integrera framtida forskningsarbete och teknisk utveckling. Det slutliga provet kommer att bestå i att anpassa den valda metoden till plats specifika egenskaper och att utveckla en säkerhetsanalys för den valda platsen.”

<sup>41</sup> För att undvika missförstånd betonades att Äspölaboratoriet utgör en forskningsanläggning och att denna inte kommer att användas som ett slutförvar för använt kärnbränsle.

## 7.12 Utveckling av KBS-3-metoden 1983–1995

I detta avsnitt sammanfattas några huvudpunkter i den utveckling av KBS-3-metoden som skedde från redovisningen i KBS-3-rapporten 1983 till och med redovisningen i Fud-program 95<sup>42</sup>.

KBS-3-rapporten 1983 Hanteringsgång och anläggningar	Fud-program 92 Hanteringsgång och anläggningar	Fud-program 95 Hanteringsgång och anläggningar
<b>Mellanlager</b>	<b>Mellanlager</b>	<b>Mellanlager</b>
Använt kärnbränsle förs (efter minst sex månader) från bassånger vid kärnkraftverken till ett centralt mellanlager där det förvaras under vatten cirka 40 år. (Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.)	Clab i drift sedan 1985	Clab i drift sedan 1985
<b>Inkapslinganläggning</b>	<b>Inkapslinganläggning</b>	<b>Inkapslinganläggning</b>
Det använda bränslet förs till en anläggning för inkapsling (ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978).	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.
Inkapslingsanläggningen förutsätts vara belägen ovan mark i anslutning till ett slutförvar (ingen ändring jämfört med lägesrapport 1977).	Inkapslingsanläggning förutsätts bli förlagd i anslutning till Clab	Inkapslingsanläggning förutsätts bli förlagd i anslutning till Clab, men lokalisering till samma plats som för slutförvaret ska belysas.
<b>Slutförvar</b>	<b>Slutförvar</b>	<b>Slutförvar</b>
	<i>Anm. SKB använde åren 1992–2003/4 termen "djupförvar".</i>	<i>Anm. SKB använde åren 1992–2003/4 termen "djupförvar".</i>
Förvaret består av ett system av parallella förvaringstunnlar, belägna på cirka 500 m djup i ett utvalt bergparti (kristallin berggrund). Förvaret kan utföras i <i>ett eller flera plan</i> (nivåskillnad cirka 100 meter).	Ingen ändring jämfört med KBS-3-rapporten 1983.	Ingen ändring jämfört med KBS-3-rapporten 1983, men deponeringstunnlar i <i>ett plan</i> sägs uttryckligen vara huvudalternativ.
	Utbyggnad i två etapper: • Demonstrationsdeponering, cirka 500 kapslar. • Därefter resterande kapslar	Utbyggnad i två steg: • Demonstrationsdeponering, cirka 400 kapslar. • Därefter resterande kapslar.
Vertikal deponering (ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978).	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.
Förvaringshål borras i deponeringstunnlarnas golv med 1,5 m diameter, 7,5 m djup. Centrumavstånd mellan hålen är 6 m.	Förvaringshål borras i deponeringstunnlarnas golv med 1,6 m diameter, 7,58 m djup. <i>Motiv:</i> Ändring av kapselns ytterdimensioner.	Inga uppgifter om deponeringshålens diameter och djup.
I varje hål deponeras 1 kapsel (ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978).	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Studier dels av horisontell placering i hål borrade i tunnelväggen åt båda håll, dels av vertikal deponering med 2 kapslar per hål.
Bränsleelementen stoppas in <i>hela</i> i kapslarna. Bränsleboxar tas dock bort från BWR-element och gjuts in i betongkokiller för deponering i ett separat slutförvar.	Bränsleelementen stoppas in <i>hela</i> i kapslarna.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.
Yta: 0,7–1,0 km <sup>2</sup> (ett respektive två plan).	Yta: 1–1,2 km <sup>2</sup> .	Yta: Cirka 1 km <sup>2</sup> .
Deponeringstunnlars höjd: 4,5 m, bredd: 3,3 m.	Deponeringstunnlars höjd: 4 m, bredd: 3,4 m.	Inga uppgifter om deponeringstunnlars höjd, bredd och inbördes avstånd.
Avstånd mellan deponeringstunnlar: cirka 25 m om ett plan, cirka 33 m om två plan.	Avstånd anges ej.	
Återtagsfrågan antyds.	Återtagsfrågan antyds.	Återtagsfrågan antyds.

<sup>42</sup> De redovisningar av KBS-3-metoden som ingick i de två första allsidiga FoU-program (1986 och 1989), som SKB upprättade enligt bestämmelserna i kärntekniklagen, byggde i allt väsentligt på KBS-3-rapporten 1983. Det har därför inte bedömts motiverat att tynga den tabellariska framställningen med uppgifter ur dessa två program.

KBS-3-rapporten 1983	Fud-program 92	Fud-program 95
<b>Buffert och återfyllning</b>	<b>Buffert och återfyllning</b>	<b>Buffert och återfyllning</b>
<b>Buffert</b>	<b>Buffert</b>	<b>Buffert</b>
<p>Kapseln omges i deponeringshålen med block av högkompakterad bentonit. Vidare appliceras bentonit i pulverform i spalterna mellan kapslarna och blocken och mellan blocken och det omgivande berget. (Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.)</p> <p><i>Motiv:</i> Kompakterad bentonit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Har god bärighet.</li> <li>• Har god värmeledningsförmåga.</li> <li>• Har god kemisk långtidsbeständighet.</li> <li>• Sväller kraftigt vid vattenupptagning. Om svällningen förhindras uppkommer i stället ett svälltryck som innebär att bentoniten <ul style="list-style-type: none"> <li>– får en självtätande förmåga som hindrar att vattenförande passager kan uppkomma i materialet,</li> <li>– pressas in i de mindre sprickor som finns i deponeringshålets väggar och då tätar dessa sprickor.</li> </ul> </li> </ul>	<p>Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.</p> <p>Fortsatt teknikutveckling för tillverkning av högkompakterade bentonitblock samt för injektering av bentonit.</p>	<p>Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.</p> <p>Block av högkompakterad bentonit i form av "ananasringar" kring kapslarna förutsätts kunna framställas genom antingen isostatisk pressning eller enaxlig pressning.</p>
		<p>Fortsatta studier ska ske av:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• egenskaperna hos olika typer av bentonit,</li> <li>• processen för transport genom bentonitbufferten av den våtgas som kan bildas i händelse av att hål bildas i kopparkapseln och vatten tränger in i kapseln.</li> </ul>
Buffertens tjocklek: 35 cm.	Buffertens tjocklek: 36 cm.	Inga uppgifter om buffertens tjocklek.
<b>Återfyllning</b>	<b>Återfyllning</b>	<b>Återfyllning</b>
Förvarings-, transport- och service-tunnlar samt schakt återfylls med en blandning av sand och bentonit (ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978).	Studier av teknik för återfyllning av orter och schakt med sand/bentonitblandningar.	För återfyllning av förvaringstunnlar och bergtrum studeras i första hand bergkross som ballastmaterial och med 10–20 % inblandning av bentonit.
Funktioner: Ge mekanisk stabilitet och återställa de hydrologiska förhållandena i området.	Funktioner: Nämns ej	Funktioner: Motverka utsvällning av bentonit från deponeringshål, förhindra/begränsa strömning av vatten i tunnel kring kapselpositioner, motverka kemisk omvandling av bufferten.
Återfyllning kan ske successivt efter hand som deponering avslutats inom viss del av förvaret <i>eller</i> vid ett och samma tillfälle inför förslutning av förvaret.		Av tekniska skäl lämpligt att återfylla och försluta deponeringstunnlarna efter hand som deponeringen avslutas.



KBS-3-rapporten 1983	Fud-program 92	Fud-program 95
<b>Kapseln</b>	<b>Kapseln</b>	<b>Kapseln</b>
<p>Kapseln tillverkas av koppar.  <i>Motiv för koppar</i> (i olegerad form):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• I ett slutförvar bestäms påverkan på kapslarna av den kemiska miljön i deponeringshålet, varvid grundvattnets sammansättning har avgörande betydelse.</li> <li>• Därför behövs ett kapselmaterial som är termodynamiskt stabilt i denna miljö.</li> <li>• Koppar är det ädlaste av de vanliga konstruktionsmaterialen och är termodynamiskt stabilt i rent vatten.</li> <li>• I grundvatten kommer därför korrosionen av koppar att bestämmas av de korrosiva ämnen som är lösta i grundvattnet.</li> </ul> <p>Tålighet mot yttre last fås genom att kapseln efter fyllning med bränsleelement görs massiv.</p>	<p><i>Huvudalternativ:</i> Kapseln består av en cylinder av stål med ett yttre hölje av koppar (kallad "kompositkapsel" eller "stålkapsel med kopparhölje").</p> <p>Tålighet mot yttre last fås genom stålcylindern.</p>	<p><i>Huvudalternativ:</i> Kapseln består av en gjuten innerbehållare av stål, järn eller gjutbrons med hål (positioner) för bränsleelementen samt ett yttre hölje av koppar.</p> <p>Tålighet mot yttre last fås genom den gjutna innerbehållaren.</p>
	<p><i>Motiv för huvudalternativet:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En inre stålstruktur är dimensionerad för att motstå de tryck som är aktuella på deponeringsdjupet.</li> <li>• En "kall" process vid inkapslingen är mindre komplicerad än processerna med smält bly, alternativt kopparpulver, och isostatisk sammanpressning av cylindern.</li> </ul> <p><i>Reservalternativ:</i> Kapseln består av en blyfylld kopparcylinder enligt KBS-3-rapporten 1983.</p>	<p><i>Motiv för huvudalternativet:</i></p> <p>En mindre komplicerad process vid inkapslingen än fyllning av mellanrummen mellan bränsleelementen i en stålcylinder. En gjuten insats är robustare mot yttre laster och lättare att utforma med hänsyn till kriticitetsrisk.</p> <p><i>Reservalternativ:</i> Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.</p>
<p><i>Alternativa inkapslingssätt:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bränsleelement placeras i förtillverkad kapsel, hålrummen fylls med smält bly, tättslutande lock appliceras med elektronstrålesvetsning.</li> <li>• Bränsleelement placeras i förtillverkad kapsel, hålrummen fylls med kopparpulver, ett lock monteras. Hela paketet behandlas i en ugn för het isostatisk pressning och blir en solid kropp.</li> </ul>	<p><i>Alternativa inkapslingssätt utreds, bl a att hålrum mellan bränsleelementen fylls med sand eller glaspärlor.</i></p>	
<p><i>Antal bränsleelement per kapsel:</i> 8 eller 9 BWR-element (beroende av valt alternativt inkapslingssätt (se nedan).</p>	<p><i>Antal bränsleelement per kapsel (huvudalternativet):</i> 12 BWR-element, alternativt 4 PWR-element.</p>	<p><i>Antal bränsleelement per kapsel (huvudalternativet):</i> Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.</p>
	<p><i>Alternativa tillvägagångssätt för tillverkning av kopparhöljet:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Varmpressning av kopparrör.</li> <li>• Valsning och formning av en kopparplåt med längsgående svets.</li> </ul>	<p><i>Alternativa tillvägagångssätt för tillverkning av kopparhöljet:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rullpressning/Kantpressning av rörhalvor som sammanfogas med elektronstrålesvetsning.</li> <li>• Extrudering av hela rör.</li> </ul>
	<p><i>Alternativa svetsmetoder för kopparlock:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektronstrålesvetsning (alt 1).</li> <li>• Friktionssvetsning (alt 2).</li> </ul>	<p>Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.</p>
<p><i>Kopparkapselns dimensioner:</i>  Längd: 4,5 m.  Yttre diameter: 80 cm.  Inre diameter: 60 cm.</p>	<p><i>Kapselns dimensioner:</i>  Längd 4,85 m.  Yttre diameter: 88 cm.  Inre diameter: 68 cm.</p>	<p><i>Kapselns dimensioner:</i>  Fortsatta studier av exakta dimensioner för kapseln och av val av materialkvaliteter.</p>

KBS-3-rapporten 1983	Fud-program 92	Fud-program 95
<p>Kopparhöljets tjocklek: 10 cm.</p> <p><i>Motiv:</i> Studier av effekter av olika korrosionsprocesser har visat att kapslarna kan komma att utsättas för gropfrätning på ytan. Enligt beräkningar är tiden för genomfrätning av en kopparkapsel med 10 eller 20 cm tjocklek mer än en miljon år, både i ett sannolikt och i ett ogynnsamt fall.</p>	<p>Väggens tjocklek: 10 cm, varav 5 cm stål, 5 cm koppar.</p> <p><i>Motiv</i> för 5 cm kopparhölje: Några processer som kan leda till genombrott på kapseln på grund av korrosion av kopparhöljet på kortare tid än en miljon år har inte identifierats.</p>	<p>Väggens tjocklek: Minst 10 cm, varav minst 5 cm den gjutna innerbehållaren, 5 cm koppar</p> <p><i>Motiv</i> för kopparhöljets tjocklek anges inte.</p>
<p>Vikt fylld kapsel: 22 ton (svetsad kapsel), 18,5 ton (isostatiskt pressad kapsel).</p>	<p>Vikt fylld kapsel: 16 ton (huvudalternativet); fortsatta studier.</p>	<p>Vikt fylld kapsel: 25 ton (huvudalternativet); fortsatta studier.</p>
		<p>Metodutveckling för oförstörande provning av kapslar.</p>

## 8 Inför platsundersökningsskedet åren 1997–2001

### 8.1 Fud-program 98 – allmän inriktning

I september 1998 presenterade SKB det femte forskningsprogrammet enligt bestämmelserna i kärntekniklagen, Fud-program 98. Ett detaljerat program för forskning och utveckling 1999–2004 ingick i form av en separat ”underlagsrapport” /8-1, 8-2/.

Parallellt med programmet publicerade SKB ett antal rapporter med ytterligare redovisningar, särskilt i de frågor som regeringen hade tagit upp i sitt beslut om Fud-program 95. Av speciellt intresse för föreliggande framställning är den rapport som får betraktas som ett svar på regeringens krav i december 1996 (se avsnitt 7.10.7) på att SKB skulle redovisa en systemanalys av hela slutförvarssystemet. /8-3/. SKB:s hantering av detta krav sammanfattas i bilaga 2 till föreliggande rapport.

Jämfört med tidigare program innehöll Fud-program 98 mer utförliga översikter av SKB:s arbete med såväl KBS-3-metoden som med andra metoder. Programmet innehöll även en koncentrerad sammanställning av hur arbetet med slutförvaring av använt kärnbränsle hade utvecklats under de senaste cirka 25 åren, alltså sedan AKA-utredningen började sitt arbete.

Stor vikt hade i Fud-program 98 lagts vid den redaktionella utformningen. Avsikten var att läsare utanför fackmännens krets nu lättare än tidigare skulle kunna tillgodogöra sig texten. Programmet presenterades i en situation när SKB kommit igång med så kallade förstudier i ett antal kommuner om dessas förutsättningar att hysa ett ”djupförvar” för använt kärnbränsle. Vidare hade – genom de förslag till ny miljöbalk och ändringar i kärntekniklagen som regeringen hade presenterat tidigare under år 1998 – det skapats ökad klarhet om innebörden av bestämmelser om samråd kring upprättande av kommande miljökonsekvensbeskrivningar. SKB förklarade att det viktigaste målet nu var att få möjlighet att börja med så kallade platsundersökningar på minst två platser i landet. För att uppnå detta mål planerade SKB att fram till år 2001 bland annat /8-1 s 15/:

- göra en samlad redovisning av allt underlag (översiktsstudier, förstudier, jämförelsematerial, urvalsunderlag) som tagits fram inför val av platser för platsundersökningar,
- redovisa en ny heltäckande analys av den långsiktiga säkerheten och få den granskad av internationella experter,
- fortsätta arbetet med stödjande forskning om KBS-3-metoden och alternativa metoder,
- fortsätta arbetet med teknikutveckling och projektering för inkapsling och djupförvaring,
- ta fram underlag för ansökan om tillstånd att bygga en inkapslingsanläggning.

SKB välkomnade synpunkter på programmet (s 22) och såg det som särskilt angeläget att få:

- klarlagt om djupförvaring enligt KBS-3-metoden även i fortsättningen ska vara den som prioriteras,
- synpunkter och råd angående det underlag som SKB tog fram inför valet av platser för platsundersökningar,
- synpunkter och råd om vad som skulle ingå i kommande miljökonsekvensbeskrivningar.

De grundprinciper för kärnavfallshanteringen som SKB hade angett i både Fud-program 92 och Fud-program 95 (jfr avsnitt 7.2 respektive 7.8) var i princip oförändrade, men formulerades nu på i huvudsak följande sätt (s 29):

- Det svenska kärnavfallet ska tas om hand i Sverige. Huvudlinjen är att kärnbränslet ska mellanlagras utan uppärbetning för att sedan slutförvaras djupt nere i berggrunden.
- Den långsiktiga säkerheten bör baseras på en metod som inte förutsätter tillsyn 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 tillsyn och underhåll. Kunskapen om framtidens samhälle är för begränsad för att bygga den långsiktiga säkerheten på denna förutsättning.

- Det finns skäl att så långt som möjligt behålla handlingsfriheten om bättre eller enklare lösningar kommer fram eller om man till exempel omvärderar dagens inställning att inte återvinna (upp- och bearbeta) något av bränslet. (En genomgång av alternativen för att långsiktigt ta hand om kärnbränslet hade redovisats i en separat rapport.)
- Kärnavfallsprogrammet ska genomföras i steg och först inriktas mot en demonstrationsdeponering (med möjlighet till återtag) av cirka tio procent av den beräknade totala mängden använt kärnbränsle. Ett beslut om att genomföra demonstrationsdeponeringen kan tas när SKB lämnat in en ansökan för de anläggningar som behövs och denna har prövats av bland andra myndigheter, berörd kommun och regeringen. Ansökan kommer att innehålla en ingående miljökonsekvensbeskrivning med bland annat en samlad redovisning av säkerhets- och strålskyddsfrågorna och av alternativ i fråga om såväl metod som plats.

SKB:s planering var som tidigare att inkapslingsanläggningen skulle förläggas i anslutning till Clab. Om annan lokalisering blev aktuell, så skulle det oinkapslade bränslet transporteras dit från Clab i liknande behållare som nu användes för transporter mellan kärnkraftverken och Clab.

Under förutsättning att inkapslingsanläggningen lokaliserades enligt SKB:s planer skisserades följande hanteringsgång (s 52):

”Det inkapslade bränslet kommer att transporteras till djupförvaret i robusta behållare. Behållarna kommer att likna dem som används för dagens bränsletransporter. I huvudalternativet består djupförvaret av ett system av deponeringstunnlar på 400–700 m djup. Kapslarna med bränsle placeras en och en i deponeringshål i tunnlarbotten. Varje kapsel omges av block av kompakterad bentonitlera.

SKB planerar att genomföra djupförvaringen i två steg. I det första steget vill vi demonstrera att djupförvaringen fungerar tekniskt. Då deponeras cirka 400 kapslar med använt kärnbränsle, vilket motsvarar cirka tio procent av den totala mängden.

När deponeringen har demonstrerats ska erfarenheterna utvärderas innan beslut om vidare utbyggnad och deponering av återstående avfall tas. Då utvärderas också all annan tillgänglig kunskap om olika metoder att ta hand om och förvara det använda bränslet. Det redan deponerade bränslet kan också återtas för annan behandling om man så skulle vilja. Detta skulle kräva nya anläggningar bland annat för mellanlagring av kapslar. Återtagning av inkapslat bränsle förblir möjligt även under den fortsatta deponeringen och lång tid efter att djupförvaret förslutits. De nödvändiga insatserna för återtag ökar dock med tiden.”

## 8.2 KBS-3 i Fud-program 98

### 8.2.1 Övergripande frågor

I ett kapitel med rubriken *Teknik* sammanfattade SKB de åtgärder inom olika områden som planerades inför det fortsatta arbetet med att utveckla KBS-3-systemet (s 115–145). Först beskrevs grundläggande tekniska krav på kapseln, på bufferten, på berggrunden, på återfyllningsmaterialet och på förslutningarna vad gällde den långsiktiga säkerheten. Mot bakgrund av dessa grundläggande tekniska krav redovisades därefter pågående och planerat arbete vad gällde:

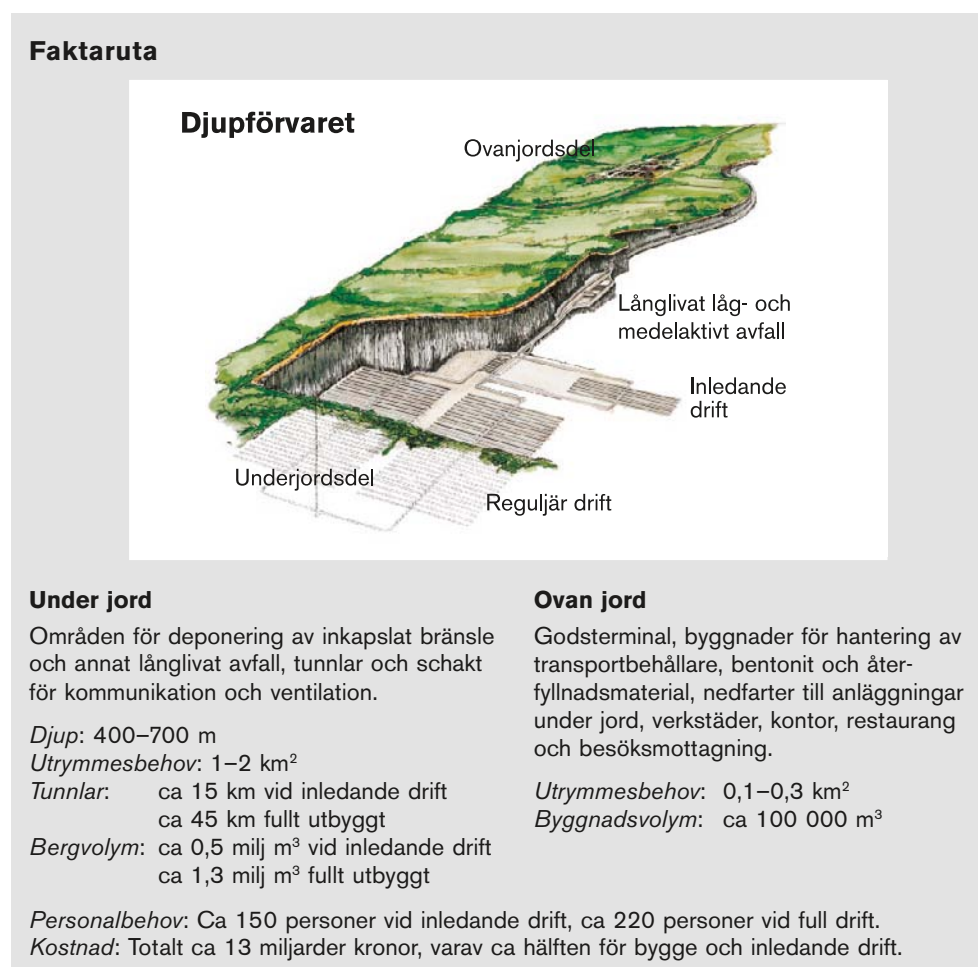
- utformning av kapseln,
- inkapsling och transport till djupförvar,
- utformning av djupförvaret,
- eventuellt återtag av deponerade kapslar,
- provning av teknik i full skala.

Planerade insatser för forskning och utveckling inom bland annat områdena kapselmaterial, buffert och återfyllning, strukturgeologi och bergets mekaniska stabilitet samt vattenflöde i berg redovisades i underlagsrapporten till Fud-programmet /8-2/.

I avsnitt 8.2.2–8.2.8 återges viktigare punkter i dessa redovisningar, men i starkt sammanfattad och förenklad form. En kortare översikt av vad SKB anförde i Fud-program 98 om säkerhetsanalys finns i avsnitt 8.2.9.

En redogörelse lämnades om projekteringsarbetet med att utforma djupförvaret för använt kärnbränsle. Framställningen illustrerades med en faktaruta enligt figur 8-1, men SKB framhöll samtidigt att utformningen ”än så länge” var baserad på allmänna data om berget (s 128).

Liksom i Fud-program 95 förutsattes att djupförvaret skulle byggas ut i två steg (se avsnitt 7.8.1). SKB:s redovisning av dessa steg var i Fud-program 98 dock mindre detaljerad (s 52). I anslutning till redogörelsen nämnde SKB också att långlivat låg- och medelaktivt avfall kan deponeras i djupförvaret skilt från det inkapslade bränslet, men även på annan plats.



**Figur 8-1.** Faktaruta 1998 om djupförvaret (Fud-program 98).

## 8.2.2 Kapsel, inkapslingsfrågor

De grundläggande kraven på kapseln definierades (s 115–116) mot bakgrund av att kapseln har två funktioner, nämligen att isolera avfallet samt att fördröja spridningen av radionuklider om isoleringen skulle brytas.

Grundläggande krav på kapselns isolerande funktion angavs därför vara att kapseln ska:

- vara tät vid deponeringen,
- vara beständig i den kemiska miljö som förväntas i förvaret,
- tåla de mekaniska påfrestningar som förväntas i förvaret.

För den fördröjande funktionen ska kapseln utformas så att:

- värme och stråldos till närområdet (buffert och berget) begränsas så långt möjligt,
- utflödet av radionuklider fördröjs om kapseln skadas,
- materialet i kapseln inte påverkar upplösningen av bränslet eller egenskaperna för radionuklidernas transport genom buffert och berg,
- det aldrig kan uppstå kriticitet även om vatten tränger in i kapseln.

Dessutom ska kapseln uppfylla de krav som ställs vid såväl normal som onormala driftfall under hanteringen, kunna transporteras, deponeras och (vid behov) återtas på ett säkert sätt samt kunna serietillverkas enligt specificerade kvalitetskrav.

Val av material för kapseln – koppar – motiverades (s 119) med att koppar bedömdes dels ha den livslängd som behövs, dels ha minimal påverkan på övriga barriärer i djupförvarssystemet.

Den referenskapsel som valts bestod av en yttre korrosionsbarriär av koppar och en tryckbärande insats av segjärn. Kapseln skulle rymma antingen tolv BWR-element eller fyra PWR-element, ha en diameter av 1 050 millimeter och längd av 4 830 millimeter. Totalvikten skulle vara cirka 25 ton (med BWR-element) alternativt cirka 27 ton (med PWR-element).

Den tryckbärande insatsen av segjärn skulle gjutas, med botten, i ett stycke. Insatsens lock skulle tillverkas av stål, skruvas fast med en bult i centrum och förses med en ventil som skulle göra det möjligt att ersätta luften i insatsen med ädelgas utan att locket behöver lyftas av. Väggarna mellan förvarspositionerna för bränsleelementen skulle vara minst 50 millimeter tjocka. Insatsens godstjocklek, alltså det minsta avståndet mellan förvarspositionerna till utsidan av insatsen skulle också vara minst 50 millimeter. Mot bakgrund av att den totala godstjockleken mellan förvarspositionerna och kopparkapselns utsida måste vara minst 100 millimeter hade man fastnat för att kopparkapseln borde vara 50 millimeter tjock. Men ur korrosionssynpunkt bedömdes nu att det endast skulle krävas 15 millimeter koppar, varför man undersökte möjligheterna att tillverka en kopparkapsel med 30 millimeters tjocklek (varvid insatsens tjocklek skulle behöva ökas till minst 70 millimeter).

Kopparlocket förutsattes bli sammanfogat med kapseln genom elektronstrålesvetsning. Men försöken med denna teknik vid det år 1998 färdigställda Kapsellaboratoriet hade visat på vissa problem och utvecklingsarbetet fortsatte därför. Även olika försök med oförstörande provning skulle fortsätta. Framställningen illustrerades enligt figur 8-2.

Den redogörelse som lämnats i Fud-program 95 (se ovan avsnitt 7.8.2) om varför tidigare kapselkonstruktioner nu lagts åt sidan upprepades i Fud-program 98 (s 120). Påpekanden från bland andra Statens kärnkraftinspektion om behov av ytterligare utredningsarbete kring koppar, främst kryptegenskaper och korrosionsfrågor, hade beaktats, men utredningsarbetet pågick fortfarande. Vidare aviserades att tekniken för förslutning och oförstörande provning av kapseln skulle vidareutvecklas under de närmaste åren (s 121).

Fud-program 98 innehöll även en redogörelse (s 121–127) för hur tillverkning av kopparrör och segjärnsinsatser skulle ske och vara organiserad, för hur inkapslingsanläggningen skulle vara utformad och för de olika arbetsmomenten vid inkapsling. Vidare redovisades skälen för att inkapslingsanläggningen skulle lokaliseras i anslutning till Clab i Oskarshamn samt hur transporten



**Figur 8-2.** Kopparkapsel med gjuten insats av järn för BWR-bränsle (Fud-program 98).

kunde ske från inkapslingsanläggningen till ett slutförvar. Samtidigt framhölls i programmet att det fanns alternativa lokaliseringar för inkapslingsanläggningen, såsom ”vid slutförvaret, vid en befintlig kärnteknisk anläggning eller på någon annan plats” (s 122).

SKB erinrade också om att man i Fud-program 95 angett att avsikten var att vid årsskiftet 1997/1998 lämna in en ansökan om tillstånd att uppföra inkapslingsanläggningen. Den planering som nu gällde var att en sådan ansökan skulle lämnas in ”först när platsundersökningar för djupförvaret påbörjats, det vill säga tidigast 2002” (s 127).

### 8.2.3 Buffert

Liksom för kapseln kan även kraven på bufferten hänföras till en isolerande och en fördröjande funktion (s 116). Den isolerande funktionen innebär att bufferten ska:

- helt omsluta och skydda kapseln samt hålla den centrerad i deponeringshålet,
- hindra strömning av grundvatten genom bufferten och därmed hindra att korrosiva ämnen transporteras till kapseln på annat sätt än genom diffusion.

För den fördröjande funktionen ska bufferten ge en miljö där transport av radionuklider sker genom diffusion och där dessa sorberar på ytan av lerpartiklarna. Gas som bildas inuti en skadad kapsel ska kunna komma ut.

I det detaljerade programmet för forskning och utveckling åren 1999–2004 /8–2/ preciserades kraven på buffertmaterialets funktioner enligt i huvudsak följande (s 49):

- Den hydrauliska konduktiviteten bör vara så låg att en eventuell transport av korroderingar och radionuklider sker enbart genom diffusion.
- Gasgenomsläppligheten ska vara tillräcklig för att stora mängder gas, som eventuellt bildas i en skadad kapsel, ska kunna passera. Gasgenomgången får inte leda till kvarstående genomsläppliga kanaler eller hålrum i bufferten.

- Svälltrycket ska vara tillräckligt högt för att ge god kontakt med omgivande berg och med kapseln, men inte högre än vad kapseln och omgivande berg kan utstå.
- Deformerbarheten ska inte vara större än att kapslarnas läge behålls, men heller inte mindre än att berg rörelser kan tas upp utan att kapslarna skadas.
- Kolloidala partiklar ska filtreras av bufferten.
- Värmeledningsegenskaperna ska vara sådana att värmen från kapslarna inte leder till oacceptabla fysikaliska och kemiska förändringar av bufferten.

Med utgångspunkt från dessa krav redovisades i underlagsrapporten dels ett antal frågor som kunde ”ses som utredda”, dels ett antal frågeställningar som betecknades som ”kvarstående” (s 58–59).

Till kategorin ”utredda frågor” hänfördes bland annat frågor om:

- temperaturförlopp och värmeinverkan på porvattentrycket i bufferten,
- erosion och borttransport av buffert som trängt in i sprickor av omgivande berg,
- provning av kommersiellt tillgängliga smektitiska lermaterial inför val av buffertmaterial.

Bland kvarstående frågeställningar nämndes bland annat följande:

- kemisk långtidsstabilitet hos buffertmaterialet,
- förståelse för hur gas kan transporteras genom bentonit,
- åtgärder för att uppnå tillräcklig densitet av bufferten i spalten mellan bentonitblock och det omgivande berget,
- hur bufferten skulle kunna påverkas om vattenflödet skulle öka till följd av skjuvdeformationer på lång sikt i berggrunden.

#### 8.2.4 Återfyllning och förslutning

De grundläggande kraven på återfyllningsmaterialet i deponeringstunnlar och övriga utrymmen var enligt Fud-program 98 /8–1/ i huvudsak att materialet ska (s 117):

- bidra till att tunnarna förblir stabila och hålla bentoniten kring kapslarna på plats,
- förhindra eller begränsa vattenflödet kring kapselpositionerna,
- inte medföra att grundvattnets kvalitet försämras,
- vara kemiskt stabilt under lång tid.

Kraven på tillfälliga förslutningar i tunnlar och schakt preciserades till att de ”dels håller buffert och återfyllningsmaterial i det inneslutna området på plats, dels förhindrar eller reducerar vattentransport från det inneslutna området innanför pluggarna till det öppna området utanför”. För permanenta förslutningar gällde att kraven inte kan preciseras utan tillgång till data från aktuell plats och resultat av funktionsanalyser.

Olika material studerades och provades i laboratorium. Blandningar av bentonit och krossat berg, eller bentonit och kvartssand hade visat sig lämpliga (s 134). Även möjligheten att använda enbart bergkross studerades. Inledande fältförsök med blandning, återfyllning och packning i tunnlar hade gjorts vid Äspölaboratoriet.

Frågeställningar kring utformning av permanenta pluggar – om sådana över huvud taget behövs – och kring förslutning av borrhål från undersökningsarbeten berördes också (s 135–136). Bland annat aviserades försök i full skala vid Äspölaboratoriet.



I det detaljerade forskningsprogrammet /8-2/ preciserades tre generella krav för återfyllningen (s 51):

- Deformerbarheten ska inte vara större än att expansionen uppåt av bufferten i deponeringshålen minimeras.
- Återfyllningen bör inte ge betydelsefull kemisk påverkan på bufferten.
- Där återfyllningen ska begränsa grundvattenströmningen kommer specifika krav på hydraulisk konduktivitet och svällningstryck att formuleras.

Hur dessa krav skulle uppnås var föremål för undersökningar (s 58–59).

### **8.2.5 Berget på förvarsdjup**

I Fud-program 98 /8-1/ framhöll SKB att även berget har en isolerande och en fördröjande funktion, varför kraven kunde delas upp i två kategorier (s 117). För att fylla den isolerande funktionen ska berggrunden:

- utgöra en kemisk och mekaniskt stabil miljö för förvaret,
- ge en kemisk miljö som är långsiktigt stabil och gynnsam med avseende på de övriga barriärernas funktion,
- minimera risken för framtida intrång och alternativa användningar (till exempel gruvor).

För den fördröjande funktionen ska grundvattnets sammansättning vara sådan att radionuklidernas löslighet begränsas. Berggrunden ska också begränsa radionuklidernas transport med grundvattnet till biosfären.

Utöver dessa krav på långsiktig säkerhet tillkommer att berggrunden måste ha sådana egenskaper att förvaret kan byggas och drivas med betryggande säkerhet och känd teknik.

I underlagsrapporten till Fud-program 98 /8-2/ presenterades översiktliga sammanställningar av dels de forskningsprojekt som bedrivits med utgångspunkt från Fud-program 95, dels planerad verksamhet för de kommande åren (s 61–75).

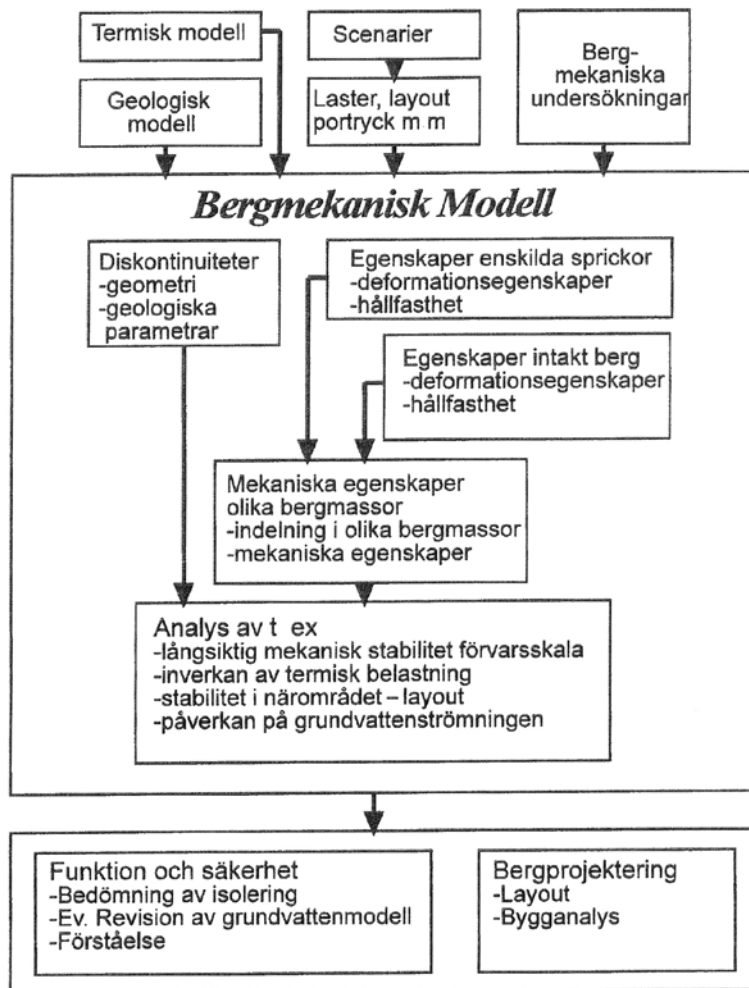
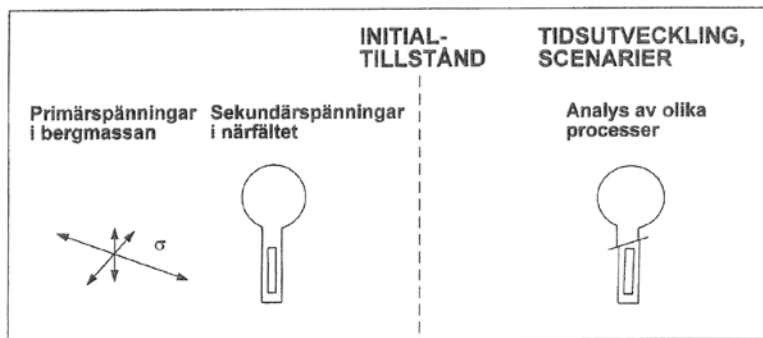
Som prioriterade mål för perioden 1999–2004 angavs att (s 67):

- sammanställa tillgänglig kunskap om vad de tektoniska och seismiska konsekvenserna kan bli för ett djupförvar i det svenska urberget,
- sammanställa en metod för kartläggning och tolkning av strukturgeologiska element, lineament, zoner och sprickor. Metoden ska användas vid karakterisering av de geologiska förutsättningarna för byggande och drift av ett djupförvar.

Ett antal ”prioriterade FoU-insatser” inom områdena strukturgeologi och mekanisk stabilitet redovisades. Dessa insatser syftade till att få underlag för upprättande av bergmekaniska modeller. En sådan schematisk modell åskådliggjordes enligt figur 8-3. Det underströks att olika processer som exempelvis nybildning av sprickor eller rörelser längs existerande sprickor kan i ett långsiktigt perspektiv äga rum i stor eller liten omfattning (s 71). För att kunna göra säkerhetsmässiga bedömningar måste man förstå och kunna beskriva initialtillståndet, och dessutom för olika scenarier kunna uppskatta omfattningen och konsekvenserna av de olika processerna (övre delen av figuren). För detta upprättas och analyseras bergmekaniska modeller (undre delen av figuren).

### **8.2.6 Eventuellt återtag av deponerade kapslar**

Hur man skulle kunna gå till väga för att återta deponerade kapslar beskrevs översiktligt i /8-1/ (s 137–138). Återtag skulle kunna bli aktuellt för samtliga 400 kapslar i det första steget av djupförvaret, om en annan metod för att ta hand om eller ta vara på det använda kärnbränslet skulle bli aktuellt i framtiden. Återtagna kapslar skulle behöva mellanlagras i en särskild anläggning. Det skulle också kunna bli aktuellt att ta upp en enskild kapsel om det visade sig att något av säkerhetskraven inte var uppfyllt.



**Figur 8-3.** Övre: Analys av förvarets långsiktiga säkerhet förutsätter relevanta beskrivningar av initialtillståndet och av tidsutvecklingen. Undre: De bergmekaniska frågeställningarna med analyser i sitt sammanhang av krav på indata och syfte. (Fud-program 98.)

Innan bentonitleran i ett deponeringshål hade mätts med vatten och svällt, bedömdes att det var möjligt att lyfta upp kapseln till deponeringstunneln utan att ta bort bentoniten. Men om bentoniten hade hunnit vattenmättas, så måste kapseln först friläggas. Fyra olika tekniker för att frilägga en kapsel hade identifierats och jämförts som en grund för fortsatt utvecklingsarbete. Vidare beskrevs hur frilagda kapslar skulle lyftas upp och därefter transporteras till ett särskilt mellanlager, ovan eller under mark.

### 8.2.7 Deponeringsteknik, provning av teknik i full skala

Frågor kring *tillverkning av bentonitblock* togs också upp, varvid för- och nackdelar med de två metoderna isostatisk pressning och enaxlig pressning redovisades /8-1 s 132/. I det sammanhanget redovisade SKB även de utvecklingsinsatser som behövdes för utveckling av deponeringsutrustning och genomförande av en deponeringssekvens som skulle innehålla följande steg (s 133):

- Kontroll, dokumentation av deponeringshålet, samt preparering genom bottenavjämning.
- Applicering av solida bentonitblock som ska ligga under kapseln och ringformade block som ska omge kapseln.
- Deponering av kapseln.
- Applicering av bentonitblock ovanför kapseln.
- Återfyllning med bentonit och grus upp till tunnelnivån.

Alla steg måste ske i strålskyddad miljö. Strålskyddet skulle innebära att kapseln helt omsluts av strålskärm tills deponeringen är genomförd. Utvecklingsarbete avseende fordon och annan utrustning hade intensifierats.

Det program för *provning av teknik i full skala* som ingick i Fud-program 98 omfattade följande delar (s 139–145):

- Provtillverkning av kapslar.
  - Provtillverkning av kopparkomponenter.
  - Provtillverkning av gjutna insatser.
  - Kvalitetssäkring.
  - Val av metoder för tillverkning av kapselns samtliga delar.
- Utveckling av svetsteknik (i det s k Kapsellaboratoriet som skulle tas i bruk hösten 1998).
  - Ta svetsutrustningen i drift till full effekt.
  - Fastställa grundparametrar för svetsutrustningen.
  - Uppnå en felfri och kontrollerbar svetsprocess.
  - Fastställa drifttillgänglighet och underhållsbehov.
- Utveckling av metoder för oförstörande provning (i Kapsellaboratoriet).
- Borrning av deponeringshål (i Äspölaboratoriet).
- Provning av deponeringsmaskin (i Äspölaboratoriet).
  - Utveckla och prova metodik och utrustning för deponering av kapslar.
  - Demonstrera de olika stegen vid deponering och återtag av kapslar.
- Provning av teknik för återfyllning.
- Provning av återtag.

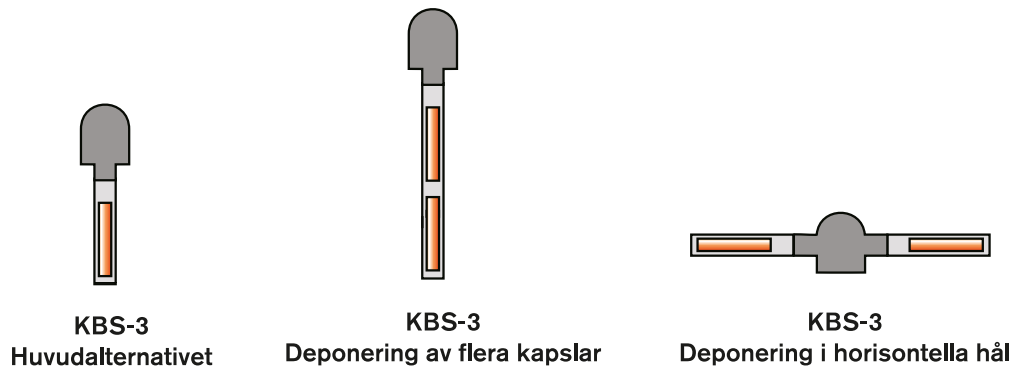
### 8.2.8 Varianter av KBS-3

I Fud-program 98 redovisades också vilka ”varianter” av KBS-3-metoden som SKB studerade eller hade studerat. Dessa varianter var (s 129–130) dels placering av flera kapslar i samma deponeringshål, dels placering av kapslarna i horisontella deponeringshål borrade i tunnelväggen. Av figur 8-4 framgår hur de olika varianterna i princip skiljde sig från huvudalternativet.

SKB nämnde i detta sammanhang även alternativet ”horisontell deponering i medellånga tunnlar”, vilket borde studeras närmare (jfr nedan avsnitt 8.7.8).

Förutom själva placeringen av kapslarna hade studierna också omfattat olika sätt att genomföra deponeringen och principerna för strålskärning.

I detta sammanhang erinrade SKB också om att man i början av 1980-talet hade studerat möjligheterna att utforma förvaret i två plan med cirka 100 meters nivåskillnad mellan planen. Dessa studier skulle nu fortsätta, vilket också var i samklang med vad Kärnkraftinspektionen uttalade vid granskningen av Fud-program 95 (jfr avsnitt 7.10.5).



Figur 8-4. Varianter av KBS-3 (Fud-program 98).

### 8.2.9 Säkerhetsanalys

Vid granskningen av Fud-program 95 hade såväl bland andra Kärnkraftinspektionen och KASAM som regeringen framhållit behovet av fortsatt arbete med inriktning på säkerhetsanalys (se avsnitt 7.10.6 och 7.10.7).

SKB meddelade i Fud-program 98 (s 147) att arbete pågick med en ny säkerhetsanalys, kallad Säkerhetsrapport 97 (SR 97), som beräknades kunna redovisas under år 1999. I denna var avsikten att analysera och jämföra förhållandena på tre olika platser i Sverige. Sedan SR 97 hade redovisats var avsikten att såväl själva säkerhetsanalysen som den metodik och andra verktyg som använts för att genomföra analysen skulle utvärderas. Frågor kring SR 97 behandlas nedan i avsnitt 8.4.

## 8.3 Granskningen av Fud-program 98

### 8.3.1 Allmän inriktning och övergripande frågor

Som framgått av avsnitt 8.1 hade SKB i Fud-program 98 förklarat att det viktigaste målet var att få möjlighet att påbörja platsundersökningar på minst två platser i landet. SKB önskade också få ”klarlagt” om KBS-3-metoden ”även i fortsättningen ska vara den som prioriteras”.

Statens kärnkraftinspektion /8-4/ menade att Fud-program 98 uppfyllde de grundläggande kraven enligt 12 § kärntekniklagen och betecknade programmet som ”i huvudsak ändamålsenligt när det gäller att utveckla och utprova en metod för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall i svenskt urberg... Även om mycket tekniskt utvecklings- och utprovningensarbete återstår talar hittills föreliggande underlag för att KBS-3-metoden är tekniskt realiserbar” (s 3). Inspektionen uttalade i detta sammanhang också – med hänvisning även till Statens strålskyddsinstitut – att ”någon form av slutförvaring i djupa geologiska formationer framstår som den mest ändamålsenliga metoden för att slutligt omhänderta det använda kärnbränslet och långlivat avfall från det svenska kärnkraftsprogrammet”.

Kärnkraftinspektionen delade SKB:s uppfattning ”att det behövs ett tydligare nationellt ställningstagande till KBS-3-metoden innan man går vidare med platsundersökningar” (s 4). Men för ett sådant ställningstagande krävdes, ansåg inspektionen ”ytterligare underlag i form av en fullständigare systemanalys med värdering av alternativa systemlösningar och en ny fördjupad säkerhetsanalys (SR 97)<sup>43</sup> av ett förvar av KBS-3-typ”. Kärnkraftinspektionen föreslog (s 1) att regeringen, innan platsundersökningar fick påbörjas, skulle godkänna bland annat ”en komplettering av analysen av alternativa systemlösningar, inklusive det så kallade nollalternativet”, och tillade att ”syftet är att verifiera på ett tydligare sätt att väsentligt bättre metod än KBS-3 inte rimligen står till buds för svenskt vidkommande.”

<sup>43</sup> Om SR 97, se avsnitt 8.4.

Även KASAM /8–5/ bedömde att Fud-program 98 uppfyllde de grundläggande kraven enligt 12 § kärntekniklagen (s 1). I likhet med Kärnkraftinspektionen menade också KASAM att SKB i samlad form borde presentera det underlag som avsågs ligga till grund för val av platser för platsundersökningar (s 3).

Ett avsnitt i yttrandet från KASAM hade rubriken ”KBS-3 – en prioriterad metod?” (s 17–34). I detta avsnitt framhöll KASAM inledningsvis att villkorslagen i slutet av 1970-talet hade tvingat fram ett snabbt ställningstagande till val av metod – det fanns helt enkelt inte tid att från början göra en systematisk genomgång av olika tänkbara strategier, metoder och utformningar, särskilt därför att kunskaperna om olika tänkbara metoder skiljde sig åt så mycket att meningsfulla jämförelser inte kunde underbyggas. SKB hade sedan hållit fast vid KBS-3-metoden, men under slutet av 1980-talet, efter uppmaning av dåvarande Statens kärnbränslenämnd, gjort en ingående utredning av en alternativ metod, nämligen WP-Cave.

Trots inriktningen på KBS-3-metoden hade SKB:s forskningsprogram sedan år 1986 gett resultat som enligt KASAM i stor utsträckning var tillämpliga även på andra sätt att utforma ”ett byggt förvar inom den översta kilometern av vår berggrund”. De val som projektorganisationen KBS hade gjort under slutet av 1970-talet och början av 1980-talet ”utifrån huvudsakligen vetenskapliga och tekniska kriterier” behövde emellertid nu granskas ”i belysning av de nya krav som tillkommit”. De krav som KASAM syftade på betecknades som ”frågor om etik, politik, opinionsbildning och beslutsprocess”.

KASAM formulerade sju ”krav och kriterier” som utgångspunkter för diskussioner om val av strategi och metod. Dessa kan sammanfattas enligt följande (s 19–21):

- Det använda kärnbränslet eller restprodukterna från någon behandling av bränslet ska slutförvaras inom Sveriges gränser.
- Den kort- och långsiktiga isoleringen av de radioaktiva ämnena i avfallet från biosfären får inte vara beroende av att en enstaka spridningsbarriär fungerar på förutsatt sätt (flerbarriärsystemet).
- Hela systemet för hanteringen av det använda bränslet ska optimeras med avseende på stråldoser över generationsgränserna.
- Slutförvaret får inte för sin säkra funktion efter förslutning kräva någon långsiktig tillsyn eller återkommande underhållsåtgärder.
- Slutförvaringen ska genomföras även med hänsynstagande till kostnaderna.
- Sluthanteringen i sin helhet måste självfallet uppfylla de krav på strålskydd och säkerhet som föreskrivits i gällande författningar.
- Slutförvaret ska utformas och deponeringsarbetet bedrivas så att möjligheter bevaras för framtida generationer att återta det deponerade avfallet. Men eftersom framtida generationer också ska ha rätt att avstå från sådana åtgärder, får slutförvarets funktionssätt och skyddsförmåga inte försämrats av att förvaret förbereds för en eventuell återtagning.

Med utgångspunkt från de nämnda kraven och kriterierna drog KASAM slutsatsen att endast den strategi som brukar kallas slutförvaring djupt ner i berggrunden var rimlig. En andra slutsats var enligt KASAM att inom ramen för denna strategi borde KBS-metoden prioriteras även i fortsättningen. KASAM motiverade sin inställning enligt i huvudsak följande (s 31–32):

”Metoden är den bästa när det gäller möjlighet att anpassa utformningen till förhållandena i berggrunden sådana de visar sig vara på platsen för slutförvaret. Metoden bygger på att bränslet innesluts i en utrymmessnål, kompakt modul – kapsel med omgivande bentonitbuffert. De små dimensionerna är gynnsamma när det gäller att placera avfallsmodulen i ett homogent bergsparti. Bränslet uppdelas på många kapslar vilket är en fördel i och med att en mindre mängd bränsle exponeras för grundvatten om och när det går håll på kapseln. Varje deponeringsmodul placeras strålningsmässigt isolerad från alla andra moduler. Detta underlättar deponeringen i angränsande håll och vilken åtgärd som helst, exempelvis återtagning, som kan behöva göras i efterhand med en redan deponerad kapsel. Den inte minst betydelsefulla fördelen är att ett slutförvar enligt KBS-metoden är upp-

byggt av ett stort antal likadana moduler av måttliga dimensioner. Detta underlättar tillverkningen av kapseln, bufferten och hanteringsutrustningen samt demonstration och verifiering av hanteringen av avfallet i en försvarsprototyp av måttliga dimensioner.”

Resonemanget ledde KASAM till fyra slutsatser, vilka kan sammanfattas enligt följande (s 32–34):

- Nollalternativet, att inte vidta den planerade åtgärden, kan bara vara ett nollalternativ i vår tid. Det kan inte bli en slutlig lösning. Ett uppskov med den planerade åtgärden kan bli påtvunget, om SKB får svårigheter med att verifiera sin metod eller det inte går att komma till beslut i lokaliseringsärendena. Ett uppskov med motiveringen att den internationella utvecklingen inom vetenskap och metodik kan leda till bättre lösningar än dem som nu är inom räckhåll, kan däremot inte försvaras. Väntan kommer att bli flera decennier lång, och vinsten i form av en bättre lösning kanske inte faller ut, men den kompetens som nu finns för att hantera problemen riskerar att förloras under tiden.
- Av tänkbara hanterings- och förvaringsstrategier i övrigt är det inte meningsfullt för SKB att inom överskådlig tid bedriva egna utvecklingsarbeten på något annat än djupförvaring i svensk berggrund. Transmutation av avfallsnuklider före slutförvaringen kan på lång sikt bli ett alternativ, men i så fall som en biprodukt av en eventuell användning av acceleratordrivna kärnreaktorer som en ny energikälla. Transmutation förutsätter dock en omprövning av den nuvarande inställningen i vårt land till upparbetning av använt kärnbränsle och till användning av kärnkraft överhuvudtaget. Det kunde dock vara befogat att låta en sammanställning av arbetsläget inom detta område ingå som ett stående inslag i kommande Fud-program.
- I valet mellan slutförvaring i ett byggt förvar inom den översta kilometern av berggrunden och slutförvaring i djupa borrhål på mer än en kilometers djup, förordar KASAM bestämt det byggda förvaret. Ett sådant förvar kan utformas på olika sätt och i valet mellan dessa förordas KBS-metoden. Det återstår för SKB att verifiera att det går att tillverka och installera de tekniska barriärerna – kapseln, bentonitbufferten och återfyllningen – så att denna del av barriärsystemet får de egenskaper som är nödvändiga för att slutförvaret i sin helhet ska kunna godtas med avseende på kraven på funktions säkerhet och strålskydd. Om denna verifikation skulle visa på brister i något väsentligt avseende i någon barriärs funktion, bör den första åtgärden vara att lösa problemet inom KBS-metodens ram.
- Eftersom KBS-metoden har ifrågasatts av många ända sedan den första rapporten publicerades och fortfarande ifrågasatts, kan SKB knappast underlåta att redovisa en alternativ metod. Av Fud-program 98 framgår att SKB avser att de närmaste åren genomföra en systemanalys och en säkerhets- och funktionsanalys av slutförvaring i djupa borrhål. KASAM tillstyrker att SKB gör en sådan utredning. Säkerhets- och funktionsanalysen kommer emellertid inte att bli lika väl underbyggd, som de säkerhetsanalyser som redovisats för KBS-metoden, men lika höga säkerhetskrav måste till sist ställas även på en alternativ metod. Det är därför enligt KASAM:s uppfattning viktigt att SKB i sin utredning också redovisar omfattningen och innehållet i det FoU-program, som kommer att behövas för att slutförvaring i djupa borrhål ska kunna analyseras och bedömas på en med KBS-metoden likvärdig grund. SKB bör också göra uppskattningar av dels den tid och de resurser som krävs för att genomföra detta FoU-program, dels av kostnaderna för programmet. Dessa uppskattningar behövs för att de, som har att ta ställning till frågan om redovisning av alternativ i olika sammanhang, ska få en uppfattning om vad det kommer att kosta att få två metoder att välja mellan i ett ärende, där det ställs så höga krav på redovisningarna som i detta fall.

### 8.3.2 Kapsel, inkapslingsfrågor

Statens kärnkraftinspektion /8–4/ konstaterade att utvecklingen av kapseln nu hade kommit i gång på allvar inom flera områden såsom tillverkningsteknik för kopparkapsel och insats av järn samt förslutning och kontroll. Värdet med tillkomsten av Kapsellaboratoriet för det fortsatta utvecklingsarbetet underströks. De påpekanden som gjordes av inspektionen kan sammanfattas enligt i huvudsak följande (s 31–33):

- Konstruktionsförutsättningarna för kapseln har härletts från de grundläggande kraven på kapseln på ett bra sätt, men dessa krav behöver motiveras bättre utifrån säkerhetsanalysen av slutförvaret.

- Den mekanism varmed fosfor påverkar koppars krypegenskaper behöver klarläggas. Vidare behöver SKB bättre motivera det krav som satts för koppars kornstorlek.
- Det centrala vid härledningen av kraven på kapselns vägg tjocklek är de antaganden och analyser som ligger till grund för de korrosionshastigheter som används vid dimensionering av koppars tjocklek, inte användningen av säkerhetsfaktorer i sig. En sammanställning om kapselkorrosion bör göras. Valet av vägg tjocklek påverkas dock av flera faktorer, främst möjligheterna att nå goda resultat vid tillverkning, förslutning och kontroll. En viktig uppgift för SKB är att väga dessa faktorer mot varandra.
- SKB:s påstående att rullformning och längdsvetsning är ett fungerande tillverknings sätt för kopparrör kan ifrågasättas. Extrudering och dornpressning är däremot intressanta alternativ som bör utredas vidare.
- Om inte utprovning i Kapsellaboratoriet av metoden med elektronstrålesvetsning utfaller väl inom rimlig tid, kommer en kraftigare satsning på alternativa metoder att behövas.
- Liksom SKB anser inspektionen att segjärn är ett bättre val av material för insatsen än gjutstål. Men segjärnets egenskaper är starkt beroende av den gjutna kroppens form och storlek. SKB bör därför undersöka gjutkroppens faktiska mekaniska egenskaper samt identifiera de defekter som kan finnas.
- SKB har ännu inte visat hur man med provning kan uppnå kriteriet högst 0,1 % defekta kapslar. SKB måste ta fram en bättre härledning av acceptanskriterier för tillåtna defekter i svetsen. Utvecklingsprogrammet för ultraljudsprovning måste fortsätta och ett motsvarande program för utveckling av provning med röntgen redovisas.
- En kritisk fråga för den tekniska genomförbarheten för KBS-3-metoden är att SKB kan visa att förslutning och kontroll verkligen finns tillgängliga och tillämpliga för serietillverkning. Detta innebär att senast inför ansökan om detaljundersökning ska ett antal fullstora kapslar ha tillverkats, förslutits och kontrollerats, samt kunnat visas uppfylla de krav som förutsätts i säkerhetsanalysen av den långsiktiga säkerheten.

Kärnkraftsinspektionen kommenterade också (s 33) det projekteringsarbete som utförts för kapsel-fabrik och inkapslingsanläggning, fann det vara rimligt, men påpekade att detaljutformningen kommer att styras av de tillverknings- och förslutningsmetoder som slutligen väljs. Inspektionen höll med SKB om fördelarna med att lokalisera inkapslingsanläggningen i anslutning till Clab i Oskarshamn, men efterlyste en systematisk analys av för- och nackdelar med olika lokaliseringsalternativ. Likaså efterlyste Kärnkraftsinspektionen en redovisning av transportkoncept under förutsättning att inkapslingsanläggningen inte blir samlokaliserad med Clab.

KASAM:s synpunkter /8-5/ kring kapselproblematiken var i sammandrag följande (s 70-71):

- De konstruktionskriterier för bränslekapseln som SKB nu redovisat representerar en detaljerad lista på krav som kapseln ska uppfylla. KASAM finner kraven väl genomtänkta och rimligt omfattande.
- När nu kompletta kapslar börjar bli tillgängliga i aktuella dimensioner och framtagna med planerad tillverkningsteknik, bör materialens egenskaper bekräftas med avseende på korrosion och mekaniska egenskaper under så realistiska betingelser som möjligt. De planerade fullskaleförsöken i Äspölaboratoriet kommer att ge värdefull information.
- Med tanke på att korrosionsforskning för kopparmaterial bedrivits under en 20-årsperiod är det önskvärt att SKB presenterar en bred vetenskaplig översikt över uppnådda resultat.

### 8.3.3 Buffert, återfyllning och förslutning

Såväl Statens kärnkraftsinspektion som KASAM valde att i respektive yttrande kommentera frågor om buffert och om återfyllning i ett och samma avsnitt. Ingen av dem kommenterade vad SKB redovisat i fråga om förslutning.

Sammanfattningsvis bedömde Kärnkraftsinspektionen /8-4/ det som väsentligt att SKB i större utsträckning än tidigare redovisade en helhetssyn på kravspecifikationen på utvalda material och samordnade detta arbete så att alla aspekter samtidigt täcktes in (s 43). Inspektionen ansåg att

SKB tydligare måste kunna visa att bufferten uppfyller de funktionskrav som ställs på bibehållna kemiska och fysikaliska egenskaper i ett långtidsperspektiv. En fortsatt kunskapsupbyggnad kommer att krävas, uttalade inspektionen, för att kartlägga de möjliga kemiska och strukturella omvandlingarna av bentoniten som kan ske på kort och lång sikt och för att kunna förutsäga deras effekter. Kärnkraftinspektionen ansåg också att SKB behövde förbättra förståelsen för bentonitens återmättnad.

KASAM /8-5/ konstaterade att bentoniten har en nyckelroll i djupförvarets barriärfunktioner, både som buffert kring bränslekapslarna och som tätande beståndsdel i återfyllningsmaterialet. KASAM sammanfattande sina slutsatser av granskningen i följande fyra punktsatser (s 75):

- På samma sätt som för kapseln är det angeläget att specificera konstruktionskriterier för buffertmaterialet, och redovisa hur dessa anses vara uppfyllda.
- Hela konstruktionskonceptets känslighet för dimensioner och toleranser bör analyseras inte minst med tanke på att ett betydande svälltryck erfordras för att bentoniten ska fungera på tänkt sätt. Vidare bör inverkan av packningsgrad vid tillslutningen ovanför bentoniten belysas. Svälltrycket får givetvis inte relaxera genom att bentoniten rör sig uppåt mot den anslutande tunneln.
- Det är viktigt att diffusionen in i och genom bentoniten av naturliga komponenter i grundvattnet och av radionuklider från bränslet studeras vid de vattenmättnads-, tryck- och temperaturförhållanden som kan råda i bentonitbufferten och med rimliga variationsområden för dessa och andra tillståndsvariabler.
- Det är likaså viktigt att undersöka i vilken grad bentonitens egenskaper kan komma att påverkas av jonbyten och utfällningar av utifrån inträngande ämnen och av tidsskalan för etablerandet av kemisk jämvikt mellan bentoniten och den omgivande berggrunden. Detta gäller såväl bufferten som återfyllningen.

#### 8.3.4 Berget på förvarsdjup

Statens kärnkraftinspektion /8-4/ efterlyste en tydlig diskussion om vilka kunskaper som SKB ansåg vara tillfyllest när det gällde ämnesområdet strukturgeologi och bergets mekaniska egenskaper (s 43). Inspektionen förklarade att den avsåg att särskilt följa SKB:s insatser inom detta område för att kunna ge synpunkter på var ytterligare insatser behöver göras under de närmaste åren. SKB:s samlade redovisning i Fud-program 98 i fråga om ämnesområdet vattenflöde i berg bedömde inspektionen däremot som i huvudsak ändamålsenlig.

KASAM /8-5/ saknade en sammanställning och diskussion om de kriterier bergmassan ska uppfylla för att ge ett säkert slutförvar. Som exempel på sådana kriterier pekade KASAM på homogenitet, sprickegenskaper, grundvattenflöden och grundvattenkemi. KASAM:s synpunkter i detta sammanhang kan sammanfattas i följande punkter (s 87):

- Basiska bergarter bör inte avskrivas som värdbergart för ett djupförvar framfört allt sett ur ett referensperspektiv.
- Alternativet att förlägga ett djupförvar i en tektonisk lins kan övervägas, eftersom eventuella kommande deformationer kan komma att tas ut i svaghetszonerna runt en sådan lins.
- Förhållandena i övergångszonen mellan berggrund och jordlager är ett försummat forskningsområde. Detta behöver aktiveras därför att dessa förhållanden har betydelse för grundvattnets in- och utströmning och för utströmningen av radionuklider som transporteras med grundvattnet.
- Den långa driftperioden med ett öppet tunnelsystem på stort djup kommer att påverka de hydrokemiska förhållandena kring ett djupförvar. SKB bör därför planera för ett mät- och övervakningsprogram under driften och efter förslutningen. Ett sådant program skulle ha som uppgift att kontrollera om de grundvattensgenskaper och det hydrokemiska tillstånd i förvaret som förutsatts i säkerhetsanalysen etableras i förväntad takt.

#### 8.3.5 Eventuellt återtag av deponerade kapslar

Kärnkraftinspektionen /8-4/ påpekade (s 35) att det i Sverige ”finns ännu inga formella krav på att återtagning av deponerat kärnbränsle ska vara möjligt”, men aviserade att myndigheten avsåg ställa



sådana krav i kommande föreskrifter om slutförvaring. Inspektionen sade sig hålla med SKB om att återtagning kan göras ”i ett antal olika skeden; från Clab, under inkapsling, under deponeringskedet, efter återfyllning och försegling av deponeringstunnlar och efter förslutning”. Men även om det vid slutförvaring ”inte kan vara tal om att planera för återtagning, dvs att i själva verket anse förvaret som ett mellanlager”, ansåg inspektionen att SKB behövde utveckla metoder för återtag för att kunna demonstrera sådana metoder i full skala senast innan beslut tas om att påbörja en detaljundersökning.

KASAM erinrade om att man redan år 1987 hade tagit upp frågan om ett etiskt förhållningssätt till slutförvaringen /8-5/. Det ställs, uttalade KASAM (s 20-21), särskilt höga krav på säkerheten i slutförvaringen, ”men fullkomlig säkerhet är ett ouppnåeligt mål i all verksamhet som kan få konsekvenser i framtiden. Beslut om slutförvaringen blir därför beslut under osäkerhet.” Den fortgående utvecklingen inom vetenskap och teknik kan, skrev KASAM, reducera men aldrig eliminera denna osäkerhet. KASAM ställde två principiella frågor:

- Har vår generation rätt att besluta och genomföra slutförvaringen nu, eller är det riktigare att överlåta beslutet åt våra mer kunniga ättlingar?
- Å andra sidan – har vi rätt att vältra över ansvar och arbete på våra efterkommande, eller är vi som är delaktiga i avfallets tillkomst skyldiga att själva ta hela ansvaret för dess bortkomst?

KASAM:s slutsats var att en generation som använt sig av kärnkraft har skyldighet att utveckla och verifiera en enligt tillgänglig kunskap säker metod för sluthantering av kärnavfallet och rättighet att genomföra den. Samtidigt bör denna generation inte beröva framtida generationer friheten att med sina kunskaper och värderingar handla under sitt ansvar och i sitt intresse. Ett sådant förhållningssätt leder, framhöll KASAM, logiskt till ett krav på att slutförvaret utformas och att deponeringsarbetet bedrivs så att möjligheter bevaras för framtida generationer att återta det deponerade avfallet. Efter som dessa generationer också ska ha rätt att avstå från åtgärder, får slutförvarets funktionssäkerhet och skyddsförmåga inte försämrats av att förvaret förbereds för en eventuell återtagning.

### **8.3.6 Deponeringsteknik, provning av teknik i full skala**

Kärnkraftsinspektionen /8-4/ såg visserligen ”inga större och direkt avgörande hinder för ett genomförande av KBS-konceptet ur bergbyggnadssynpunkt” (s 34). Bland de frågor som dock krävde fortsatt stor uppmärksamhet nämnde inspektionen tillförlitliga metoder för att kartlägga den så kallade skadezonen i tunnlar och deponeringshål, kriterier som ska gälla för att deponeringshål ska kunna accepteras eller behöva förkastas, hur man ska åstadkomma en jämn vattenmättnad av bentoniten samt om cementinjektering ska tillåtas runt deponeringshålen.

Varken Kärnkraftsinspektionen eller KASAM kommenterade uttryckligen det program för provning av teknik i full skala som ingick i Fud-program 98 (jfr avsnitt 8.2.7). Men KASAM /8-5/ framhöll i en kommentar under rubriken ”Äspölaboratoriet” (s 97) att detta laboratorium givetvis utgjorde en stor tillgång för utprovning av teknik i full skala inför färdigställandet av ett slutförvar. SKB borde därför dimensionera utrustningen i Äspölaboratoriet för en livslängd av minst 50 år. Då skulle det bli möjligt att där genomföra långsiktiga försök vars resultat blir av betydande värde när frågan om förslutning av förvaret ska avgöras.

### **8.3.7 Varianter av KBS-3**

De studier av varianter av KBS-3 som SKB aviserade i Fud-program 98 föranledde inga kommentarer från Kärnkraftsinspektionen eller KASAM.

### **8.3.8 Säkerhetsanalys**

Såväl KASAM som Statens kärnkraftsinspektion framförde i respektive yttrande synpunkter på uppbyggnaden av den säkerhetsanalytiska arbetet, SR 97, som SKB hade aviserat. Kärnkraftsinspektionen /8-4/ föreslog att regeringen, som ett av flera villkor för att påbörja platsundersökningar, skulle ha godkänt en ”ingående säkerhetsanalys av KBS-3-metoden” (s 2). Syftet med en sådan säkerhetsanalys var enligt inspektionen ”att göra troligt att KBS-3-metoden har goda förutsättningar att uppfylla de säkerhets- och strålskyddskrav som SKI och SSI preciserat de senaste åren” (s 13-14).

Kärnkraftinspektionen nämnde också att man avsåg genomföra en särskild granskning när SR 97 hade publicerats (s 37). Frågor kring SR 97 behandlas nedan i avsnitt 8.4.

### 8.3.9 Regeringens ställningstagande

Regeringens beslut med anledning av granskningen av Fud-program 98 fattades i januari 2000 /8-6/. Det formella *beslutet* var att regeringen dels konstaterade att programmet uppfyllde de krav som ställs i kärntekniklagen, dels ställde tre villkor för den fortsatta forsknings- och utvecklingsverksamheten. Ett av dessa villkor har relevans för föreliggande framställning och innebar att SKB skulle komplettera analysen av alternativa systemutformningar. I första hand skulle SKB belysa innebörden av nollalternativet. Vidare skulle alternativet deponering i djupa borrhål belysas med inriktning på omfattning och innehåll i det forsknings- och utvecklingsprogram som behövs för att denna metod ska kunna jämföras med KBS-3-metoden på likvärdiga grunder. (De två övriga villkoren gällde en samlad redovisning av slutförda förstudier och övrigt underlag för val av platser för platsundersökningar samt ett tydligt program för platsundersökningar.)

Den kompletterande analysen av alternativa systemutformningar skulle – liksom övriga begärda kompletteringar – föreligga ”senast” i samband med att Fud-program 2001 upprättades, det vill säga i september det året. Av regeringsbeslutet framgår också att om redovisningarna av de begärda kompletteringarna lämnas tidigare till Statens kärnkraftinspektion, så skulle inspektionen granska dem på motsvarande sätt som hade gällt för Fud-program 98. När inspektionen ansåg att redovisningarna var fullständiga skulle de överlämnas till regeringen ”så att nödvändiga beslut kan fattas”.

I den del av regeringsbeslutet som redovisade skälen för regeringens beslut sammanfattades de allmänna synpunkter på metodvalsfrågan som Kärnkraftinspektionen och KASAM hade anfört (se avsnitt 8.3.1). För egen del anförde regeringen (s 6) att det var ”angeläget att inom ramen för den kunskap som nu finns söka den bästa möjliga lösning som kan genomföras inom överskådlig tid och på en lämplig plats, samtidigt som satsning på forskning och utveckling fortsätter. Denna lösning ger samtidigt rimliga möjligheter till omprövning i framtiden.” Regeringen konstaterade vidare att ett fullständigt underlag för slutligt val av metod ”ännu inte föreligger ... Utifrån nu föreliggande material bedömer dock regeringen, i likhet med Kärnkraftinspektionen och Statens råd för kärnavfallsfrågor, att någon form av slutförvaring i berggrunden framstår som den mest ändamålsenliga.”

## 8.4 Säkerhetsanalysen SR 97

SKB publicerade i slutet av år 1999 säkerhetsanalysen SR 97 /8-7/. Denna hade tagits fram bland annat som svar på regeringens beslut i december 1996 med anledning av granskningen av Fud-program 95 (avsnitt 7.10.7).

I föreliggande avsnitt återges – i stark sammanfattning – först uppgifter om syfte och avgränsningar, metodik samt resultat och slutsatser i SR 97 (avsnitt 8.4.1–8.4.3). Därefter redovisas viktigare slutsatser från den granskning av SR 97 som Kärnkraftinspektionen och Strålskyddsinstitutet genomförde i samråd (avsnitt 8.4.4).

### 8.4.1 Syfte och avgränsningar

Säkerhetsanalysen SR 97 hade fyra konkreta syften, baserade på vad som hade begärts av Statens kärnkraftinspektion. Dessa syften var att (del I s 18):

- ge underlag för att påvisa att möjligheten att finna en plats i svensk berggrund där KBS-3-metoden uppfyller de krav på långsiktig säkerhet och strålskydd som anges i Kärnkraftinspektionens och Strålskyddsinstitutets föreskrifter,
- demonstrera metodik för säkerhetsanalys,
- ge underlag för att precisera de faktorer som ligger till grund för val av områden för platsundersökningar och härleda vilka parametrar som behöver bestämmas och vilka övriga krav som bör ställas på en platsundersökning,
- ge underlag för att härleda preliminära funktionskrav på kapseln och de övriga barriärerna.

Ambitionen med SR 97 var att genomföra en fullständig analys av den långsiktiga säkerheten för KBS-3-metoden. Den metodik som tillämpades omfattade bland annat systematiska hanteringar dels av alla de inre processer och yttre förhållanden som långsiktigt kan förändra förvaret, dels av de olika typer av osäkerheter som alltid omgärdar underlaget till en analys.

SR 97 byggde på data från tre verkliga platser. Data hade hämtats från SKB:s undersökningar vid Gideå i Ångermanlands län ("Ceberg"), Finnsjön i Norduppland ("Beberg") och Äspö utanför Oskarshamn i Småland ("Aberg"). Platserna hade valts som beräkningsexempel för att spegla olika förhållanden i svensk granitisk berggrund vad gäller geologi, grundvattenomsättning, vattenkemi, närhet till kust, nordlig eller sydlig förläggning samt omgivande biosfär. Tillgängliga data var störst för Aberg och minst för Ceberg.

#### **8.4.2 Metodik**

Metodik i analysen SR 97 innebar (del I s 13) att först beskriva förvarets tillstånd då det just förslutits och därefter analysera förändringar i tiden till följd av dels inre processer i förvaret, dels yttre påverkan.

Förvarets framtida utveckling analyserades som fem scenarier. Det första var ett *basscenario* där förvaret tänks vara byggt helt enligt specifikationer och där dagens förhållanden i omgivning, bland annat klimatet, tänks bestå. I de fyra övriga scenarierna visades hur utvecklingen skulle skilja sig från basscenarioet om förvaret skulle innehålla ett fåtal initialt defekta kapslar (*kapseldefektsscenario*), vid klimäförändringar (*klimäscenario*), vid jordskalv (*jordskalvsscenario*) och vid framtida oavsiktliga mänskliga intrång (*intrångsscenario*).

#### **8.4.3 Resultat och slutsatser**

Med utgångspunkt från de fyra redovisade syftena med SR 97 sammanfattas i det följande vilka resultat och slutsatser SKB ansåg sig kunna dra (del II s 439–455).

##### ***KBS-3-metodens säkerhet i svensk berggrund***

Den sammanfattande bedömningen var att ett säkert slutförvar enligt KBS-3-metoden kan byggas vid en plats där förhållandena liknar dem vid såväl Aberg, Beberg som Ceberg. Säkerhetsmarginalerna beräknas bli stora vid samtliga platser. SR 97 ger inte underlag för att tillmäta skillnader i den långsiktiga säkerheten mellan de tre platserna någon avgörande betydelse vid en tänkt sammanvägning av alla de faktorer som påverkar lokaliseringen av ett slutförvar för använt kärnbränsle. Sådana faktorer rör till exempel teknik, ekonomi, användning av mark, ingrepp i miljö och konsekvenser för samhället.

##### ***Metodik i säkerhetsanalys***

De metoder som hade prövats för hanteringen av osäkerheter i SR 97 bedömdes utgöra en tillräcklig grund inför kommande säkerhetsanalyser baserade på data från platsundersökningar.

##### ***Underlag för platsval och platsundersökningar***

Erfarenheterna från arbetet med SR 97 används vid pågående arbete med att formulera ett samlat program för undersökning och utvärdering av platser som kan vara lämpliga för förläggning av ett slutförvar för använt kärnbränsle.

##### ***Underlag för funktionskrav***

Resultatet av arbetet med SR 97 kommer att användas som underlag för en översyn av de funktionskrav och konstruktionsförutsättningar som bestämmer utformningen av kapseln och de övriga barriärerna i slutförvaret.

#### 8.4.4 Granskningen av SR 97

Granskningen av SR 97 skedde i ett gemensamt projekt mellan Kärnkraftinspektionen och Strålskyddsinstitutet. För att bidra till såväl allsidighet som djup uppdrog Kärnkraftinspektionen åt en internationell expertgrupp att självständigt granska SR 97. Expertgruppen hade utsetts av OECD/ NEA. Resultatet av gruppens arbete vägdes in i Kärnkraftinspektionens och Strålskyddsinstitutets gemensamma granskning /8-8/. Även KASAM granskade SR 97 och yttrade sig till Kärnkraftinspektionen /8-9/. SKI engagerade även ett antal konsulter att yttra sig över olika delar av SR 97 samt gav tillfälle till alla som brukade yttra sig över Fud-programmen att även bedöma SR 97.

Kärnkraftinspektionen och Strålskyddsinstitutet sammanfattade sina slutsatser av granskningen av SR 97 i följande sex punkter (8-8 s 3–4):

- Det har inte kommit fram några omständigheter som gör att geologisk förvaring enligt SKB:s metod skulle ha avgörande brister i förhållande till de krav på säkerhet och strålskydd som myndigheterna kräver.
- De beståndsdelar som krävs för en allsidig belysning av säkerhet och strålskydd finns.
- Metodiken för säkerhetsanalys har förbättrats inom flera viktiga områden, till exempel vad gäller dokumentation av processer och egenskaper som kan påverka slutförvarets funktion, och utveckling av modeller för säkerhetsanalysens beräkningar.
- Metodiken har dock en del brister, till exempel när det gäller att ange vilka framtida händelser som säkerhetsanalysen ska beskriva. Ogynnsamma förhållanden som kan påverka ett slutförvars framtida säkerhet har behandlats alltför lite.
- SKB säger att resultaten har använts i arbetet med att formulera krav och önskemål på berget vid ett slutförvar. Myndigheterna menar att det inte framgår av SR 97 hur detta har gjorts. Kopplingen mellan säkerhetsanalys och platsundersökningar bör förbättras.
- En säkerhetsanalys av ett slutförvar för använt kärnbränsle kommer alltid att vara behäftad med osäkerheter och brister i kunskapsunderlaget. Man blir då beroende av tillgång till experter som kan göra bästa möjliga bedömningar. SKB bör ta fram bättre procedurer för expertbedömningar.

Enligt Kärnkraftinspektionen och Strålskyddsinstitutet behövde delar av metodiken i SR 97 utvecklas ytterligare och preciseras inför kommande steg i platsvalsprocessen. De båda myndigheterna framhöll att SKB:s utveckling av metoder för säkerhetsanalys är ett kontinuerligt arbete som bör fortgå under alla steg av utbyggnaden av ett slutförvar.

Med hänvisning till granskningen av SR 97 och tidigare genomförda granskningar av SKB:s Fud-program uttalade de båda myndigheterna vidare att de ansåg att ”KBS-3-metoden är en god grund för SKB:s kommande platsundersökningar och den fortsatta utvecklingen av de tekniska barriärerna” Myndigheterna påpekade samtidigt att de – i samband med framtida granskningar av SKB:s Fud-program – avsåg att återkomma med ytterligare synpunkter på vilken redovisning som behövs inför de olika stegen av SKB:s slutförvarsprogram.

Kärnkraftinspektionen och Strålskyddsinstitutet konstaterade också (s 16) att ”det krävs ett detaljerat dataunderlag från platsundersökningar och mer omfattande praktiska erfarenheter från tillverkning och provning av de tekniska barriärerna innan en mer utförlig bedömning av KBS-3-metoden kan ske. Det är dessutom nödvändigt att SKB kompletterar och vidareutvecklar sina metoder för säkerhetsanalys och då tar hänsyn till myndigheternas granskning av SR 97.”

## 8.5 KBS-3 i Fud-K december 2000

### 8.5.1 Fud-K – syfte och innehåll

Den komplettering av Fud-program 98 som regeringen hade begärt (se avsnitt 8.3.9) överlämnades i december 2000 till Statens kärnkraftinspektion för granskning. Dokumentets titel var *Samlad redovisning av metod, platsval och program inför platsundersökningsskedet /8-10/*. En gängse kortform för att beteckna dokumentet kom att bli *Fud-K*. Den benämningen används i det följande.

Av förordet framgår att SKB önskade att det i samband med ansvariga myndigheters och regeringens granskning av dokumentet skulle klargöras om det redovisade underlaget kunde ligga till grund för bland annat att ”hålla fast vid KBS-3-metoden som det för Sverige lämpligaste alternativet och att den därmed utgör en grundläggande förutsättning för arbetet i platsundersökningsskedet” (s 3).

Fud-K var uppdelad i fyra delar. Del I utgjorde en bakgrundsteckning. Del II Metod innehöll genomgångar av alternativa strategier för omhändertagande av använt kärnbränsle, av metoder för geologisk förvaring av använt kärnbränsle och av ett ”djupförvarssystem baserat på KBS-3”. I delen ingick även en sammanfattning av säkerhetsanalysen SR 97 jämte SKB:s kommentarer till granskningen av SR 97. I del III fanns en sammanfattning och utvärdering av det lokaliseringsunderlag som SKB hade tagit fram jämte redovisningar och motiveringar för SKB:s val av platser för fortsatta undersökningar. Del IV var en beskrivning av planerna för SKB:s verksamhet och MKB-förfarandet under det platsundersökningsskede som SKB nu önskade inleda.

I det följande återges enbart huvudinnehållet i vad SKB redovisade i Fud-K med direkt bäring på KBS-3-metoden.

### 8.5.2 Systemanalys av KBS-3-systemet<sup>44</sup>

Ett av kapitlen i Fud-K presenterades som en ”systemanalys av huvudalternativet”, det vill säga KBS-3-systemet. Jämfört med motsvarande analys i Fud-program 98 har, skrev SKB, ”en tydligare avgränsning gjorts till de anläggningar som behövs för omhändertagande av använt kärnbränsle” (s 81).

SKB framhöll vidare i detta sammanhang att systemanalysen av huvudalternativet är en pågående aktivitet som kommer att leda fram till en redovisning i samband med inlämnandet av en lokaliseringsansökan. Den nu lämnade beskrivningen skulle därför ses som ”en lägesredovisning av hur långt SKB har kommit och vad som ännu återstår när det gäller att utforma systemet”.

För att kapsla in och deponera det använda kärnbränslet enligt KBS-3-metoden behövs, skrev SKB, ett system av samverkande anläggningar. Systemet omfattar det befintliga mellanlagret Clab, en inkapslingsanläggning, ett ”djupförvar”, en kapselfabrik och ett transportsystem. Anläggningarna ska dimensioneras för att kapsla in och deponera cirka 200 kapslar per år. Vid 40 års drifttid för de svenska reaktorerna kommer det att behövas cirka 4 500 kapslar.

De fem anläggningarna beskrevs översiktligt med illustrationer och kostnadsuppskattningar presenterades. Därefter följde korta avsnitt om miljöpåverkan samt om säkerhet och strålskydd. I ett avsnitt om ”Handlingsfrihet vid genomförandet” (s 88–89) togs tre aspekter upp.

Den första aspekten gällde *förvarsutformningen*. Här behandlades frågor om förvarets djup, alternativen sprängning eller borrhning av tunnlar och deponeringshål, utformning av deponeringshål samt återfyllningsmaterial:

”Förvarets djup väljs med hänsyn till berggrundens egenskaper på platsen. Drivning av tunnlar och borrhning av deponeringshål kan ske med olika tekniker. I huvudalternativet är tunnlar och ramp utförda med konventionell teknik, borrhning och sprängning. Ett alternativ, i första hand för deponeringstunnlarna, är att använda en tunnelborrningsmaskin som ger tunnlar med cirkulärt tvärsnitt. Slutligt val sker i ett senare skede beroende på platsspecifika förhållanden.

Deponeringshålen är i huvudalternativet borrhade vertikalt i deponeringstunnelns golv. Figur 6-8<sup>45</sup> visar huvudalternativet och några andra studerade varianter att utforma deponeringshål. Endast medellånga hål har bedömts vara ett säkerhetsmässigt och ekonomiskt intressant alternativ som kan komma att studeras ytterligare.

<sup>44</sup> Som påpekats i avsnitt 8.1 sammanfattas frågor kring SKB:s hantering av kravet på systemanalys i *bilaga 2* till föreliggande rapport.

<sup>45</sup> Denna figur är identisk med figur 8-4 i det föregående (avsnitt 8.2.8).

Återfyllningsmaterial i deponeringstunnlar och övriga tunnlar kan bestå av enbart bergkross eller kvartssand, eller av en blandning av endera av dessa med bentonitlera. Enbart naturliga material med hög bentonithalt kan också komma att användas.

Valet av tekniska lösningar är i många fall beroende på lokala förhållanden på platsen för djupförvaret och på berggrundens egenskaper. Nedfarten till djupförvarets underjordsanläggning kan till exempel utformas som en spiralramp, en rak ramp eller schakt. En spiralramp som nerfart till underjordsanläggningen är lämpligast om ovanjordsanläggningen är placerad rakt över underjordsanläggningen. I huvudalternativet sker alla tunga transporter i en ramp.”

Den andra aspekten gällde kraven på barriärerna, varvid också ekonomiska faktorer skulle beaktas. I avsnittet togs upp frågor om kopparkapselns väggtjocklek, buffertens tjocklek och kvalitet samt hur man skulle anpassa förvarets utformning till förhållandena i berggrunden på den plats som skulle väljas (s 89):

”En viktig parameter som kan varieras är kopparkapselns väggtjocklek. Den väljs i första hand med hänsyn till kravet på kapselns beständighet mot korrosion under lång tid. I referensalternativet är väggtjockleken 50 millimeter ... Den bedöms kunna minskas med bibehållen säkerhet. En tunnare kopparvägg underlättar påsvetsning av locket och kontrollen av svetsen. Tjockleken måste dock vara tillräcklig för att ge hållfasthet vid tillverkning och hantering. För närvarande studeras ett alternativ med väggtjockleken 30 millimeter.

Buffertens tjocklek och kvalitet är andra parametrar som behöver bestämmas med hänsyn till flera faktorer. Å ena sidan ska bufferten vara tillräckligt tjock för att skydda kapseln vid rörelser i berget, stabilisera kapseln och åstadkomma en fördröjning av radionuklidernas transporthastighet. Å andra sidan leder en tjockare buffert till högre temperatur på kapseln, vilket kan motverkas på olika sätt. Buffertens kvalitet kan ändras så att den får större ledningsförmåga. Alternativt får man öka avståndet mellan deponeringspositionerna så att värmepåverkan från närliggande kapslar minskar. Tjockare buffert och glesare positioner kräver större utrymme och ger högre kostnader.

Egenskaperna hos de konstruerade komponenterna i systemet – kapsel, buffert, återfyllning och förslutning – kan påverkas genom materialval, konstruktion och tillverkningsprocesser. Så är inte fallet med berggrunden. Av det skälet blir tillvägagångssättet för att möta kraven på berggrunden annorlunda än för övriga komponenter. Principen är att, med hjälp av successivt allt mer detaljerade undersökningar, välja en plats där berggrunden uppfyller grundläggande krav och ger gynnsamma förutsättningar i övrigt, samt att anpassa förvarets utformning till förhållandena på platsen.”

Den tredje aspekten på handlingsfrihet avsåg lokaliseringen av slutförvaret, av inkapslingsanläggningen och av kapsel fabriken.

I ett avsnitt om ”Tidsplan” erinrade SKB om att ”nu gällande planering” innebar att inledande drift vid djupförvaret skulle börjas omkring år 2015 med deponering av 200–400 kapslar motsvarande 5–10 % av den totala mängden använt kärnbränsle. Inkapslingsanläggningen skulle behöva stå klar något år tidigare. En utvärdering inför reguljär drift borde ”starta så tidigt som möjligt och pågå parallellt med den inledande driften” (s 89).

Avslutningsvis behandlade SKB också frågor om återtag av deponerade kapslar enligt följande (s 90):

”Det långa tidsperspektivet för djupförvarets funktion har aktualiserat särskilda etiska krav. Ett krav är att hanteringen av avfallet från dagens energiproduktion inte på ett otillbörligt sätt ska belasta framtida generationer... För djupförvaret innebär det att det bör byggas utan onödig fördröjning, och att förvarets säkerhet efter förslutning inte ska kräva återkommande tillsyn och underhåll.

Ett annat krav är att framtida generationer ska ha rätten att under eget ansvar fatta beslut om åtgärder som kan påverka förvaret, till exempel att återta avfallet för att utnyttja resurser som då bedöms som värdefulla, eller att förändra hur avfallet ska förvaras.

Förvaret, med långsiktigt stabila barriärer, är i första hand utformat för att ge långsiktig säkerhet. Utformningen ger samtidigt goda möjligheter till återtag under driftskedet. Bergets stabilitet och den långlivade kapseln ger även en långsiktig möjlighet till återtag efter förslutning. Ett återtag

efter förslutning är dock inte enkelt att göra. Det är en operation med en omfattning i tid och pengar av nästan samma storleksordning som deponeringen. I KBS-3-systemet vidtas dock inga åtgärder i hanteringen av bränslet, och inga arrangemang byggs in i förvaret, som onödigtvis försvårar ett återtag. Inte heller har möjligheterna till återtag utökats på bekostnad av kraven på säkerhet och strålskydd för ett slutförvar. Om ett återtag skulle genomföras kräver den som annan kärnteknisk verksamhet en säkerhetsgranskning och tillstånd.”

### **8.5.3 Säkerhetsanalys**

I ett kapitel om långsiktig säkerhet (s 91–103) redovisades innehållet i SR 97 och resultatet av Kärnkraftinspektionens och Strålskyddsinstitutets granskning (se avsnitt 8.4). Till redovisningen fogade SKB följande kommentarer till granskningsresultatet (s 103):

”Det är angeläget för SKB att säkerhetsanalysen utsätts för både nationella och internationella granskningar. En säkerhetsanalys av samma omfattning som SR 97 har inte gjorts sedan KBS-3-rapporten presenterades 1983. Sedan dess har både metodik och vetenskapligt underlag utvecklats betydligt och det är viktigt att SKB:s analys granskas i ljuset av vad som i dag är bästa kompetens i världen inom dessa områden.

Den internationella expertgruppen drar den viktiga slutsatsen att SKB har välgrundade skäl att gå vidare till platsundersökningsskedet. Detta är ju även SKB:s bedömning i SR 97-rapportens slutord och det är värdefullt att bedömningen stöds av den internationella granskningsgruppen.

I övrigt är gruppens slutsatser och rekommendationer värdefulla för att förbättra utformningen av kommande analyser, som ett underlag för kommande prioriteringar i forskningsprogram etc. Utvecklingsarbetet kommer att beskrivas i SKB:s program för forskning, utveckling och demonstration.

De svenska myndigheterna drar efter granskningen slutsatserna att KBS-3-metoden är en god grund för SKB:s kommande platsundersökningar och att det i SR 97 inte kommit fram något som gör att metoden skulle ha brister i förhållande till de krav som myndigheterna ställer. Detta är viktiga slutsatser inför SKB:s önskan att gå vidare till platsundersökningar.

Även de svenska myndigheterna gör rader av påpekanden och ger många förslag till fortsatt utveckling, som kommer att utgöra underlag för SKB:s kommande forskningsprogram. Myndigheterna avvaktar dock med formella krav på SKB i dessa frågor tills man granskat allt material inför platsvalet.

I en av de citerade punkterna ovan konstaterar myndigheterna helt korrekt att SR 97 inte visar hur resultatet av analysen används för att formulera krav och önskemål på berget vid ett slutförvar. Redovisningen gjordes i särskilda rapporter under våren 2000... Dessa granskas nu av myndigheterna tillsammans med all annan redovisning SKB lämnar inför platsundersökningsskedet. Granskningsresultatet kommer att utgöra ett av underlagen till SKB:s nästa forskningsprogram, Fud-program 2001.

Sammanfattningsvis konstaterar SKB att det i granskningarna av SR 97 inte framkommit några hinder för att gå vidare till platsundersökningar. Tvärtom ser både den internationella granskningsgruppen och de svenska myndigheterna det som angeläget med data från platsundersökningar för att man mer i detalj ska kunna utvärdera KBS-3-metoden.”

## **8.6 Granskningen av Fud-K**

### **8.6.1 Fud-K – syfte och innehåll**

Statens kärnkraftinspektion fann att SKB hade lämnat de redovisningar som regeringen efterfrågat i beslutet i januari 2000 och menade att programmet nu uppfyllde de grundläggande kraven i 12 § kärntekniklagen /8-11 s 4/. KASAM – Statens råd för kärnavfallsfrågor hade samma uppfattning /8-12 s 3/.

Vidare föreslog Kärnkraftinspektionen /8-11/ att regeringen skulle ”konstatera att KBS-3-metoden bedöms i nuläget som den lämpligaste och enda realistiska planeringsförutsättningen inför platsundersökningar” (s 2). KASAM formulerade /8-12/ en likartad uppfattning genom förslaget att regeringen skulle ”uttala ... att KBS-metoden kan utgöra en planeringsförutsättning för det fortsatta lokaliseringsarbetet” (s 3).

### 8.6.2 Systemanalys av KBS-3-systemet<sup>46</sup>

I en till yttrandet /8-11/ fogad granskningspromemoria uttalade Statens kärnkraftinspektion att SKB:s redovisning av val av metoder inom strategin geologisk slutförvaring utvecklats i positiv riktning. Inspektionen fann inte ”någon anledning att ändra sin inställning till KBS-3-metoden såsom varande det lämpligaste valet” (s 21–22).

Systemanalysen av KBS-3 hade, enligt SKI:s granskningspromemoria (som på denna punkt även hänvisade till Statens strålskyddsinstitut), ”vissa brister”, men analysen var ”acceptabel med hänsyn till programmets aktuella stadium” (s 23).

Som exempel på sådana brister angav Kärnkraftinspektionen att redovisningen av driftrelaterade frågor inte var fullständig, till exempel vad gällde hantering av skadade kapslar. Vidare behövde kopplingen mellan systemets olika delar belysas på ett tydligare sätt ”så att det framgår att systemet i sin helhet samverkar till att uppfylla kraven på både säkerhet och strålskydd under drift och för tiden efter förslutning av ett slutförvar.”

### 8.6.3 Säkerhetsanalys

Statens kärnkraftinspektion /8-11/ betecknade SR 97 som godtagbar inför påbörjande av platsundersökningar och tillade att det i SR 97 ”har... inte framkommit några omständigheter som gör att geologisk slutförvaring enligt SKB:s metod skulle ha avgörande brister i förhållande till de krav på säkerhet och strålskydd som myndigheterna kräver” (s 2).

### 8.6.4 Regeringens ställningstagande

I november 2001 fattade regeringen beslut med anledning av granskningen av kompletteringen till Fud-program 98. Det formella beslutet var att regeringen fann att SKB hade uppfyllt de villkor som ställts upp i regeringsbeslutet i januari 2000 /8-13/.

Den bedömning som regeringen formulerade i beslutet var följande: ”Utan att föregripa ställningstaganden till framtida tillståndsansökningar bedömer regeringen att Svensk Kärnbränslehantering AB bör använda KBS-3-metoden som planeringsförutsättning för de platsundersökningar som nu avses”. I detta sammanhang tillades i regeringsbeslutet att SKB ”även fortsättningsvis” inom ramen för Fud-programmen borde bevaka teknikutvecklingen avseende olika alternativ för omhändertagande av kärnavfall.

Regeringsbeslutet innehöll även ett avsnitt med redovisning av skälen för regeringens beslut och bedömning. Denna redovisning innehöll bland annat följande (s 3):

”Regeringen delar Kärnkraftinspektionens bedömning att redovisningen av metodvalet förbättrats avsevärt jämfört med Fud-program 98. Redovisningen ger ytterligare stöd för regeringens bedömning (se regeringsbeslut den 24 januari 2000) att någon form av slutförvaring i berggrunden är den mest ändamålsenliga strategin för slutförvaring av använt kärnbränsle.

...

Det material som bolaget nu redovisar är enligt såväl Kärnkraftinspektionen och Strålskyddsinstitutet som Statens råd för kärnavfallsfrågor tillräckligt för att regeringen nu bör ange KBS-3-metoden som en planeringsförutsättning.

<sup>46</sup> Som påpekats i avsnitt 8.1 sammanfattas frågor kring SKB:s hantering av kravet på systemanalys i *bilaga 2* till föreliggande rapport



Regeringen bedömer att bolaget bör använda KBS-3-metoden som planeringsförutsättning för de platsundersökningar som nu avses. Regeringen understryker dock att ett slutligt godkännande av viss metod för slutförvaring inte kan göras förrän i samband med ett framtida ställningstagande till ansökningar om tillstånd enligt miljöbalken och kärntekniklagen att uppföra ett slutförvar för använt kärnbränsle.”

## **8.7 KBS-3 i Fud-program 2001**

### **8.7.1 Övergripande frågor**

Vid den tidpunkt, september 2001, när SKB hade att presentera *Fud-program 2001 Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall*, fanns visserligen granskningsyttrandena över Fud-K, men inte regeringens ställningstagande till detta (se avsnitt 8.6.4). SKB valde att koncentrera Fud-program 2001 på frågor som relaterade till forskning och teknikutveckling avseende KBS-3-metoden /8-14/.

I Fud-program 2001 ingick en långtidsplan för arbetet med att ta hand om använt kärnbränsle (s 18–20). Enligt denna långtidsplan, även kallad referenstidsplan för djupförvar och inkapslingsanläggning, var det övergripande målet för SKB:s arbete att kunna starta den inledande driften i slutförvaret för använt kärnbränsle år 2015 och reguljär drift i början av 2020-talet. Den tidsplanen förutsatte, menade SKB, att platsundersökningar kunde inledas i början av år 2002 och att en inkapslingsanläggning kunde tas i bruk för aktiv drift under andra halvåret 2014.

SKB:s beskrivning i Fud-program 2001 av djupförvaret var ungefär samma som i Fud-program 98 (se avsnitt 8.2.1). Nu framhölls emellertid (s 23) att förvarets layout skulle uppfattas som generellt angiven och att den slutliga utformningen påverkas dels genom att de tekniska systemen optimeras, dels genom anpassning till de geologiska förhållandena på den plats som kommer att väljas. Man räknade i Fud-program 2001 med att under ett inledande skede deponera 200–400 kapslar med början omkring år 2015 och fortsatte (s 248):

”Innan beslut fattas om fortsatt utbyggnad och deponering utvärderas erfarenheterna från det första steget och nytillkommen kunskap i övrigt. Om utvärderingen ger stöd för fortsatt utbyggnad av djupförvaret sker fortsatt utbyggnad och deponering under cirka 40 år. Därefter försluts djupförvaret. Efter förslutningen är det möjligt att återställa platsen till ett skick som är likt det ursprungliga.”

Av Fud-program 2001 framgick vidare (s 26) SKB:s bedömning av vilka frågor som skulle stå i fokus för de närmast planerade Fud-programmen. Den bedömningen innebar att 2004 års program skulle inriktas mot inkapslingsteknik och val av förslutningsmetod. För kommande program angavs djupförvarsteknik (2007), slutligt val av deponeringsmetod (2010), drift av KBS-3-systemet (2013) samt planering och utvärdering (2016).

De behov av forskning och teknikutveckling som SKB identifierade i Fud-program 2001 hade som utgångspunkter dels den tidigare nämnda referenstidsplanen, dels förutsättningen att slutförvaringen av det använda kärnbränslet skulle ske enligt KBS-3-metoden.

### **8.7.2 Kapsel, inkapslingsfrågor**

Med utgångspunkt från framställningen i Fud-program 2001 (s 77–92 och 269–290) kan SKB:s utvecklingsarbete kring kapsel och inkapslingsfrågor vid den tidpunkten sammanfattas enligt följande.

Som tidigare förutsattes att insatsen i referenskapseln skulle ha kanaler där bränsleelementen placeras. Insatserna skulle finnas i två utformningar; en för tolv BWR-element och en för fyra PWR-element.

Det finns flera olika metoder med vilka det går att tillverka både kopparrör, insatser, lock och bottenar. Det slutliga valet av tillverkningsmetoder bör göras så sent som möjligt för att upprätthålla flexibiliteten och ta tillvara teknisk utveckling. Valet behöver tidigast ske i samband med projekteringen av kapsel fabriken. Enligt planeringen ska det arbetet påbörjas år 2007.

Förslutningsteknik och metoder för oförstörande provning utvecklas i första hand vid kapsellaboratoriet i Oskarshamn. Försöken bedrivs i fullskala. Den svetsmetod som i dag används på kapsellaboratoriet är elektronstrålesvetsning, men alternativa svetsmetoder studeras också. En sådan metod, som är under utveckling och som det även under några år gjorts praktiska försök med goda resultat ifrån, är så kallad friktionssvetsning. Den metoden avses bli provad i fullskala år 2003.

Val av metoder för förslutning och provning påverkar utformningen av inkapslingsanläggningen. Dessa val bör alltså ha gjorts vid tiden för ansökan om tillstånd att få uppföra anläggningen, vilket är planerat till år 2005.

Inkapslingsanläggningens utformning har i stort inte förändrats ifrån vad som redovisades i Fud-program 98. Huvudalternativet är att anläggningen lokaliseras vid Clab. En alternativ lokalisering vid djupförvaret har studerats och alternativen har jämförts. Fördelarna med en placering vid Clab överväger. Arbetet med projektering av anläggningen kommer att återupptas under år 2001.

I referensutformningen av kapseln är koppartjockleken 50 millimeter. Resultat från hittills utförda studier visar att 30 millimeter koppartjocklek är fullt tillräckligt med avseende på krav på beständighet och hanteringsbarhet. Tillverkningsprov av kopparrör och insats för kapslar med 30 millimeters koppartjocklek har utförts och en utökning av programmet är planerat. Också inom områdena förslutningsteknik och oförstörande provning är försök planerade att utföras på kapslar med 30 millimeters koppartjocklek. Även om de tekniker som SKB utvecklar för svetsning i tjock koppar – elektronstrålesvetsning och friktionssvetsning – fungerar för 50 millimeter koppar, kommer tillförlitligheten och kvaliteten på svetsen troligen att bli ännu högre med tunnare gods.

Mått- och viktangivelser för kapsel med 50 respektive 30 millimeters vägg tjocklek illustrerades med figur 8-5.

Frågor kring kapselns korrosionsbeständighet och hållfasthet behandlades. Behovet av fortsatta studier och forskningsinsatser inom ett stort antal detaljerat identifierade områden uppmärksammades. De områden som nämndes systematiserades enligt följande (s 79–92):

- Initialtillstånd för kapseln.
  - Geometri.
  - Strålintensitet.
  - Temperatur.
  - Mekaniska spänningar.
  - Materialsammansättning.
- Kapselprocesser.
  - Stråldämpning/värmealstring.
  - Värmetransport.
  - Deformation gjutjärnsinsats.
  - Deformation av kopparkapsel från yttre övertryck.
  - Termisk expansion (såväl gjutjärnsinsats som kopparkapsel).
  - Deformation från inre korrosionsprodukter.
  - Korrosion gjutjärnsinsats.
  - Galvanisk korrosion.
  - Spänningskorrosion gjutjärnsinsats.
  - Strålpåverkan.
  - Korrosion kopparkapsel.
  - Spänningskorrosion kopparkapsel.
  - Korntillväxt koppar.
  - Radionuklidtransport.
  - Integrerade studier – skadad kapsels utveckling.



**Figur 8-5.** Mått och viktangivelser för kapsel med 50 mm och 30 mm vägg tjocklek (Fud-program 2001).

Vidare presenterades ett antal utvecklingsprogram för det fortsatta arbetet med att tillverka kopparkapslar (s 274–290). Dessa utvecklingsprogram avsåg bl a:

- Tillverkning av kopparrör med lock och botten.
- Tillverkning av gjutna insatser med stållock.
- Sammansättning av kompletta kapslar jämte kvalitetssäkring.
- Utformning av en fabrik för tillverkning av kapslar.
- Svetsteknik (elektronstrålesvetsning, friktionssvetsning, kvalificering av svetsmetod).
- Oförstörande provning.
- Kapsellaboratoriets utveckling till att också tjäna som en demonstrationsanläggning inför byggande av en inkapslingsanläggning.
- Inkapslingsanläggningen.
  - Lokalisering.
  - Anläggningsutformning.
  - Säkerhet vid drift.
  - Safeguards.
  - Inkapslingsprocessen.
  - Mellanlagring av fyllda kapslar.
  - Inkapslingsanläggning lokaliserad till djupförvaret.

I fråga om inkapslingsanläggningens lokalisering innehöll Fud-program 2001 samma resonemang (s 284) som i Fud-program 98 (se avsnitt 8.2.2).

### 8.7.3 Buffert

I Fud-program 2001 återgavs de sex krav på buffertmaterialet som hade preciserats i Fud-program 98 (avsnitt 8.2.3) jämte ett sjunde, nämligen att bufferten inte ska innehålla något som påverkar de andra barriärernas funktion negativt (s 93).

Utifrån en genomgång av ett stort antal olika aspekter som behövde beaktas hade SKB valt en naturlig natriumbentonit av Wyoming-typ som referensmaterial. Handelsnamnet på den valda kvaliteten och dimensionen var MX-80. SKB betonade dock att man inte slutgiltigt hade valt buffertmaterial och dimensioner och framhöll att det kan finnas andra material som är lika lämpliga som MX-80.

Forskningsbehovet med avseende på buffertens förmåga att utgöra en långsiktigt verkande barriär sammanfattades i Fud-program 2001 enligt i huvudsak följande (s 47):

”Bufferten genomgår efter deponering en komplicerad termo-hydro-mekanisk (THM) utveckling då den vattenmättas. Förloppet pågår något tiotal år och kunskapen om de kopplade processerna under denna fas är inte fullständig. En sådan kunskap är heller inte nödvändig för säkerhetsbedömningarna, däremot är det viktigt att förstå och kunna förutsäga buffertens tillstånd efter fullbordad vattenmättnad, eftersom detta utgör utgångspunkten för analysen av den långsiktiga utvecklingen. Därför studeras buffertens inledande THM-utveckling i fält och med modeller...

För en vattenmättad buffert är utvecklingen betydligt långsammare... Även här bedrivs integrerade studier både i fält och med modeller... Enskilda processer där ytterligare forskning är angelägen är effekterna av saltvatten... samt kolloidfrigörelse/erosion... Vad gäller transport av radionuklider kan fenomenet ytdiffusion kräva ytterligare studier...”

I en detaljerad framställning, omfattande ett fyrtiotal olika aspekter, beskrevs närmare det arbete i buffertfrågan som SKB hade utfört och/eller planerat såväl avseende de nyss nämnda forskningsområdena som en rad andra.

#### 8.7.4 Återfyllning

Frågor kring återfyllning fick i Fud-program 2001 en mer framträdande plats än tidigare och behandlades under en särskild kapitelrubrik (s 125–144).

SKB underströk att återfyllningen i KBS-3-konceptet inte är en barriär i sig, däremot nödvändig för att bufferten och berget ska få önskad funktion. Ett antal krav preciserades på återfyllningen. Dessa krav, jämte inledande kommentarer till dem, sammanfattade SKB enligt i huvudsak följande (s 125):

- Återfyllningen ska ha en täthet som minimerar buffertens expansion uppåt. Därigenom behålls buffertens densitet.
- Återfyllningen ska ha en hydraulisk konduktivitet som är jämförbar med den i det omgivande bergets. Deponeringstunnlarna kan annars utgöra konduktiva vägar som påverkar vattensättningen i förvaret.
- Återfyllningen ska uppnå ett visst svälltryck mot taket för att motstå blockutfall och behålla en svällförmåga som kan täta eventuella effekter av kanalbildning och kryprorelser i återfyllningen. I Fud-program 98 och SR 97 sattes detta svälltryck till minst 100 kilopascal. Svälltrycket kommer att bli föremål för ytterligare utredningar.
- Återfyllningen får inte ha någon negativ påverkan på barriärerna i förvaret. Detta ställer en del krav på den kemiska sammansättningen. Återfyllning med montmorillonit (bentonit) och bergkross som huvudkomponenter anses som särskilt lämpliga i detta avseende. I SR 97 bestod återfyllningsmaterialet schablonmässigt av en blandning av 15 procent MX-80 bentonitlera och 85 procent bergkross. I ett verkligt fall kommer proportionerna att anpassas efter de kemiska förhållandena, i första hand grundvattnets salthalt, på förvarsplatsen så att återfyllningen får önskade egenskaper.

Med utgångspunkt från nyvunnen kunskap sedan Fud-program 98 och SR 97 redovisades åtskilliga detaljer kring det forsknings- och utvecklingsarbete som pågick och planerades kring återfyllningen. Viktigare delar i detta arbete var i sammanfattning följande (s 128–130).

Allmänt gäller att återfyllningens egenskaper bestäms, förutom av sammansättningen, även av salthalten i grundvattnet. Sammansättningen 15 procent bentonit och 85 procent bergkross kan vara lämplig för en plats med ett sött grundvatten medan en plats med saltare vatten kan kräva en högre andel bentonit. Den exakta sammansättningen av återfyllningen kan bestämmas först när nödvändiga data finns tillgängliga från den aktuella platsen.

Den forskning som vid denna tid pågick i Äspölaboratoriet hade tre syften, nämligen att:

- ta fram och testa olika material och packningstekniker för att återfylla utsprängda tunnlar,
- testa återfyllningens funktion och samverkan med omgivande berg i full skala i utsprängda tunnlar,
- utveckla teknik för att bygga pluggar och testa funktionen.

### 8.7.5 Berget på förvarsdjup

I ett särskilt kapitel i Fud-program 2001 (s 145–183) presenterade SKB först en översikt av de olika processer som kunde antas komma att äga rum i berget med start under det sk initialtillståndet, det vill säga omedelbart efter det att ett förvar av KBS-3-typ hade anlagts, tagits i bruk och förslutits. Därefter följde en detaljerad genomgång av dessa olika processer, varvid kunskapsläget och behovet av ytterligare forskning bedömdes.

Översikten av de olika processerna kan sammanfattas enligt följande.

Genom att värme från bränslet transporteras via kapseln och bufferten kommer bergmassan att värmas upp. Som följd av detta sker en grundvattenströmning som leder till att grundvattnet omfördelas i de spricksystem som finns i bergmassan. Även gasströmning kan förekomma.

Det mekaniska tillståndet i berget bestäms i initialskedet dels av de naturliga bergspänningar och spricksystem som finns på förvarsplatsen, dels av de förändringar i dessa som konstruktionen av förvaret har gett upphov till. Hur det mekaniska tillståndet i berget utvecklas därefter beror på vilka spänningar som uppstår. Dessa spänningar kan bero på den utvidgning av bergmassan som uppvärmningen av förvaret leder till, trycket från den svällande bufferten och återfyllningen, effekter av jordskalv, med mera. Förändringar i det omgivande berget kan ske i form av sprickbildning, reaktivering (plötsliga rörelser i befintliga sprickor) eller bergkryp (långsamma omvandlingar i berget). Dessutom förekommer rörelser i intakt berg, dvs kompression eller expansion av i övrigt intakta bergblock, samt erosion, det vill säga vittring av ytberget, framför allt i samband med istider.

I berget förekommer också en kemisk utveckling efter förslutningen av ett förvar. Denna utveckling bestäms av en rad transport- och reaktionsprocesser. Den dominerande transportprocessen över långa transportsträckor är advektion, det vill säga att det strömmande vattnet för med sig vattenlösta ämnen. Processen leder till att olika vattentyper från olika bergpartier blandas och att reaktioner sker mellan grundvattnet och sprickytor, varvid reaktionerna ger upphov till lösning och fällning av sprickmineral. Dessutom sker långsamma reaktioner mellan grundvatten och mineral som ingår i bergmatrisen. I grundvattnet sker mikrobiella processer, nedbrytning av oorganiska material från förvarskonstruktionen, kolloidbildning och gasbildning. I samband med en kommande istid kan också ske metanisbildning och saltutfrysning.

Om radionuklider tränger ut genom kapseln kan de transporteras med det strömmande vattnet, advektion. Även diffusion kan vara betydelsefull om vattnet är stillastående eller rör sig mycket långsamt. En viktig aspekt av detta är matrisdiffusion, det vill säga att radionuklider diffunderar in i det stillastående grundvattnet i bergets mikrosprickor och på så sätt undandras och transporteras långsammare än det flödande vattnet. Avgörande för radionuklidtransporten är även sorption, det vill säga att radionuklider kan sorbera (fastna) på spricksystemets och bergmatrisens ytor. Matrisdiffusion och sorption är alltså de två viktigaste fördröjningsprocesserna för transport av radionuklider i berget.

Den detaljerade bedömningen av kunskapsläget och behovet av ytterligare forskning avsåg följande processer. För nästan samtliga presenterades mer eller mindre utförliga forskningsprogram.

- Värmetransport – området bedömdes inte kräva ytterligare forskning, utveckling eller demonstration.
- Grundvattenströmning.
- Gasströmning/gaslösning området bedömdes, utöver vissa detaljer, inte kräva ytterligare forskning, utveckling eller demonstration.
- Rörelse i intakt berg.
- Termisk rörelse.
- Reaktivering (rörelse längs befintliga sprickor).
- Sprickbildning.
- Tidsberoende deformationer.
- Erosion.

- Advektion/blandning.
- Diffusion.
- Reaktionen grundvatten/bergmatris.
- Lösning/fällning sprickmineraler.
- Mikrobiella processer.
- Nedbrytning av oorganiskt konstruktionsmaterial.
- Kolloidsättning.
- Gasbildning/gaslösning.
- Metanisomsättning.
- Saltutfrysning.
- Integrerad modellering – hydrokemisk utveckling.
- Radionuklidtransport – advektion och dispersion.
- Radionuklidtransport – molekylär diffusion samt matrisdiffusion.
- Radionuklidtransport – sorption.
- Radionuklidtransport – speciering.
- Radionuklidtransport – transport i gasfas.
- Integrerad modellering – radionuklidtransport.

### 8.7.6 Eventuellt återtag av deponerade kapslar

Vid granskningen av Fud-program 98 hade Kärnkraftinspektionen uttalat att SKB behöver utveckla metoder för återtag (jfr avsnitt 8.2.6 och avsnitt 8.3.5). Med hänvisning härtill redovisade SKB nu ett mer utvecklat resonemang enligt följande (s 261–262):

”Inga åtgärder vidtas i hanteringen av bränslet och inga arrangemang byggs in i djupförvaret, som onödigtvis försvårar ett återtag. På samma sätt ska möjligheten till återtag inte främjas på bekostnad av djupförvarets förmåga att uppfylla kraven på säkerhet och strålskydd. I Sverige finns inget formellt krav på att återtag ska vara möjligt. För att ett återtag ska kunna genomföras krävs tillstånd, så detta är ingenting som SKB själva kan besluta om.

Hanteringen vid återtag av deponerade kapslar beror av när i tiden återtaget genomförs. Återtag direkt efter deponeringen, innan bentonitblocken svällt, är relativt enkelt. Processen blir mer omfattande om buffertmaterialet börjat svälla. Då måste kapseln friläggas, dvs buffertmaterialet tas bort, innan den kan lyftas ur deponeringshålet.

Har hela deponeringstunneln återfyllts och förslutits ökar arbetsinsatsen för att kunna genomföra ett återtag. Har hela djupförvaret förslutits efter avslutad deponering, ökar arbetsinsats och kostnader väsentligt.

Sedan kapslarna återtagits från djupförvaret förs de till någon typ av mellanlager. Om systemet för hantering av använt kärnbränsle fortfarande är i drift vid detta tillfälle, är det rimligt att ett sådant mellanlager förläggs i anslutning till CLAB och inkapslingsanläggningen. I annat fall måste en anläggning för kärnteknisk verksamhet upprättas på lämplig plats.

Under de senaste åren har ett antal metoder för att avlägsna bentonit studerats ... De metoder som studerats kan indelas i fyra huvudkategorier: mekaniska, hydrodynamiska, termiska och elektrotekniska metoder. Av dessa har den hydrodynamiska metoden uppvisat de bästa resultaten. Den innebär att salthaltigt vatten (4–6 procent) upprepade gånger spolas över bentoniten. Detta leder till att bentoniten bildar en suspension och kan pumpas bort från hålet. Bentonitslammet kan sedan avvattas i en filterpress eller i en centrifug.

Den hydrodynamiska metoden kommer att demonstreras vid Äspölaboratoriet i det pågående experimentet ”Återtag” där SKB under realistiska förhållanden utvecklar och provar tekniken för att återta en kapsel från vattenmättad och uppsvälld bentonitbuffert.”

### 8.7.7 Deponeringsteknik, provning av teknik i full skala

I Fud-program 2001 framhöll SKB att man i huvudsak följt det utvecklingsprogram för teknik-utveckling och demonstration som hade angetts i Fud-program 98 (se avsnitt 8.2.7). Pågående experiment i Äspölaboratoriet hade gett ytterligare erfarenhet av borring av deponeringshål, deponering av bentonit och kapslar, återfyllning och förslutning av deponeringstunnlar etc. (s 257).

Redovisningar lämnades av teknikutveckling och demonstration inom åtta angivna områden. Dessa var (s 257–263):

- Byggmetoder.
- Tillverkning av bentonitblock och ringar.
- Inplacering av bentonit och deponering av kapslar.
- Återfyllning.
- Förslutning.
- Återtag.
- Konstruktions- och strömmaterial.
- Tätning av undersökningsborrhål.

De aktiviteter som planerades var i huvudsak följande (s 263):

- Vidareutveckling av metoder, maskiner och utrustning för tillredning av tunnlar, schakt, ramper och deponeringshål.
- Vidareutveckling av utrustning för tillverkning av bentonitblock med nära full storlek och isostatisk pressning.
- Framtagande av ett program för fortsatt utveckling av specialmaskiner för tunga transporter, deponering av buffert och kapslar samt inplacering av återfyllning.
- Klarläggande av vilken funktion förslutningen av deponeringstunnlar har under driftskedet som grundval för utarbetande av tekniska lösningar av hur förslutningen ska utföras.
- Demonstation av hur en kapsel kan återtas från en vattenmättad bentonitbuffert.
- Utredning av om lågalkaliska cementbaserade material kan användas som konstruktionsbetong, sprutbetong och för injektering.
- Vidareutveckling av metoder och teknik för att rensa och försluta undersökningsborrhål.

Utvecklingsarbetet i fråga om tillverkning av *bentonitblock och bentonitringar* hade visat att både isostatisk och enaxlig pressning kan användas. Olika bentonitkvaliteter provades för att fastställa deras betydelse för de pressade blockens och ringarnas kvalitet och funktion.

För inplacering av bentonit och deponering av kapslar i deponeringshålen hade SKB tagit fram en prototyp till en deponeringsmaskin enligt figur 8-6. Prototypen hade levererats till Äspölaboratoriet år 1999.

Följande beskrivning av arbetet med deponeringsteknik lämnades i detta sammanhang (s 259–260):

”Arrangemangen i Äspö är begränsade till enbart deponeringsmaskinen. De kringfunktioner som kommer att krävas med transport av transportbehållare från inkapslingsanläggningen ned till förvarsnivån och överföring av kapseln från transportbehållare till deponeringsmaskinens strålskyddstub har hittills endast studerats översiktligt.

Bentoniten i form av block och ringar placeras i deponeringshålet. När bentoniten är på plats körs kapseln fram till deponeringshålet med deponeringsmaskinen och sänks ner i det inre utrymmet i

bentoniten. När kapseln har sänkts ner läggs bentonitblock över kapseln och resterande del av hålet fylls upp med återfyllning. All hantering sker i en strålskärmad miljö och personal kan övervaka deponeringen.

Bottenavjämningen i deponeringshålet är känslig, eftersom en lutning gör att stapeln av bentonitblock lutar.

Enligt vad som planerades i Fud-program 98 har SKB demonstrerat de olika stegen vid deponering av kapslar. Detta har skett i Äspölaboratoriet i projektet Återtag, där en kapsel har deponerats i ett fullstort deponeringshål. I ett fullskaleförsök vid Äspölaboratoriet av KBS-3-metoden i sin helhet, Prototypförvar, kommer ytterligare kapslar att deponeras under perioden 2001–2002 i fyra fullstora deponeringshål i en inre sektion och två i en yttre sektion. Prototypförvaret ska i största möjliga utsträckning simulera ett KBS-3-förvar under vad som kan beskrivas som normala förhållanden med avseende på geometri, material och bergförhållanden. Prototypförvaret skiljer sig från ett verkligt förvar i det att värmeeffekten kommer att genereras av elektriska värmare istället för använt kärnbränsle. Vid Äspölaboratoriet har dränering av deponeringshålen från inrinnande vatten lösts genom pumpning. Efter installation av bentonitblocken behöver en kontrollerad luftfuktighet hållas i spalten mellan block och berg för att bentoniten inte ska ta upp vatten och svälla respektive avge vatten och krympa.

Verksamheten under perioden 2002–2007 är i huvudsak inriktad på att ta fram program för fortsatt utveckling av specialmaskiner för tunga transporter och deponering av buffert och kapslar.

SKB planerar också att studera hur erforderlig densitet kan uppnås med hänsyn till dimensionerna på deponeringshål respektive bentonitblock (toleranser), deponeringsverktyg, fukthalt i bentonitblock och luft, presstryck vid blocktillverkning etc. Olika möjligheter att öka bentonitbuffertens densitet är att minska spalten mellan buffert och berg eller att fylla den med bentonitpellets.”



*Figur 8-6. SKB har låtit tillverka en prototyp till en deponeringsmaskin (Fud-program 2001).*



Även frågor kring *förslutning* behandlades. Det påpekades (s 261) att efter det att en deponeringstunnel är återfylld behöver dess mynning förslutas i avvaktan på att hela slutförvaret försluts. Denna så kallade driftförslutning tillräknas ingen funktion vad avser den långsiktiga säkerheten, men måste dimensioneras för att motstå svälltryck från återfyllningen och fullt utvecklade vattentryck mot konstruktionen. Följande beskrivning gavs av arbetsläget:

”Tunnelförslutningar i form av pluggar av den typ som planeras för att tillfälligt försluta deponeringstunnlar ingår i fullskaleexperimenten Backfill and Plug Test och Prototypförvar i Äspö-laboratoriet. Den sprängda försökstunneln i Backfill and Plug Test förslöts med en betongplugg 1999. Pluggen är fastgjuten i en 1,5 meter djup triangulär nisch i berget i pluggens periferi för att hålla emot vattentrycket och svälltrycket från återfyllningen samt skära av den störda zonen.

SKB:s bedömning är att tillräckliga kunskaper finns beträffande utformning och konstruktion av driftförslutningar.

När det gäller den slutliga förslutningen av djupförvaret planerar SKB att under den närmaste treårsperioden närmare klarlägga förslutningens funktion. Därefter kommer tekniska lösningar att utarbetas. SKB är klar över att pluggars placering i djupförvaret till övervägande delar är styrd av platsspecifika förhållanden och detta är en av de projekteringsfrågor som behandlas i ansökan om djupförvaret.”

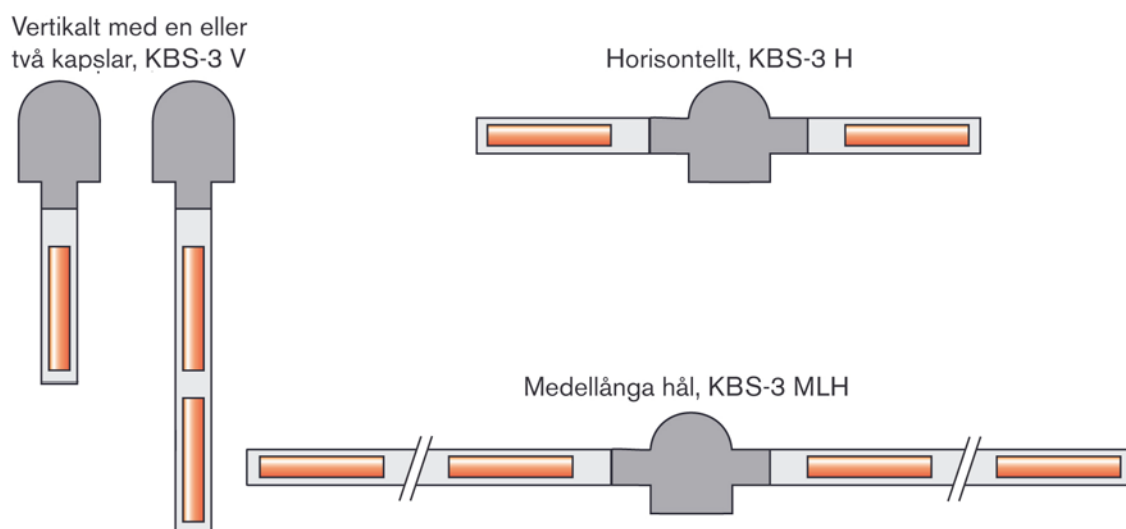
### 8.7.8 Varianter av KBS-3

SKB redovisade i Fud-program 2001 resultatet av en studie som hade gjorts kring olika varianter av KBS-3-systemet, den så kallade JADE-studien (Jämförelse Av olika DEponeringsmetoder) /8-15/. De varianter som hade studerats var (s 255–256):

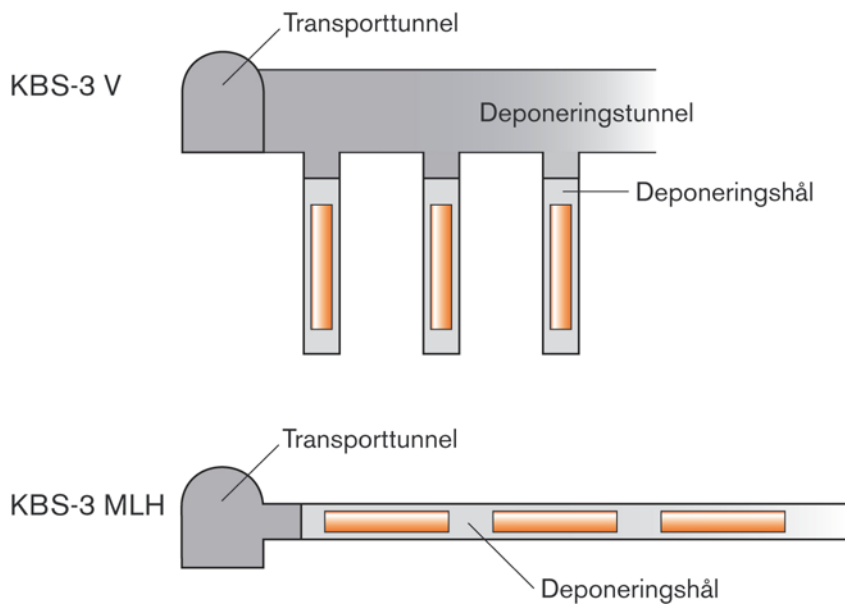
- Vertikal deponering med en eller flera kapslar i flera deponeringshål (KBS-3 V).
- Horisontell deponering med en kapsel i varje deponeringshål (KBS-3 H).
- Horisontell deponering med flera kapslar efter varandra i medellånga deponeringshål (KBS-3 MLH).

De tre varianterna illustrerades med figur 8-7 (som delvis överensstämmer med motsvarande bild i Fud-program 98, se figur 8-4) samt figur 8-8.

Gemensamt för de tre varianterna var att ovanmarksanläggningen, den anslutande rampen, schaktet och centralområdet under mark kunde utformas likadant och alltså oberoende av hur själva deponeringsområdet såg ut.



Figur 8-7. Olika varianter av KBS-3-metoden (Fud-program 2001).



**Figur 8-8.** Principiell skillnad mellan referensmetoden KBS-3V och ett KBS-3 MLH-förvar (Fud-program 2001).

Resultatet av JADE-studien sammanfattades i Fud-program 2001 enligt i huvudsak följande (s 255). KBS-3V med en kapsel i varje deponeringshål kvarstod som referensutförning. Två kapslar i varje deponeringshål bedömdes "eventuellt" ge lägre anläggningskostnader. KBS-3H avskrevs "eftersom den horisontella deponeringen inte bedöms ha några fördelar jämfört med den vertikala". KBS-3 MLH "bedöms däremot preliminärt vara bättre än referensutförningen när de gäller miljöpåverkan och ekonomi".

Som framgår av principskisserna fanns inga deponeringstunnlar i varianten KBS-3 MLH. Deponeringshålen utgick i stället från transporttunnlarna. Den totalt uttagna bergmassan bedömdes därför bli mycket mindre än för KBS-3V. Detta borde innebära lägre kostnader och mindre miljöpåverkan. Den långsiktiga säkerheten bedömdes likvärdig för de båda varianterna KBS-3V och KBS-3 MLH. Den sistnämnda varianten hade däremot inte "nått samma tekniska mognadsgrad som KBS-3V", varför SKB hade påbörjat ett arbete med att ta fram ett forsknings-, utvecklings- och demonstrationsprogram KBS-3 MLH (s 256).

### 8.7.9 Säkerhetsanalys

Frågor kring säkerhetsanalys behandlades i ett kortare kapitel (s 27–41). Framställningen utgjorde till större delen en redogörelse för de slutsatser som hade dragits av SR 97 och vid granskningen av den (se avsnitt 8.4) och innehöll i sammandrag följande.

Det råder ett ständigt samspel mellan säkerhetsanalys, forskning och förvarsutformning. Säkerhetsanalysen baseras på en given förvarsutformning och på kunskapen om de långsiktiga förändringar i förvarsmiljön som forskningen levererar. Resultaten av SR 97 och vad som framkommit vid granskningen utgör ett av underlagen för framtida program för forskning, utveckling och demonstration. Samtidigt anger myndigheterna genom sina föreskrifter både kriterier mot vilka resultatet av säkerhetsanalysen ska jämföras och krav på innehållet i analysen. De "Föreskrifter om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall" som Statens strålskyddsinstitut hade utfärdat år 1998 hade för första gången tolkats och tillämpats av SKB vid arbetet med SR 97. Granskningen av SR 97 hade resulterat i en fortsatt dialog med Strålskyddsinstitutet om tillämpningen av regelverket. Under år 2001 väntades Statens kärnkraftinspektion ge ut föreskrifter om "säkerhet vid slutförvaring av kärnavfall"; dessa föreskrifter "förväntas komma att påverka utformningen av kommande analyser".

Nästa större säkerhetsanalys kommer att genomföras när data från platsundersökningarna finns tillgängliga och ska biläggas en ansökan om tillstånd att anlägga ett slutförvar. En säkerhetsanalys ska också ingå i en dessförinnan planerad ansökan om tillstånd att uppföra en inkapslingsanläggning.

SKB:s arbete med säkerhetsanalyser är närmast inriktat på att ta fram en så kallad Metodrapport för de säkerhetsanalyser som ska baseras på data från de kommande platsundersökningarna. Den rapporten ska bland annat behandla (s 28–29):

- Format för systembeskrivningen och planerna på en moderniserad Processrapport.
- Scenariehantering.
- Metod för dataval till konsekvensanalyser.
- Metod för probabilistiska beräkningar, inklusive rollfördelning mellan analytiska och numeriska modeller.
- Naturliga analogiers roll i kommande analyser.
- Möjligheterna till återkoppling från säkerhetsanalyser till platsundersökningarna och förvarsutformningen.
- Program för kommande säkerhetsanalyser, inklusive eventuella delanalyser inför de omfattande analyser som ska baseras på data från platsundersökningarna.

Metodrapporten skulle stå klar inför starten av de kommande analyserna. SKB övervägde att låta internationell expertis granska rapporten.

## **8.8 Granskningen av Fud-program 2001**

### **8.8.1 Övergripande frågor**

Såväl Statens kärnkraftinspektion som Statens råd för kärnavfallsfrågor menade att Fud-program 2001 uppfyllde de grundläggande kraven i 12 § kärntekniklagen /8-16, 8-17/. Kärnkraftinspektionen /8-16/ tillade (s 3) att den fann programmet ändamålsenligt för fortsatt vidareutveckling av en metod för slutförvaring av använt kärnbränsle i svenskt urberg, att forskningen bedöms vara av god kvalitet samt att ”slutförvaring enligt KBS-3-metoden i djupa geologiska formationer fortfarande framstår som det mest ändamålsenliga sättet att slutligt omhänderta det använda kärnbränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet”.

Både Kärnkraftinspektionen och Kärnavfallsrådet uttalade förståelse för att SKB önskade inrikta kommande Fud-program på det underlag som krävdes för att kunna arbeta enligt den så kallade referenstidsplanen. Men de uttryckte samtidigt tvivel om realismen i denna tidsplan. Kärnavfallsrådet /8-17/ fann tidsplanen ”alltför optimistisk för att garantera god kvalitet på allt det arbete som behöver göras” (s 10); Kärnkraftinspektionen /8-16/ konstaterade ”att tidsplanen ger mycket små marginaler för förseningar och oförutsedda händelser” och pekade bland annat på tidsåtgången för utvecklingsarbetet med kapseln (s 4). Båda underströk vidare att framtida Fud-program måste uppfylla kärntekniklagens krav på allsidighet och fullständighet.

### **8.8.2 Kapsel, inkapslingsfrågor**

Statens kärnkraftinspektion /8-16/ betonade att en förutsättning för den tekniska genomförbarheten av KBS-3-konceptet är att det finns metoder för förslutning och kontroll av kapslar som är lämpliga vid serietillverkning. Detta innebär, skrev inspektionen, ”att ett tillräckligt antal fullstora kapslar skall ha tillverkats, förslutits och kontrollerats och kunnat visas uppfylla de krav som förutsätts i analysen av den långsiktiga säkerheten” (s 5).

Kärnkraftinspektionens syn på SKB:s utvecklingsarbete kring kapsel och inkapsling kan sammanfattas i följande punkter (granskningspromemorian s 7 och 12):

- Det ska finnas en stark koppling mellan indata till säkerhetsanalysen, uppsatta acceptanskriterier för kapseln och teststatistik från den oförstörande provningen.
- Det är angeläget att SKB genomför förnyade beräkningar avseende den mekaniska hållfastheten för kapseln och att tillräcklig tid avsätts för detta.

- Det är positivt att SKB har sammanställt kunskapsläget i fråga om kopparkorrosion. Denna kunskap bör användas i säkerhetsanalysen och i arbetet med konstruktionsförutsättningar. Resonemangen i säkerhetsanalysen och i konstruktionsförutsättningarna ska leda fram till dimensioneringen av koppartjockleken.
- Det finns både för- och nackdelar med att använda ett tunnare (30 millimeter) kopparhölje än i referensalternativet (50 millimeter). Det är positivt att SKB tar ett samlat grepp för arbetet med tillverkningsteknik och beräkningar av hållfastheten för gjutjärnsinsatsen.

Även Statens råd för kärnavfallsfrågor /8-17/ ägnade stor uppmärksamhet åt kapsel- och inkapslingsfrågorna. Av Kärnavfallsrådets sammanfattning av dess synpunkter (s 12–13) framgår bland annat att rådet uttryckte ”tillfredsställelse” med att SKB avsåg att göra empiriska studier av korrosionsförlopp i kontaktområdet *koppar–gjutjärn–vatten* och *gjutjärn–vatten* under realistiska betingelser och att med data från dessa göra nya beräkningar av utvecklingen i en skadad kapsel. Vidare menade rådet att kravet på begränsning av initiala defekter i kopparkapslarna var alltför vagt formulerat samt att det för fogningen av kopparkapseln återstod stora insatser innan ett val kunde träffas mellan de båda metoderna friktionssvetsning och elektronstrålesvetsning.

### 8.8.3 Buffert

Statens kärnkraftinspektions sammanfattande omdöme var /8-16/ att inspektionen inte hade funnit något som allvarligt talade emot att en buffert med godtagbara egenskaper skulle kunna tas fram. SKB:s program inom detta område betecknades som ”heltäckande och vittnar om en god förståelse av samband mellan initiala egenskaper och långsiktiga processer” (granskningspromemorian s 8).

Frågor om bufferten behandlades ingående av Statens råd för kärnavfallsfrågor /8-17/, som (s 53–61) tog upp frågor om bland annat svällbarhet, kemisk stabilitet, sorptionsförmåga, den tidiga utvecklingen av bufferten i samband med att denna vattenmättas, genomsläpplighet för gaser samt erosion. Rådet såg positivt på SKB:s planer att genomföra studier av alternativa buffertmaterial.

### 8.8.4 Återfyllning

Som redan nämnts (avsnitt 8.7.4) fick behandlingen av frågor kring återfyllning en mer framträdande plats i Fud-program 2001 än i tidigare Fud-program. Statens kärnkraftinspektion /8-16/ uttalade i granskningspromemorian att dess allmänna synpunkter på egenskaper och processer i återfyllningen och på SKB:s redovisning ”är densamma som för bufferten” (granskningspromemorian s 8):

Statens råd för kärnavfallsfrågor /8-17/ belyste i sitt yttrande återfyllningens sammansättning, vittring och sorptionsegenskaper. Rådet ansåg (s 14) att om de olika kraven på återfyllningen visar sig svåra att förena, bör dess funktion att begränsa utsvällningen av bufferten prioriteras. SKB borde vidare göra ”funktionsanalyser av systemet *buffert–återfyllning–geosfär* för att belysa fördelar och nackdelar med olika typer av återfyllning”

### 8.8.5 Berget på förvarsdjup

I Fud-program 2001 hade SKB redovisat kunskapsläget och sin bedömning av behovet av ytterligare forskning kring ett stort antal processer som kan antas komma att äga rum i berggrunden med start omedelbart efter det att ett förvar av KBS-3-typ har anlagts, tagits i bruk och förslutits.

Dessa studier var enligt Statens kärnkraftinspektion /8-16/ angelägna och inspektionen lyfte fram ett antal frågeställningar som särskilt borde uppmärksammas. Hit hörde frågorna om in- och utströmningsområden, om långsiktig erosion av geosfären vid framtida nedisningar, om inriktningen av geokemiprogrammet samt om metoder för att bedöma hur radionuklider kan transporteras i berget (granskningspromemorian s 9):

Även Statens råd för kärnavfallsfrågor /8-17/ kommenterade programmet i denna del. Rådet pekade på vissa av de frågeställningar som borde belysas, men uttalade samtidigt att den huvudsakliga inriktningen av de angivna undersökningarna var ändamålsenlig (s 15).

### 8.8.6 Eventuellt återtag av deponerade kapslar

Frågan om eventuellt återtag av deponerade kapslar behandlades inte av vare sig Statens kärnkraftinspektion eller Statens råd för kärnavfallsfrågor.

### 8.8.7 Deponeringsteknik, provning av teknik i full skala

#### *Tillverkning av bentonitblock, med mera*

Statens kärnkraftinspektion /8-16/ betecknade det som "lovvärt" att SKB undersökte alternativa tillverkningsmetoder för bentonitblock och ringar "eftersom isostatpressade block sannolikt blir mer homogena i strukturen än enaxligt pressade block och ringar och därmed lättare kan uppfylla höga kvalitetskrav" (granskningspromemorian s 99–100). Inspektionen tillade att om SKB framöver stöter på problem vid åtskild deponering av bentonit och kapsel "bör man förbereda sig på att ta fram teknik och utrustning för samtidig deponering av kapsel och bentonit. Detta alternativ medför också större deponeringstunnlar och därmed ökat berguttag."

#### *Förslutning*

I fråga om så kallade driftförslutningar konstaterade Kärnkraftinspektionen /8-16/ att SKB inte tillräknade dessa någon funktion vad avser långsiktig säkerhet. Likafullt, skrev inspektionen, "bör SKB utreda varför betongpluggen (inkluderande en djup nisch in i berget) i Backfill and Plug Test i Äspölaboratoriet inte uppfyller täthetskravet. Det är enligt SKI:s uppfattning en förtroendefråga för SKB att man för allmänhet, kommuner, myndigheter m fl kan visa att tillämpad teknik fungerar tillfredsställande" (granskningspromemorian s 100).

Kärnkraftinspektionen tog i detta sammanhang också upp frågan om inverkan av användning av betong och fann det viktigt att SKB utreder cement/betongs påverkan på bentonit, "vilket SKB förhoppningsvis kommer att göra inom ramen för samarbetsprojekt med Posiva och deltagande i EU-projektet ECOCLAY II."

### 8.8.8 Varianter av KBS-3

Redovisningen i Fud-program 2001 av resultatet av den så kallade JADE-studien kring olika varianter av KBS-3-systemet kommenterades av Statens kärnkraftinspektion (men inte av Kärnavfallsrådet). Inspektionen /8-16/ efterlyste (granskningspromemorian s 99) en konkretisering av dessa varianter, men konstaterade dock samtidigt att den "sent under granskningsprocessen" hade fått tillgång till "ett Fud-program för ett KBS-3-förvar med horisontell deponering, vilken såväl SKI som SSI finner tillfredsställande".

Kärnkraftinspektionen nämnde i detta sammanhang även att det i olika sammanhang hade förts diskussioner om slutförvar i två plan, men att SKB inte hade redovisat någon grundligare analys och bedömning av ett sådant alternativ. Enligt inspektionen kunde det vara motiverat med en sådan analys om det skulle visa sig att volymen inom den tänkta förvarsutformningen i ett plan i den begränsade linsen i Forsmark inte är tillräcklig.

### 8.8.9 Säkerhetsanalys

Statens kärnkraftinspektion /8-16/ kom fram till (s 4–5) att SKB skulle låta genomföra en internationell granskning av den säkerhetsanalys som SKB planerade att redovisa år 2004. Inspektionen såg dock inget behov av att SKB:s planerade säkerhetsredovisningar knöts till Fud-program 2004; redovisningstillfällena borde i stället fastläggas inom ramen för pågående samråd mellan SKB, Strålskyddsinstitutet och inspektionen.

Vidare menade Kärnkraftinspektionen att SKB tydligare borde konkretisera målsättningar och avgränsningar med de preliminära säkerhetsbedömningar som SKB planerade att genomföra efter den inledande fasen av platsundersökningar. När det gällde den säkerhetsanalys som skulle ligga som grund för den planerade ansökan att få uppföra en inkapslingsanläggning, uttalade inspektionen "att det är av avgörande betydelse att SKB på ett övertygande sätt kan visa att säkerhetsanalysens antaganden gällande kapseldefekter har mycket goda förutsättningar att infrias".

Statens råd för kärnavfallsfrågor /8-17/ konstaterade (s 10–11) att SKB:s säkerhetsanalyser hade fokuserats på slutförvarets långsiktiga säkerhet och efterlyste säkerhetsanalyser även för slutförvarets driftfas samt för inkapslingsanläggning och transporter. Dessutom borde en säkerhetsanalys göras för eventuellt återtag av kapslar från slutförvaret.

### 8.8.10 Regeringens ställningstagande

Granskningen av Fud-program 2001 resulterade i ett regeringsbeslut i december 2002. Det formella beslutet var, att regeringen fann att programmet uppfyllde de krav som ställs i kärntekniklagen /8-18/.

I det avsnitt av regeringsbeslutet som innehöll en redovisning av skälen för beslutet uttalade regeringen bland annat att den utgick från att SKB ”noga överväger de ... påpekanden som såväl SKI, SSI och KASAM som andra instanser gjort...” Vidare gjorde regeringen i detta sammanhang följande uttalanden i fråga om tidsplan och handlingsplan samt säkerhetsanalys:

”En genomarbetad tidsplan med ingående handlingsplan för hur SKB skall uppnå målet för en säker slutförvaring av kärnavfallet är en förutsättning för att tillgodose allmänhetens, myndigheternas och övriga berördas behov av information i och med att slutförvarsprogrammet nu kommit in i ett platsundersökningsskede.

Regeringen noterar vad både SKI, SSI och KASAM har uttalat rörande SKB:s tidsplanering och sambandet mellan olika delar av utvecklingsarbetet kring både en inkapslingsanläggning och en anläggning för slutförvar av använt kärnbränsle. Regeringen utgår från att SKB säkerställer att erfarenheterna från de inledande platsundersökningarna tas till vara vid genomförandet av de kompletta platsundersökningarna.

...

Regeringen förutsätter vidare att SKB för en dialog med berörda myndigheter och kommuner och att en redogörelse för SKB:s tidsplan med tillhörande handlingsplan rörande en säker slutförvaring av kärnavfallet ingår i Fud-program 2004.

...

Regeringen fäster SKB:s uppmärksamhet på vad SKI, SSI och KASAM uttalat rörande arbete med säkerhetsanalyser. Regeringen delar SKI:s åsikt att SKB bör precisera innehållet i de preliminära säkerhetsbedömningarna efter de inledande platsundersökningarna samt ange vilken återkoppling de ger till den kompletta platsundersökningssfasen. Regeringen delar vidare SKI:s och SSI:s åsikt att en internationell expertgranskning bör genomföras av den säkerhetsanalys som SKB planerar att publicera år 2004, som underlag för myndigheternas vidare bedömning av densamma.”

## 8.9 Utveckling av KBS-3-metoden 1995–2001

I detta avsnitt sammanfattas några huvudpunkter i den utveckling av KBS-3-metoden som skedde från redovisningen i Fud-program 95 till redovisningen i Fud-program 2001.

Fud-program 95 Hanteringsgång och anläggningar	Fud-program 98 Hanteringsgång och anläggningar	Fud-program 2001 Hanteringsgång och anläggningar
Mellanlager	Mellanlager	Mellanlager
Clab i drift sedan 1985.	Clab i drift sedan 1985	Clab i drift sedan 1985.

Fud-program 95	Fud-program 98	Fud-program 2001
<b>Inkapslinganläggning</b>	<b>Inkapslinganläggning</b>	<b>Inkapslinganläggning</b>
Det använda bränslet förs till en anläggning för inkapsling (ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978).	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.
Inkapslinganläggningen förutsätts bli förlagd i anslutning till Clab, men lokalisering till samma plats som för slutförvaret ska belysas.	Huvudalternativet är lokalisering i anslutning till Clab. Men alternativa lokaliseringar möjliga.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.
<b>Slutförvar</b>	<b>Slutförvar</b>	<b>Slutförvar</b>
<i>Anm. SKB använde åren 1992–2003/4 termen "djupförvar".</i>	<i>Anm. SKB använde åren 1992–2003/4 termen "djupförvar".</i>	<i>Anm. SKB använde åren 1992–2003/4 termen "djupförvar".</i>
Förvaret består av ett system av deponeringstunnlar på cirka 500 m djup i ett utvalt bergparti (kristallin berggrund). Förvaret kan utföras i ett eller flera plan. (Ingen ändring jämfört med KBS-3-rapporten 1983, men deponeringstunnlar i ett plan sågs uttryckligen vara huvudalternativ.)	Ingen ändring jämfört med Fud-program 95, men tunnelsekretet anges ligga på 400–700 m djup i ett plan. Även alternativet med två plan studeras.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.
Utbyggnad i två steg: • Demonstrationsdeponering, cirka 400 kapslar. • Därefter resterande kapslar.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.	Övergripande tidsplan: Inledande drift startar 2015, reguljär drift startar i början av 2020-talet. Under den inledande driften deponeras 200–400 kapslar.
Vertikal deponering (ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978).	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.
Inga uppgifter om deponeringshålens diameter och djup ( <i>i Fud-program 92 angavs diametern till 1,6 m, djupet till 7,58 m</i> ).	Inga uppgifter om deponeringshålens diameter och djup.	Inga uppgifter om deponeringshålens diameter och djup.
Studier dels av horisontell placering i hål borrade i tunnelväggen åt båda håll, dels av vertikal deponering med 2 kapslar per hål.	Vertikal deponering med 1 kapsel per hål är huvudalternativ, men fortsatta studier av vertikal deponering med 2 kapslar per hål samt av deponering i horisontella hål.	Studier av fyra alternativa utformningar av KBS-3 redovisas: • Vertikal deponering, 1 alternativt 2 kapslar per hål. • Horisontell deponering, 1 alternativt flera kapslar per hål. Slutsatser: • Vertikal deponering, 1 kapsel per hål kvarstår som huvudalternativ. • Fortsatta studier av horisontell deponering.
Bränslelementen stoppas in <i>hela</i> i kapslarna (ingen ändring jämfört med Fud-program 92).	Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.
Yta: Cirka 1 km <sup>2</sup> .	Yta: 1–2 km <sup>2</sup> .	Inga uppgifter om utbredning samt om deponeringstunnlars höjd, bredd och inbördes avstånd.
Inga uppgifter om deponeringstunnlars höjd, bredd och inbördes avstånd i Fud-program 95 ( <i>i Fud-program 92 angavs 4 m höjd, 3,4 m bredd; i KBS-3-rapporten angavs cirka 25 m inbördes avstånd om deponering i ett plan</i> ).	Inga uppgifter om deponeringstunnlars höjd, bredd och inbördes avstånd.	
Återtagsfrågan antyds.	Återtag: Analys av hur deponerade kapslar kan återtas före förslutning. Analysen tar främst sikte på eventuellt återtag av de 400 kapslar som deponeras under etapp 1.	Återtag: Utförligare analys än i Fud-program 98 av hur deponerade kapslar kan återtas före förslutning. Praktiska försök med metodik och utrustning för återtag har påbörjats i Äspölaboratoriet.

Fud-program 95	Fud-program 98	Fud-program 2001
<b>Buffert och återfyllning</b>	<b>Buffert och återfyllning</b>	<b>Buffert och återfyllning</b>
<b>Buffert</b>	<b>Buffert</b>	<b>Buffert</b>
Kapseln omges i deponeringshålen med block av högkompakterad bentonit (ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978).	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.
Block av högkompakterad bentonit i form av "ananasringar" förutsätts kunna framställas genom antingen isostatisk pressning eller enaxlig pressning.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.
Fortsatta studier ska ske av: <ul style="list-style-type: none"> <li>• egenskaperna hos olika typer av bentonit,</li> <li>• processen för transport genom bentonitbufferten av den vätgas som kan bildas i händelse av att hål bildas i kopparkapseln och vatten tränger in i kapseln.</li> </ul>	Med utgångspunkt från preciserade krav på buffertmaterialets funktioner ges en mer detaljerad redovisning än i Fud-program 95 av fortsatta studier kring bentonitens egenskaper.	Utifrån ytterligare (i förhållande till i Fud-program 98) preciserade krav på buffertmaterialets funktioner presenteras slutsatser av genomförda studier kring bentonitens egenskaper. SKB väljer naturlig bentonit av Wyoming-typ (MX-80) som referensmaterial, men håller öppet för att det kan finnas andra material som är lika lämpliga.
Inga uppgifter om buffertens tjocklek (i Fud-program 92 angavs 36 cm).	Inga uppgifter om buffertens tjocklek	Inga uppgifter om buffertens tjocklek
<b>Återfyllning</b>	<b>Återfyllning</b>	<b>Återfyllning</b>
För återfyllning av förvaringstunnlar och bergtrum studeras i första hand bergkross som ballastmaterial och med 10–20 % inblandning av bentonit.	Med utgångspunkt från preciserade krav på återfyllningens funktioner är slutsatsen att blandningar av bentonit och krossat berg, eller bentonit och kvartssand visat sig lämpliga.	Med utgångspunkt från ytterligare (i förhållande till Fud-program 98) preciserade krav på återfyllningens funktioner dras slutsatsen att <ul style="list-style-type: none"> <li>• en blandning av 15 % bentonit och 85 % bergkross kan vara lämplig för en plats med sött grundvatten,</li> <li>• en blandning med högre andel bentonit kan behövas för en plats med saltare grundvatten,</li> <li>• exakt sammansättning av återfyllningsmaterial kan bestämmas först när förhållandena på aktuell plats är kända.</li> </ul>
Funktioner: Motverka utsvällning av bentonit från deponeringshål, förhindra/begränsa strömning av vatten i tunnel kring kapselpositioner, motverka kemisk omvandling av bufferten .	Funktioner: Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.	Funktioner: Utgör ingen barriär i sig utan nödvändig för att bufferten och berget ska få önskad funktion.
Av tekniska skäl lämpligt att återfylla och försluta deponeringstunnlarna efter hand som deponeringens avslutas.	Praktiska försök har påbörjats i Äspölaboratoriet. Behovet av permanenta förslutningar av deponeringstunnlar kan inte bedömas utan kännedom om förhållandena på den valda platsen.	Material och tekniker för återfyllning och förslutning utprovas vid Äspölaboratoriet.
<b>Kapseln</b>	<b>Kapseln</b>	<b>Kapseln</b>
<i>Huvudalternativ:</i> Kapseln består av en gjuten innerbehållare av stål, järn eller gjutbrons med hål (positioner) för bränsleelementen samt ett yttre hölje av koppar.	Kapseln består av en yttre korrosionsbarriär av koppar och en tryckbärande insats av segjärn.  <i>Motiv</i> för val av koppar som hölje: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Har den livslängd som behövs.</li> <li>• Har minimal påverkan på övriga barriärer.</li> </ul>	Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.  Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.



Fud-program 95	Fud-program 98	Fud-program 2001
Tålighet mot yttre last fås genom den gjutna innerbehållaren.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.
<p><i>Motiv för huvudalternativet:</i> En mindre komplicerad process vid inkapslingen än fyllning av mellanrummen mellan bränsleelementen i en stålcyllinder (enligt Fud-program 92). En gjuten insats är robustare mot yttre laster och lättare att utforma med hänsyn till kriticitetsrisk.</p> <p><i>Reservalternativ:</i> Kapseln består av en blyfylld kopparcyllinder (ingen ändring jämfört med Fud-program 92 som hänvisade till KBS-rapporten 1983).</p>	Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.
Antal bränsleelement per kapsel (huvudalternativet): 12 BWR-element, alternativt 4 PWR-element (ingen ändring jämfört med Fud-program 92).	Antal bränsleelement per kapsel: Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.	Antal bränsleelement per kapsel: Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.
<p>Alternativa tillvägagångssätt för tillverkning av kopparhöljet:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rullpressning/Kantpressning av rörhalvor som sammanfogas med elektronstrålesvetsning.</li> <li>• Extrudering av hela rör.</li> </ul>	<p>Tillvägagångssätt vid tillverkning av kopparhöljet:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rullformning av valsad plåt till rörhalvor som fogas samman med elektronstrålesvetsning.</li> <li>• Bottnar och lock maskinbearbetas från smidda ämnen; bottarna anbringas på rören med elektronstrålesvetsning.</li> </ul>	<p>Tillvägagångssätt vid tillverkning av kopparhöljet:</p> <p>Flera olika tillverkningsmetoder finns; val mellan dem bör anstå tills fabriken börjar projekteras .</p>
	Segjärnsinsatsen gjuts med botten i ett stycke. Insatsens lock av stål med ventil skruvas fast.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.
Alternativa svetsmetoder för kopparlock (ingen ändring jämfört med Fud-program 92):	Alternativa svetsmetoder för kopparlock:	Alternativa svetsmetoder för kopparlock:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektronstrålesvetsning (alt 1).</li> <li>• Friktionssvetsning (alt 2).</li> </ul>	Fortsatt utvecklingsarbete kring elektronstrålesvetsning.	Fortsatt utvecklingsarbete kring elektronstrålesvetsning och studier av friktionssvetsning.
<p><i>Kapselns dimensioner.</i> Fortsatta studier av exakta dimensioner för kapseln och av val av materialkvaliteter. (I Fud-program 92 hade angetts: Längd: 4,85 m. Yttre diameter: 88 cm. Inre diameter: 68 cm.)</p>	<p><i>Kapselns dimensioner:</i> Längd: 4,83 m. Yttre diameter: 105 cm. Inre diameter: 85 cm.</p>	<p><i>Kapselns dimensioner:</i> Längd: 4,835 m. Yttre diameter: 105 cm. Inre diameter: 85 cm.</p>
Väggens tjocklek: Minst 10 cm, varav minst 5 cm den gjutna innerbehållaren samt 5 cm koppar.	Vägg tjocklek: Ingen ändring jämfört med till Fud-program 95.	Vägg tjocklek: Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.
<p><i>Motiv för 5 cm kopparhölje anges inte. (Enligt Fud-program 92: Några processer som kan leda till genombrott på kapseln på grund av korrosion av kopparhöljet på kortare tid än en miljon år har inte identifierats.)</i></p>	<p><i>Motiv för 5 cm kopparhölje anges inte. Dock påpekas att 15 mm tjocklek räcker som korrosionsskydd och att SKB därför undersöker möjligheten att tillverka kopparkapsel med 3 cm koppar.</i></p>	<p><i>Motiv för 5 cm kopparhölje anges inte. Samtidigt redovisas att 30 mm är fullt tillräckligt, varför fortsatt utvecklingsarbete sker kring tillverkning av hölje med denna dimension (och i så fall konsekvensändringar av segjärnsinsatsens dimensioner).</i></p>
Vikt fylld kapsel (huvudalternativet): 25 ton. Fortsatta studier.	Vikt fylld kapsel: 25 ton (BWR-element alternativt 27 ton (PWR-element)).	Vikt fylld kapsel (BWR-element): 24,6 ton.
Metodutveckling för oförstörande provning av kapslar.	Fortsatt metodutveckling för oförstörande provning av kapslar.	Fortsatt metodutveckling för oförstörande provning av kapslar (pågår i Kapsellaboratoriet i Oskarshamn).

## 9 Platsundersökningskedet åren 2002–2009

### 9.1 KBS-3 i Fud-program 2004

#### 9.1.1 Övergripande frågor

*Fud-program 2004 Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall, inklusive samhällsforskning /9-1/* var främst inriktat på att belysa utvecklingen av tillverkning och förslutning av kapslar för slutförvaring av använt kärnbränsle. Anledningen var, skrev SKB, ”den ansökan om tillstånd för en inkapslingsanläggning som SKB avser att lämna in under den kommande programperioden” (s 5).

Mot bakgrund av påpekanden från olika håll i samband med granskningen av Fud-program 2001 (se avsnitt 8.8) presenterade SKB i Fud-program 2004 en reviderad tidsplan för sitt arbete. Denna så kallade handlingsplan – som i sin fullständiga lydelse bifogades Fud-programmet som bilaga – innebar bland annat att SKB närmast skulle ta fram det underlag som behövdes för att år 2006 kunna ansöka om tillstånd för inkapslingsanläggningen.

Översiktligt beskrevs slutförvaret i Fud-program 2004 enligt följande (s 26) och illustrerades enligt figurena 9-1 och 9-2:

”SKB:s referensmetod för att ta hand om använt kärnbränsle kallas KBS-3-metoden, där förkortningen KBS står för kärnbränslesäkerhet. Metoden innebär att det använda bränslet kapslas in i kopparkapslar som sedan deponeras, omgivna av en buffert av bentonitlera, i deponeringshål i ett tunnelsystem på ungefär 400–700 meters djup i kristallin berggrund...

De tre barriärerna (kapseln, bufferten och berget) har till uppgift att isolera de radioaktiva ämnena i bränslet från omgivningen. Det är först om de radioaktiva ämnena förs upp till ytan av grundvattnets rörelser som de blir skadliga för människa och miljö. I djupförvaret är det kapseln som i första hand har den isolerande funktionen. Om radioaktiva ämnen skulle ta sig ut ur en otät kapsel ska transporten fördröjas. Samtliga barriärer bidrar till den fördröjande funktionen. En delvis skadad kopparkapsel kan effektivt bidra till fördröjningen genom att försvåra in- och utflöde av vatten. Bentonitbufferten har en förmåga att hålla kvar många av de långlivade radioaktiva ämnena genom att dessa fastnar på lerpartiklarnas yta. Berget bidrar till fördröjningen genom att vattenomsättningen är liten på så stora djup. Dessutom kan radioaktiva ämnen fastna på sprickor eller tränga in i mikrosprickor med stillastående vatten.

...

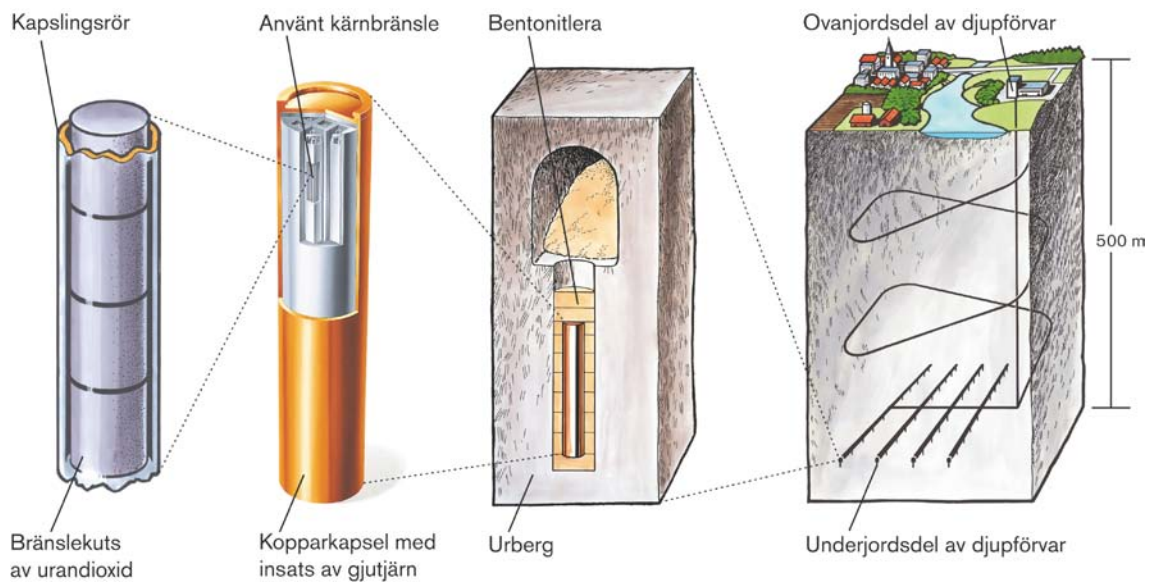
Djupförvaret består i sin grundutförning av en nedfartstunnel, schakt, centralområde samt en rad deponeringstunnlar... I varje deponeringstunnel finns ett antal deponeringshål. Placeringen av deponeringstunnlarna, liksom det inbördes avståndet mellan deponeringshålen, bestäms bland annat med hänsyn till att temperaturen inte får överstiga 100 °C på kapslarnas yta. Efter att kapslarna placerats i deponeringshålen, omgivna av tätande bentonitlera, fylls tunneln igen med en blandning av bentonitlera och krossat berg. Även övriga utrymmen fylls igen när allt bränsle har deponerats.”

#### 9.1.2 Kapsel, inkapslingsfrågor

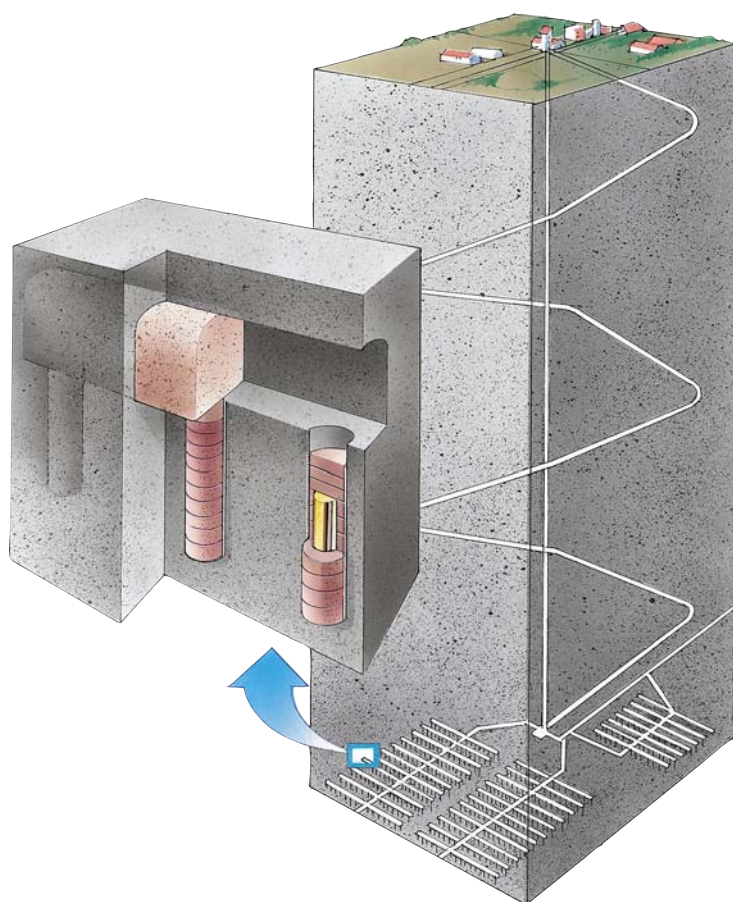
Frågor kring tillverkning och förslutning av kapslar stod i centrum för redovisningen i Fud-program 2004. Dessa frågor behandlades både i den del av Fud-programmet som behandlade teknikutveckling och i den del som behandlade forskning (s 45–102 respektive 183–192). Framställningen kan sammanfattas enligt följande.

SKB:s så kallade referenskapsel bestod som tidigare av en yttre korrosionsbarriär av koppar och en tryckbärande insats av segjärn. Den skulle rymma antingen tolv BWR-element eller fyra PWR-element, ha en längd av knappt fem meter och en diameter av drygt en meter. Den totala vikten, inklusive bränsle, förutsattes vara cirka 25 ton för en BWR-kapsel och cirka 27 ton för en PWR-kapsel. Utöver samma bild som använts i Fud-program 2001 (figur 8-5, se avsnitt 8.7.2), illustrerades framställningen enligt figur 9-3.

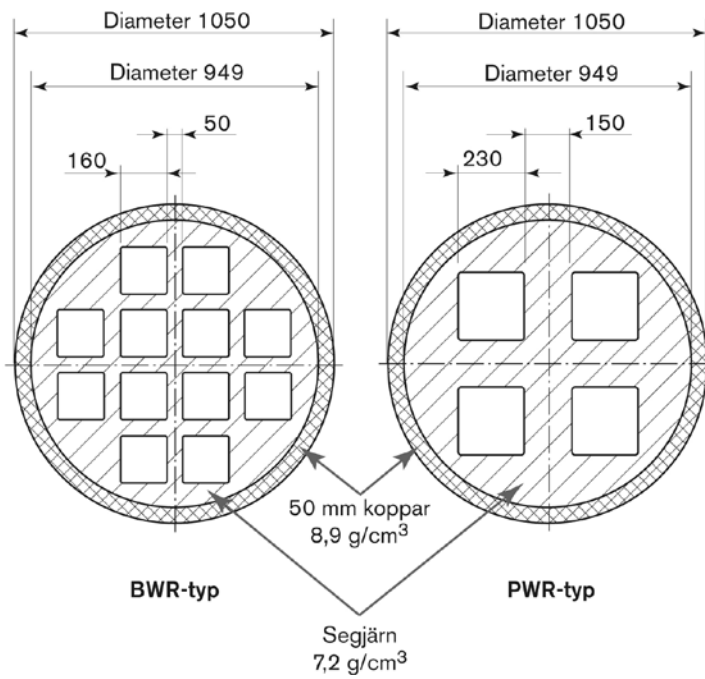
Den färdigbearbetade kapselinsatsen illustrerades enligt figur 9-4.



**Figur 9-1.** KBS-3-metoden bygger på att olika barriärer (kapseln, bufferten och berget) hindrar de radioaktiva ämnena i bränslet från att skada människa och miljö (Fud-program 2004).



**Figur 9-2.** Djupförvarets grundutformning (Fud-program 2004).



*Figur 9-3. Tvärsnitt av kapseln. Alla mått är angivna i millimeter (Fud-program 2004).*



*Figur 9-4. Färdigbearbetad insats och stållock till insats (Fud-program 2004).*

Som framgår förutsattes en koppartjocklek av 50 millimeter. SKB konstaterade (s 45) att en viktig milstolpe för inkapslingstekniken hade uppnåtts genom att en kapsel i full skala hade tillverkats och förslutits enligt kvalitetsplan. Det i Fud-program 2001 skisserade alternativet med en koppartjocklek av 30 millimeter nämndes inte<sup>47</sup>.

I den del av Fud-program 2004 som gällde frågor om teknikutveckling behandlades ett stort antal ämnesområden med anknytning till kapseltillverkning och inkapsling (s 45–102). För vart och ett av dessa ämnesområden var framställningen disponerad kring tre teman, nämligen:

- slutsatser som kommit fram i Fud-program 2001 och vid granskningen av detta,
- nyvunnen kunskap sedan Fud-program 2001,
- program för den fortsatta verksamheten.

Bland nyvunnen kunskap sedan Fud-program 2001 hänvisades bland annat (s 47) till en forskningsrapport enligt vilken två millimeters väggtjocklek skulle vara tillräcklig för att kapseln ska kunna få en livslängd av en miljon år.

Ett stort antal frågeställningar togs upp enligt följande punktvisa översikt:

#### Kapsel – tillverkning

- Konstruktionsförutsättningar.
- Acceptanskriterier.
- Materialteknik.
  - Kapselinsatser.
  - Kapselrör, lock och bottenar.
- Provtillverkning.
  - Kapselinsatser.
  - Kapselrör, lock och bottenar.
  - Oförstörande provning av kapselkomponenter.
- Kapselabrik.

#### Kapsel – förslutning

- Planering.
- Elektronstrålesvetsning.
  - Svetsutrustning.
  - Svetsprocessen.
- Friktionssvetsning.
  - Verktyg.
  - Svetsutrustning.
  - Svetsprocessen.
- Oförstörande provning av förslutningssvetsen.

#### Kapsel – kvalificering

- Kvalificering av metoder för tillverkning och svetsning.
- Kvalificering av metoder för oförstörande provning.

---

<sup>47</sup> I en av referenserna till Fud-program 2004 (Lägesrapport Kapseltillverkning, SKB R-04-14 s 8) anges att det, när det gäller tillverkning, förslutning och kontrollmetoder, finns både för- och nackdelar med en tunnare koppertjocklek än 50 millimeter. Enstaka kopparrör med både 30 och 40 millimeters tjocklek hade tillverkats på prov i syfte att vinna erfarenhet och utvärdera tillverknings- och kontrollmetoder för sådana kapslar.

## Kapsel – inkapsling

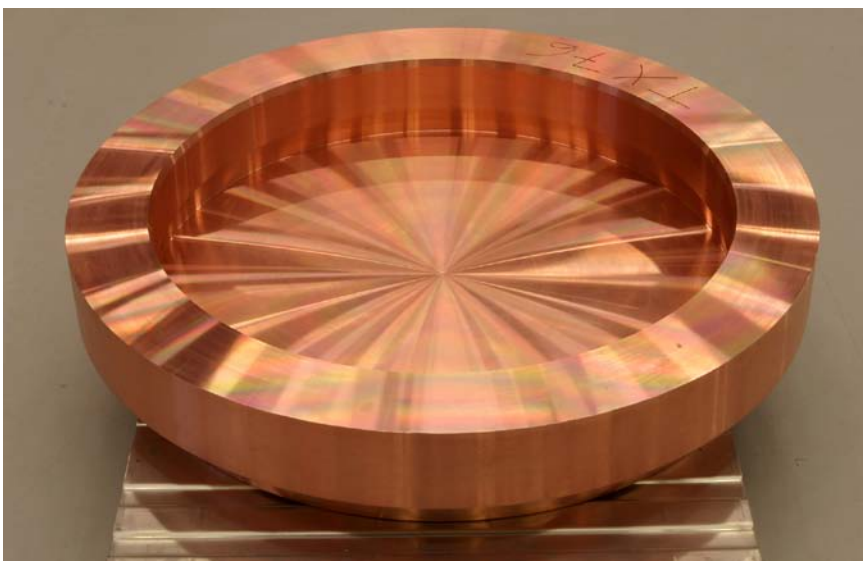
- Inkapslingsanläggning vid Clab.
  - Anläggningen.
  - Projektering och ansökan.
- Inkapslingsanläggning vid djupförvaret.
- Fysiskt skydd.
- Safeguards.

För tillverkning av kopparhöljet hade fyra olika metoder använts, nämligen rullformning, extrudering, dornpressning och smide. Av dessa hade extrudering gett de mest tillförlitliga resultaten (s 58), se figur 9-5. Ett smitt och maskinbearbetat lock i koppar illustrerades enligt figur 9-6.

I fråga om förslutningsmetoder redovisades utförligt pågående utvecklingsarbete med dels elektronstrålesvetsning, dels friktionssvetsning (s 66–81). En systematisk genomgång av arbetsprocessen vid inkapsling skulle ske under de närmaste åren (s 42) inför utformandet av den till år 2006 aviserade tillståndsansökan.



**Figur 9-5.** Extruderat och maskinbearbetat kopparrör (Fud-program 2004).



**Figur 9-6.** Smitt och maskinbearbetat lock i koppar (Fud-program 2004).

Även den del av Fud-program 2004 där forskningsfrågor kring kapseln som barriär behandlades (s 183–192) var i princip disponerad kring samma tre teman som användes i avsnittet om teknikutveckling. De forskningsområden som behandlades – och inom vilka SKB höll på att genomföra forskning i avsikt att pröva kapselns långsiktiga säkerhet – var i stort sett samma som angavs i Fud-program 2001 (se ovan avsnitt 8.7.2).

Fud-program 2004 innehöll även en översiktlig redogörelse för hur en inkapslingsanläggning vid Clab – huvudalternativet för dess lokalisering – skulle utformas (s 93–98). Vidare presenterades kortfattat (s 99–100) en förstudie av en ”inkapslingsanläggning vid djupförvaret” tillsammans med en skiss av en möjlig placering av en sådan i Forsmarksområdet.

### 9.1.3 Buffert

Det centrala avsnittet i fråga om teknikutveckling beträffande buffert hade i Fud-program 2004 rubriken ”Tillverkningsteknik”. SKB anknöt (s 120) till Fud-program 2001 (se ovan avsnitt 8.7.7) där det hade konstaterats att:

- Det finns i huvudsak två metoder för tillverkning av bentonitblock och ringar, nämligen enaxlig pressning och isostatisk pressning.
- Block har pressats med både naturlig vattenkvot (10 procent) och med förhöjd vattenkvot (17 procent). Bentonitblock och ringar har tillverkats av bentonit typ MX-80 och med enaxlig pressning för experiment vid Äspölaboratoriet.
- Med enaxlig pressning kan inte block och ringar som är högre än 0,5 till 1,0 meter framställas. Högre dimensioner skulle ha fördelar vid hantering och inplacering i deponeringshålen.

Kärnkraftinspektionen hade vid sin granskning av Fud-program 2001 ansett det ”lovvärt” att SKB undersöker alternativa tillverkningsmetoder för bentonitblock (se ovan avsnitt 8.8.7). SKB förklarade nu (s 120) att avsikten var att utreda tillverkning av bufferten genom isostatisk pressning.

I den del av Fud-program 2004 där forskning kring bufferten behandlades (s 193) sammanfattades inledningsvis buffertens huvuduppgifter och kraven på i huvudsak samma sätt som i Fud-program 2001 (ovan avsnitt 8.7.3).

Med dessa utgångspunkter angavs (s 195–226) ett stort antal forskningsuppgifter inom följande två huvudområden:

- Buffertens initialtillstånd.
- Processer i bufferten.

### 9.1.4 Återfyllning, förslutning

I Fud-program 2004 framhöll SKB (s 122 och 227) att återfyllningen i tunnarna inte utgjorde någon barriär i sig själv i KBS-3-konceptet. Den var däremot nödvändig för att bufferten och berget ska få önskad funktion.

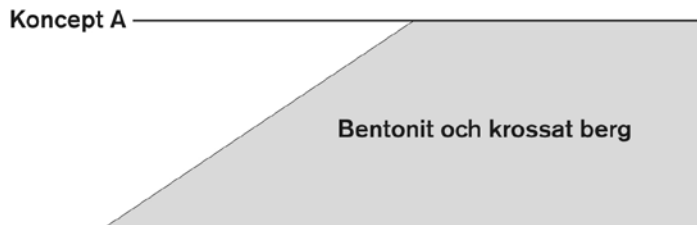
I den del av Fud-programmet som behandlade frågor om teknikutveckling redovisades pågående arbete med att utveckla koncept för återfyllning av deponeringstunnlar och av övriga bergrum samt förslutning av förvaret och av undersökningshål (s 122–125). Med utgångspunkt från ett antal krav som ställdes på återfyllningen redovisades att SKB, tillsammans med Posiva (SKB:s motsvarighet i Finland), arbetade med tre återfyllningskoncept. Dessa var:

- En blandning av bentonit och bergkross kompakteras i tunneln.
- Svällande lera kompakteras i tunneln.
- Förkompakterade block läggs in i tunneln.

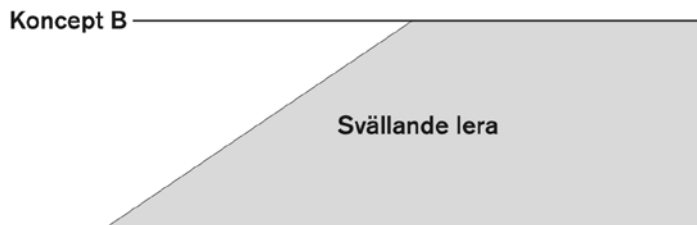
Dessa tre koncept benämndes på annan plats i Fud-program 2004 (s 228) – där fem olika koncept presenterades – A, B respektive D. Som koncept C presenterades i det sammanhanget användning av icke-svällande lera med bentonitblock i taket och som koncept E block av bentonit av buffertkvalitet som varvas med krossat berg i ett kompartmentsystem.

De fem koncepten illustrerades schematiskt enligt figur 9-7:

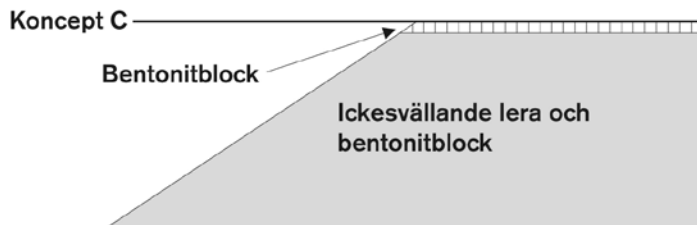
Ett forskningsprogram för koncepten A, B och D skisserades (s 123) i fyra steg, av vilka det första (tekniska utredningar om förutsättningarna) var genomfört. I ett andra steg skulle geotekniska laborietester utföras tillsammans med en djupare analys av de tre koncepten. I detta steg ingick även bland annat tillverkning i laboratorieskala av pressade block med olika materialsammansättning. I ett tredje steg skulle betydelsen av uppskalning utredas, det vill säga teknikutveckling och tester för att verifiera att tekniskt genomförbara med en prototyputrustning. Steg fyra skulle innebära tester i full skala för att verifiera återfyllningens funktion.



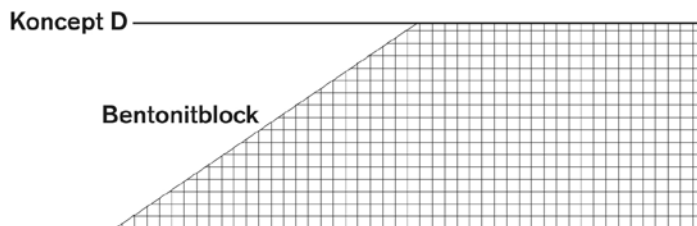
Det ursprungliga referenskonceptet: bentonit (samma som till buffert) blandad med krossat berg.



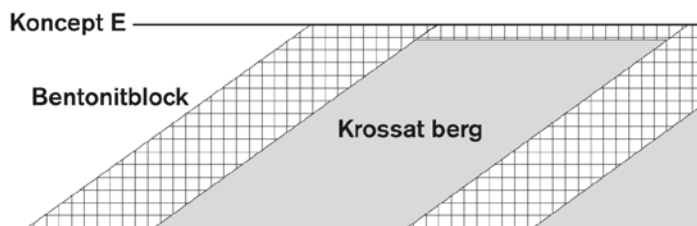
Svällande lera som kompakteras på plats i tunneln. Friedlandlera används som referens för närvarande, men många olika leror skulle kunna vara tänkbara.



Icke-svällande lera med bentonitblock i taket.



Svällande lera som kompakteras till block och placeras i tunneln. Friedlandlera används som referens för närvarande, men många olika leror skulle kunna vara tänkbara.



Block av bentonit av buffertkvalitet som varvas med krossat berg i ett kompartmentsystem.

**Figur 9-7.** Olika koncept för återfyllning som utreds (Fud-program 2004).



I detta sammanhang preciserade SKB också vilken förslutning som nu utreddes närmare. Det gällde den så kallade driftförslutningen, vilken innebar att varje deponeringstunnel skulle förslutas med en betongplugg i mynningen efter hand som deponeringen där hade avslutats och återfyllning hade skett. Det framhölls att driftförslutningarna inte hade någon långsiktig funktion, men skulle komma att lämnas kvar när övriga bergrum återfylldes.

Behovet av permanenta förslutningar i undermarksdelen, mellan till exempel olika deponeringsområden, avsågs komma att utredas i platsspecifika preliminära säkerhetsbedömningar under år 2005. Den typen av förslutningar förutses vara någon form av bentonitpluggar med en långsiktig beständighet. Funktionskrav och detaljerade tekniska lösningar för denna typ av pluggar avsågs komma att utarbetas senare.

En tredje typ av förslutning skulle användas för att förhindra eller försvåra intrång i undermarksanläggningen sedan den återfylldes. SKB bedömde att detaljerade tekniska lösningar för detta kunde anstå.

Även i fråga om metoder för förslutning av undersökningshål redovisades ett med Posiva i Finland gemensamt forskningsprogram.

Frågor om forskning kring återfyllningens långsiktiga funktion behandlades ingående på annan plats i Fud-program 2004 (s 227–242).

### **9.1.5 Berget på förvarsdjup**

Framställningen av frågor kring berggrunden (s 243–271) var upplagd på liknande sätt som motsvarande redovisning i Fud-program 2001 (se avsnitt 8.7.5). Den inleddes alltså med en översikt av de 25–30 olika processer som kan antas komma att äga rum i berget med start under ”initialtillståndet” och fortsatte sedan med en detaljerad genomgång av var och en av dessa.

För varje process återgavs vilka slutsatser som hade presenterats i Fud-program 2001 och vad som framkommit vid granskningen av det programmet, nyvunnen kunskap under tiden därefter samt ett forskningsprogram för den närmaste framtiden.

### **9.1.6 Eventuellt återtag av deponerade kapslar**

SKB återknöt till framställningen i Fud-program 2001 (se ovan avsnitt 8.7.6) och konstaterade att det inte finns några formella krav på att återtag av deponerade kapslar ska vara möjligt (s 125–126). Men att återtag ska vara möjligt såg SKB som ”en logisk följd av den stegvisa utbyggnad med mellanliggande utvärdering som planeras. Konstruktionskraven innebär att återtag av deponerade kapslar ska vara möjligt och att eventuella åtgärder som genomförs för att underlätta återtag inte får påverka djupförvarets säkerhetsfunktioner”.

Oavsett vid vilken tidpunkt ett återtag kan bli aktuellt, så måste kapseln frigöras från bufferten innan den kan tas upp ur deponeringshålet. SKB hade nu studerat ett antal metoder för att avlägsna bentonit och kommit fram till att en så kallad hydrodynamisk metod, som bland annat innebar uppslamning av bufferten med saltlösning och avvattningsmedel i en kontinuerlig process, borde utvecklas och testas ytterligare.

### **9.1.7 Deponeringsteknik**

I Fud-program 2001 hade SKB konstaterat att en prototyp av en deponeringsmaskin i full skala hade tillverkats för att prova och demonstrera tekniken för deponering av kapslar och buffert i djupförvaret (se avsnitt 8.7.7). Men de kringfunktioner som kommer att krävas för transport av transportbehållare från inkapslingsanläggningen ned till förvarsnivån och överföring av kapseln från transportbehållare till deponeringsmaskinens strålskyddstub hade hittills endast studerats översiktligt.

Följande frågeställningar angavs i Fud-program 2004 stå i centrum och övervägdes i samarbete med Posiva (s 121–122):

- Omfattning av strålskydd under deponeringsprocessen, vilket direkt påverkar deponeringsmaskinens storlek.
- En konceptuell studie av en hjulburen deponeringsmaskin i stället för den rälsbundna som finns vid Äspölaboratoriet. Studien ska ge svar om genomförbarhet, krav på körbanor och tillräcklig noggrannhet för positionering kan uppnås.
- Hantering och inläggning av buffert, vilket kopplar till val av teknik för pressning av buffertenheter och hur de kommer att transporteras till förvaringsnivån. Referensalternativet för transport av buffertenheter är att de transporteras i rampen till förvaringsnivån.
- Demonstration för att verifiera att vald metod och utrustning för hanteringen kommer att fungera.

### 9.1.8 Varianter av KBS-3

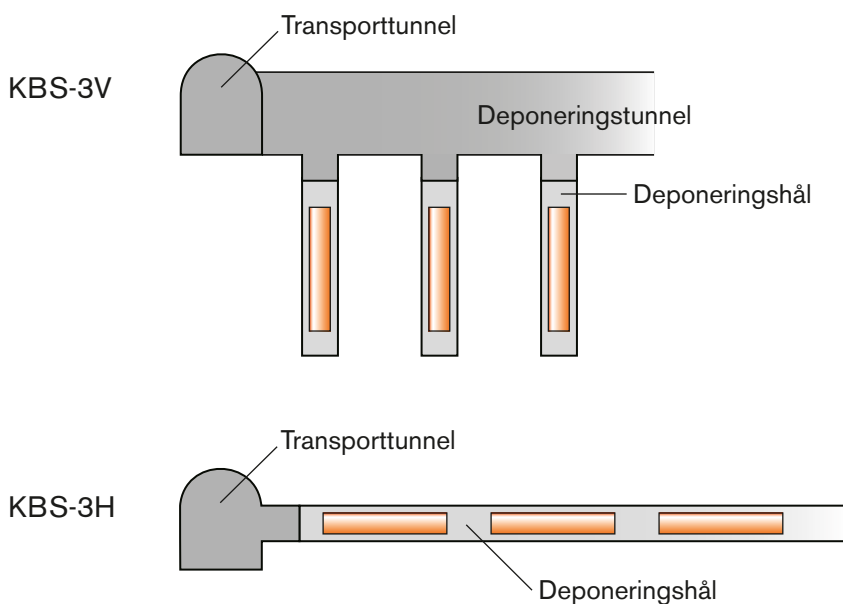
I Fud-program 2004 (s 27) erinrade SKB om att varianten ”horisontell deponering” hade varit med i bilden sedan början av 1990-talet. Innebörden är, skrev SKB, ”att kapslarna deponeras i långa horisontella hål i stället för korta vertikala hål”. Varianten hade i Fud-program 2001 benämnts KBS-3 MLH (se ovan avsnitt 8.7.8), men kallades i Fud-program 2004 för KBS-3H.

Den principiella skillnaden mellan KBS-3V och KBS-3H illustrerades enligt figurerna 9-8 och 9-9.

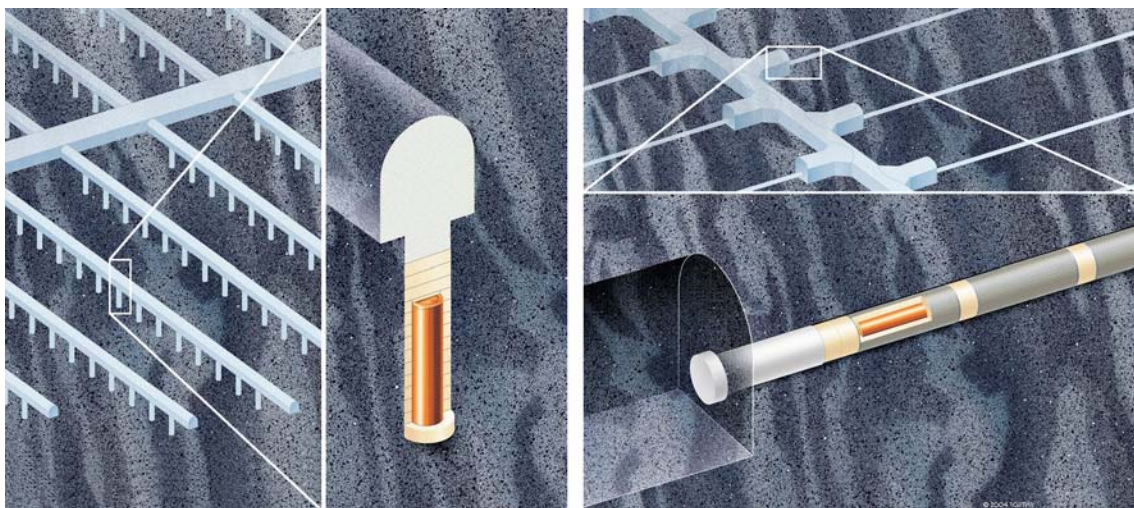
I Fud-program 2004 utvecklade SKB redovisningen av varianten KBS-3H enligt i huvudsak följande s 127–128):

I sin granskning av Fud-program 2001 hade Kärnkraftinspektionen påpekat att det är tillfredsställande att SKB redovisar ett alternativ med horisontell deponering, men att beslut om till exempel horisontell deponering etc kan behöva fattas relativt snart.

Under år 2001 hade SKB publicerat ett forsknings-, utvecklings- och demonstrationsprogram för ett KBS-3-förvar med horisontell deponering. Programmet förutsattes bli genomfört i samarbete med Posiva under åren 2002–2010 och omfattade förstudie, konceptuell utformning, tillverkning av utrustning, demonstration och fälttester vid Äspölaboratoriet samt en utvärdering.



**Figur 9-8.** Principen för vertikal respektive horisontell deponering (Fud-program 2004).



**Figur 9-9.** Principiell skillnad mellan referensmetoden KBS-3V (vänster) och KBS-3H (höger). (Fud-program 2004.)

Förstudien, som genomfördes under år 2002, behandlade i huvudsak tekniska frågor som teknik för bergguttag, hanteringsutrustning för deponering och utformning av en deponeringscontainer. Studien visade att konceptet är tekniskt genomförbart. Arbetet med att ta fram en konceptuell utformning genomfördes under 2003. Syftet med denna fas av projektet var bland annat att identifiera kritiska punkter med avseende på den långsiktiga säkerheten i programmet.

De horisontella deponeringstunnlarna planerades vara upp till 300 meter långa och ha en diameter på 1,85 meter, vilket är en ökning med tio centimeter i jämförelse med deponeringshålen i KBS-3V. Kraven är stora på att deponeringstunnlarna är raka och uppfyller snäva toleranser för dimensionerna så att deponeringen inte försvåras.

I förstudien förordades att bergguttag med så kallad klusterteknik utreds vidare. En utrustning för borrhning av deponeringstunnlarna med denna teknik hade utvecklats och testats.

Kopparkapseln och bufferten avsågs komma att placeras i en deponeringscontainer av stål och hela paketet, som väger cirka 50 ton, deponeras i den horisontella deponeringstunneln. Mellan de deponerade paketen skulle placeras ett distansblock av bentonit.

Utveckling av deponeringsteknik och maskiner för detta pågick. En plats på 220 meters djup i Äspölaboratoriet hade valts för att demonstrera konceptet i full skala.

En genomförd säkerhetsbedömning av det föreslagna konceptet hade granskats av externa experter. Slutsatsen av granskningen var att konceptet bedöms vara tekniskt genomförbart samt att den långsiktiga säkerheten uppfyller kraven. Därmed ansåg SKB att KBS-3H kunde utgöra ”ett alternativ till referensmetoden”, det vill säga KBS-3V.

Följande tekniska aktiviteter skisserades för fortsatt arbete under perioden 2004–2007:

- Borrhning av två deponeringstunnlar i Äspölaboratoriet.
- Detaljkonstruktion och tillverkning av deponeringsutrustning.
- Demonstration av deponeringsutrustning i Äspölaboratoriet.
- Genomförande av förstudie samt ”basic design” av utrustning för återtag.

En säkerhetsanalys för KBS-3H baserad på platsdata från Olkiluoto i Finland skulle genomföras av Posiva.

### 9.1.9 Säkerhetsanalys

SKB hade i Fud-program 2001 aviserat två större säkerhetsanalyser. Den ena skulle utgöra underlag för kommande ansökan att bygga en inkapslingsanläggning. Den andra skulle ha motsvarande funktion för kommande ansökan att bygga ett slutförvar för använt kärnbränsle (se avsnitt 8.7.9). Av Fud-program 2004 framgick att arbetet hade påbörjats och att de båda analyserna gick under arbetsnamnen *SR-Can*<sup>48</sup> respektive *SR-Site*<sup>49</sup> (s 155).

Huvudinnehållet i *SR-Can* och vad som framkom vid granskningen av den säkerhetsanalysen framgår av avsnitt 9.3.

I Fud-program 2004 (s 155–162) återgav SKB innehållet i en då nyligen publicerad interimrapport för *SR-Can* /9-2/. Syftet med den rapporten var att redovisa metodiken för säkerhetsanalys inför tillämpningen av de planerade ansökningarna. Rapporten visade dels genomförd metodikutveckling med exempel, dels planer för hur olika frågor avsågs bli lösta i slutrapporten för *SR-Can*. Det framgick vidare att myndigheterna under hösten 2004 skulle genomföra en ingående granskning av interimrapporten, bland annat med hjälp av en grupp internationella experter.

## 9.2 Granskningen av Fud-program 2004

### 9.2.1 Övergripande frågor

Liksom vid motsvarande granskning av Fud-program 2001 fann både Statens kärnkraftinspektion och Statens råd för kärnavfallsfrågor att Fud-program 2004 uppfyllde de grundläggande kraven i kärntekniklagen /9-3/ respektive 9-4/.

Kärnkraftinspektionen /9-3/ upprepade formuleringarna från granskningen av Fud-program 2001 om att programmet var ”ändamålsenligt för fortsatt vidareutveckling av en metod för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall i svenskt urberg” samt att slutförvaring enligt KBS-3-metoden i djupa geologiska formationer ”fortfarande framstår som det mest ändamålsenliga sättet att omhänderta det använda kärnbränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet” (s 7). Kärnavfallsrådet /9-4/ underströk samtidigt att det fanns behov av fortsatt forskning och utredningar med syfte att skapa bästa förutsättningar för slutliga val av bland annat teknik för slutförvaringen (s 21).

I mars 2005, alltså kort tid innan granskningen av Fud-program 2004 hade slutförts, presenterade SKB en reviderad handlingsplan. Innebörden var bland annat att en ansökan om tillstånd enligt kärntekniklagen att bygga en inkapslingsanläggning skulle ges in år 2006.

Den handlingsplan med tidsplaner som SKB hade presenterat i Fud-program 2004 ansåg Statens kärnkraftinspektion /9-3/ vara ”ofullständig och behöver struktureras bättre” (s 2). I den reviderade handlingsplanen behövdes det enligt Kärnkraftinspektionen en mer detaljerad redovisning av innehållet i det beslutsunderlag som SKB avser lämna vid olika redovisningstillfällen. Statens råd för kärnavfallsfrågor /9-4/ upprepade sin tidigare bedömning att tidsplanen föreföll alltför optimistisk för att garantera god kvalitet på allt det arbete som behöver göras (s 25).

### 9.2.2 Kapsel, inkapslingsfrågor

Statens kärnkraftinspektion /9-3/ kommenterade i den till yttrandet fogade granskningspromemorian både vad SKB hade redovisat i Fud-program 2004 och det arbete som SKB därefter hade utfört i fråga om teknikutveckling. Den sammanfattande bedömningen var (granskningspromemorian s 55–56) bland annat att SKB:s arbete med utveckling av kapsel och inkapsling hade drivits framåt på ett tillfredsställande sätt. Särskilt gällde detta arbetet med program för kvalificering och det genomförda valet av svetsmetod. Utmaningen för SKB ligger nu, uttalade inspektionen, i att sammanställa hela det material som tagits fram och som ska utgöra underlag för ansökan om inkapslingsanläggningen.

<sup>48</sup> *Can* efter engelskans ”canister”, det vill säga kapsel.

<sup>49</sup> *Site* efter engelskans ”site”, det vill säga plats.

Det fanns emellertid, menade Kärnkraftinspektionen, ”en del områden där SKB:s hittillsvarande redovisning indikerar brister i underlaget”. Inspektionens exemplifiering av sådana områden kan sammanfattas i följande punkter:

- Det saknas en klar och logisk koppling mellan de detaljerade konstruktionskraven för kapseln och kraven på långsiktig säkerhet i förvaret.
- Ett preliminärt formulerat acceptanskriterium om att minsta tillåtna koppartäckning är 1,5 centimeter vid 5 centimeters koppartjocklek är otydligt formulerat.
- En mer detaljerad redovisning för skälen till SKB:s val av friktionssvetsning som metod att försluta kapseln behövs.
- SKB behöver ta fram en strategi för hur sammansättningen av bränsleelementen till kapslarna ska utföras.

Kärnkraftinspektionen kommenterade även vad SKB hade anfört i Fud-program 2004 rörande forskningsfrågor kring kapseln som barriär. Den sammanfattande bedömningen av dessa frågor var att SKB:s program var ändamålsenligt, men att det behövde klargöras vilka arbeten och projekt som måste klaras av för att användas redan som underlag till ansökan om tillstånd för inkapslingsanläggningen (granskningspromemorian s 88).

Statens råd för kärnavfallsfrågor /9-4/ formulerade i punktform ett antal slutsatser av sin granskning av hur SKB hade behandlat frågor kring tillverkning av kapslar. Här kan nämnas (s 47):

- SKB bör fokusera sin tillverkning av kopparrör till ytterligare en metod, utöver extrusion.
- Fortsatta korrosionsstudier behövs inom två områden: i) accelererande långtidsförsök för spänningskorrosion och ii) korrosion som styrs av växelverkan med bentonit.
- En fortsatt kartläggning av sambandet mellan mikrostruktur och mekaniska egenskaper hos gjutjärmsinsatsen är central.
- Arbetet med att utveckla metoder för oförstörande provning (OFP) måste fortsättas med full intensitet.

I fråga om vad SKB hade anfört beträffande förslutning av kapseln sammanfattade Kärnavfallsrådet sin syn enligt i huvudsak följande (s 54):

- SKB bör visa att elektronstrålesvetsning fungerar på en bredare uppsättning av prover än som hittills studerats liksom att metoden kan användas i produktionstekniska sammanhang.
- SKB:s val av friktionssvetsning som referensmetod är rimligt, men det återstår för SKB att visa att svetsförfarandena rutinmässigt kan ge resultat som uppfyller uppställda krav.
- SKB bör fortsätta utvecklingen av oförstörande provningsmetoder för svetsar så att förekommande defekttyper säkert kan detekteras.

### 9.2.3 Buffert

Vad SKB redovisat rörande frågor kring bufferten ledde Statens kärnkraftinspektion /9-3/ till bedömningen att ”SKB har ett bra program för buffertfrågorna samt att redovisningen av dessa i Fud-program 2004 är föredömligt tydlig” (granskningspromemorian s 6). Inspektionen menade dock att SKB behövde:

- utvärdera behovet av kompletterande långtidsförsök,
- ta ställning till om särskilda långtidsförsök behövs kring buffertfrågorna för det fall att horisontell deponering blir aktuellt,
- fortsätta arbetet med att förtydliga och konkretisera kravspecifikationen för buffertmaterialet,
- fullfölja sina planer på att tillgodogöra sig forsknings- och utvecklingsarbete från andra länder rörande buffertfrågorna.

Granskningen från Kärnavfallsrådets sida /9-4/ resulterade i följande viktigare slutsatser (s 85):

- SKB bör föreslå gränsvärden för föroreningshalter i bentonitbufferten och utreda buffertens funktion som en följd av kombinationer av föroreningar.
- Konsekvenserna av en trolig omvandling från Na-bentonit till Ca-bentonit respektive en begränsad illitisering bör undersökas.
- SKB:s egen och andras forskning med avseende på strålningens inverkan på bufferten bör redovisas.
- SKB bör redovisa hur man kan säkerställa att buffertens densitet kan upprätthållas på en tillräckligt hög nivå i förvaret.
- SKB:s forskning med avseende på gastransport i stor skala genom bentonit är angelägen.

#### 9.2.4 Återfyllning

SKB:s ambition att under de närmaste åren utvärdera alternativa utformningar av återfyllningen fick stöd av Statens kärnkraftinspektion /9-3/, Inspektionen framhöll i det sammanhanget (granskningspromemorian s 7) bland annat att det mest väsentliga var att SKB kan presentera ett koncept för återfyllning av tunnlar som kan visas ha goda förutsättningar att uppfylla ställda krav, att SKB på samma sätt som för bufferten systematiskt behöver analysera de egenskaper, händelser och processer som på sikt kan leda till en försämrad funktion samt att SKB behöver visa hur resultat från försök med återfyllning Äspölaboratoriet utnyttjas inför ansökan om uppförande av slutförvaret.

Kärnavfallsrådets granskning /9-4/ utmynnade i fem slutsatser enligt i huvudsak följande (s 91):

- Återfyllningens uppgift att upprätthålla bentonitbuffertens densitet bör prioriteras.
- Kärnavfallsrådet stöder SKB:s avsikter att undersöka återfyllning med enbart svällande leror (koncept B) för att åstadkomma maximal tätning mot väggar och tak.
- SKB bör undersöka hur mikrobiell aktivitet påverkar mineralers löslighet och lakning i återfyllningen både i koncept A och B.
- Det återstår att förklara hur den lägre densiteten i återfyllningen jämfört med bentonitbufferten kommer att påverka transporten av radionuklider.
- SKB bör utreda och beskriva föroreningarnas betydelse för återfyllningens långsiktiga funktion.

#### 9.2.5 Berget på förvarsdjup

I sin kommentar till vad SKB hade anfört om berget på förvarsdjup framhöll Statens kärnkraftinspektion /9-3/ bland annat att den saknade en tydlig koppling till de pågående platsundersökningarna och de problem som finns eller kan finnas vid dessa, som exempelvis höga bergsspänningar och salt grundvatten (granskningspromemorian s 8). Vidare menade inspektionen att avsnittet var helt inriktat på att beskriva störningarna av den geohydrologiska och den geokemiska situationen vid platsen för ett kommande slutförvar, medan det var ”minst lika viktigt” att uppmärksamma de störningar i berget som kommer att ske genom utsprängningen av förvaret.

Av Kärnavfallsrådets yttrande /9-4/ framgick bland annat (s 106–107) att rådet såg det som mycket angeläget att det planerade programmet för grundvattenströmning genomfördes, liksom föreslagna grundvattenkemiska och geokemiska undersökningar. Den naturliga grundvattenbildningen på förvarsdjup borde inte bara beräknas genom modellering, utan också bestämmas med olika – av varandra oberoende – metoder. Därefter borde den genom bergrums- och tunnelbyggnad störda grundvattenbildningen beräknas.

#### 9.2.6 Deponeringsteknik

Vad SKB hade redovisat ifråga om deponeringsteknik kommenterades kortfattat i Kärnkraftinspektionens granskningspromemoria /9-3/, medan Kärnavfallsrådet inte berörde dessa frågor. Kärnkraftinspektionen såg (granskningspromemorian s 60) ”vissa fördelar med hjulburen

deponeringsutrustning för kapslar eftersom eventuell betongplatta/syllar i deponeringstunneln då inte förefaller behövas”. Däremot kan, skrev Kärnkraftinspektionen, positioneringsproblem uppstå. Inspektionen konstaterade vidare att ”utformningen av den slutliga versionen av deponeringsmaskin för kapslar blir styrande för layouten av tunnlar oberoende av deponeringsmetod” och stödde ”SKB:s uppfattning om att en demonstration för att verifiera vald metod och utrustning av deponering kommer att behövas”.

### 9.2.7 Varianter av KBS-3

SKB bör, menade Statens kärnkraftinspektion /9-3/, förtydliga hur arbetet med horisontell placering av kapslarna (KBS-3H) ska drivas vidare (s 2 och 8). Det behövs en uppskattning av hur mycket tid och hur stora resurser som kan komma att krävas för att få fram ett underlag som motsvarar det för KBS-3V. SKB bör, framhöll inspektionen i detta sammanhang (s 8), ”uppmärksamma att finska Posivas kommande säkerhetsanalys inte kan förvänta ge alla svar på vad KBS-3H-konceptet innebär för svenska förhållanden. En relevant fråga för Forsmark är t ex att genomförandet kan försvåras av ogynnsamt höga bergspänningar.”

Statens råd för kärnavfallsfrågor nämnde i sitt yttrande /9-4/ i förbigående den säkerhetsanalys för KBS-3H som Posiva arbetade med (s 71), men kommenterade i övrigt inte konceptet KBS-3H.

### 9.2.8 Säkerhetsanalys

Redan vid den tidpunkt när Fud-program 2004 förelåg, alltså i september 2004, pågick samråd mellan SKB och bland andra Statens kärnkraftinspektion och Statens strålskyddsinstitut om arbetet på det säkerhetsanalytiska området. Dessa samråd gällde bland annat den så kallade interimrapporten för SR-Can (se avsnitt 9.1.9). Kärnkraftinspektionens yttrande i juni 2005 över Fud-program 2004 ska ses mot bakgrund av de löpande samråd kring de säkerhetsanalytiska frågeställningarna som fortfarande pågick vid denna tid.

Kärnkraftinspektionens sammanfattande omdöme var /9-3/ att området säkerhetsanalys ”för närvarande är väl omhändertaget” (s 2) och fortsatte (s 9):

”De granskningar som nyligen genomförts har visat vilka svagheter som är mest angelägna för SKB att åtgärda, t ex kvalitetssäkring samt metod för val av scenarier. Med den modifierade handlingsplanen kan SKB utveckla och pröva sin metod ytterligare innan den används vid en tillståndsprövning.

Nästa säkerhetsanalys (SR-Can) kommer inte att vara ett direkt underlag för en tillståndsansökan men myndigheterna kommer ändå att lämna synpunkter på SR-Can. SKB bör beakta synpunkterna, innan säkerhetsanalysen SR-Site färdigställs, som kommer att utgöra underlag för tillståndsansökan om slutförvaret. Vissa återstående frågor kring SKB:s metod för säkerhetsanalys respektive tolkningen av föreskrifter och allmänna råd bör kunna åtgärdas inom ramen för SKB:s samråd med SKI och SSI om system- och säkerhetsanalys. SKI vill påminna om betydelsen av att SKB tar fram lättillgängliga versioner av SR-Can och SR-Site som håller hög kvalitet.”

Statens råd för kärnavfallsfrågor /9-4/ karakteriserade SKB:s arbete med långtidssäkerhet för KBS-3-konceptet som ”imponerande” och menade att det var ”väl strukturerat och logiskt uppbyggt och har förutsättningar att efter fortsatt utveckling ge en bra utgångspunkt för framtida säkerhetsanalyser” (s 71–72). De kritiska synpunkter som rådet framförde gick i huvudsak ut på att SKB borde vara tydligare vid redovisningen av osäkerheterna i säkerhetsanalysens olika delar samt att säkerhetsanalyserna måste utformas på ett sätt som gör dem begripliga för en större krets än experterna inom kärnavfallsområdet.(s 24–25).

### 9.2.9 Regeringens ställningstagande

Regeringen fattade i december 2005 beslut med anledning av granskningen av Fud-program 2004 /9-5/. Det formella beslutet var att programmet uppfyllde de krav som ställs i 12 § kärntekniklagen.

I det avsnitt av regeringsbeslutet som innehöll en redovisning av skälen för regeringens ställningstagande nämnde regeringen SKB:s handlingsplan och förutsatte ”att SKB i dialog med berörda myn-

digheter och kommuner fortsätter att utveckla och förbättra handlingsplanen”. Liksom i motsvarande beslut med anledning av Fud-program 2001 (se avsnitt 8.8.10) förklarade regeringen också att den utgick ”från att SKB nogga överväger de ... påpekanden som såväl SKI, SSI och KASAM som andra instanser gjort vid granskningen ...”

## 9.3 SR-Can 2006

### 9.3.1 Syfte

När SKB startade arbetet med SR-Can var avsikten att åstadkomma en säkerhetsanalys som skulle vara underlag för SKB:s ansökningar om att få uppföra en inkapslingsanläggning. En interimsversion av rapporten (se avsnitt 9.1.9), fokuserad på metodik, publicerades i september 2004 och granskades senare av Statens kärnkraftinspektion och Statens strålskyddsinstitut, stödda av en utvärdering av en internationell granskningsgrupp.

I och med SKB:s modifierade handlingsplan våren 2005 gavs SR-Can en förändrad funktion. Den skulle inte utgöra något formellt underlag för tillståndsansökningar. I stället skulle den fylla funktionen att utgöra ett förberedande steg inför säkerhetsanalysen SR-Site, vilken kommer att ingå i SKB:s ansökningar om att få bygga och driva ett slutförvar för använt kärnbränsle.

SKB publicerade i oktober 2006 huvudrapporten från SR-Can /9-6/. Rapporten var på engelska med en kortare sammanfattning på svenska. I april 2007 förelåg en förenklad svensk sammanfattning /9-7/. Den rapporten var avsedd för läsare som utan specialkunskaper ville få en djupare inblick i vad en säkerhetsanalys är och vilka resultaten blev av säkerhetsanalysen SR-Can.

Enligt den svenskspråkiga sammanfattningen i huvudrapporten /9-6/ hade SR-Can tre syften (s 27), nämligen att:

- preliminärt bedöma säkerheten för KBS-3-förvar vid Forsmark och Laxemar med kapslar enligt inlämnad ansökan för inkapslingsanläggningen (härmed avsågs den ansökan om tillstånd enligt kärntekniklagen avseende ”Inkapslingsanläggning och centralt mellanlager för använt kärnbränsle vid Simpevarp, Oskarshamns kommun” som SKB i oktober 2006 inlämnade till Statens kärnkraftinspektion),
- ge återkoppling till kapselutveckling, till anläggningsutformning för slutförvaret, till fortsatta platsundersökningar, till SKB:s program för forskning kring frågor av betydelse för långsiktig säkerhet samt till kommande säkerhetsanalyser, samt
- bereda Statens kärnkraftinspektion och Statens strålskyddsinstitut tillfälle att granska SKB:s preliminära säkerhetsredovisning inför tillämpningen i ansökningarna om ett slutförvar för använt kärnbränsle.

Härutöver angavs i detta sammanhang följande:

”Analysen gäller slutförvarsmetoden KBS-3, där kopparkapslar med en gjutjärnsinsats innehållande använt kärnbränsle deponeras på cirka 500 m djup i granitiskt berg och omges av bentonitlera ... I analysen används preliminära data från platserna Forsmark och Laxemar, som SKB för närvarande undersöker som kandidatplatser för ett KBS-3-förvar.

Ett viktigt syfte med denna rapport är att visa hur kraven på säkerhetsanalys i gällande föreskrifter hanteras ... Det huvudsakliga acceptanskriteriet kräver att ”den årliga risken för skadeverkningar efter förslutning blir högst  $10^{-6}$  för en representativ individ i den grupp som utsätts för den största risken”. Med ”skadeverkningar” avses cancer och ärftliga skador. Riskgränsen motsvarar en effektiv dosgräns på cirka  $1,4 \cdot 10^{-5}$  Sv/år, dvs cirka en procent av den naturliga bakgrundsstrålningen i Sverige.

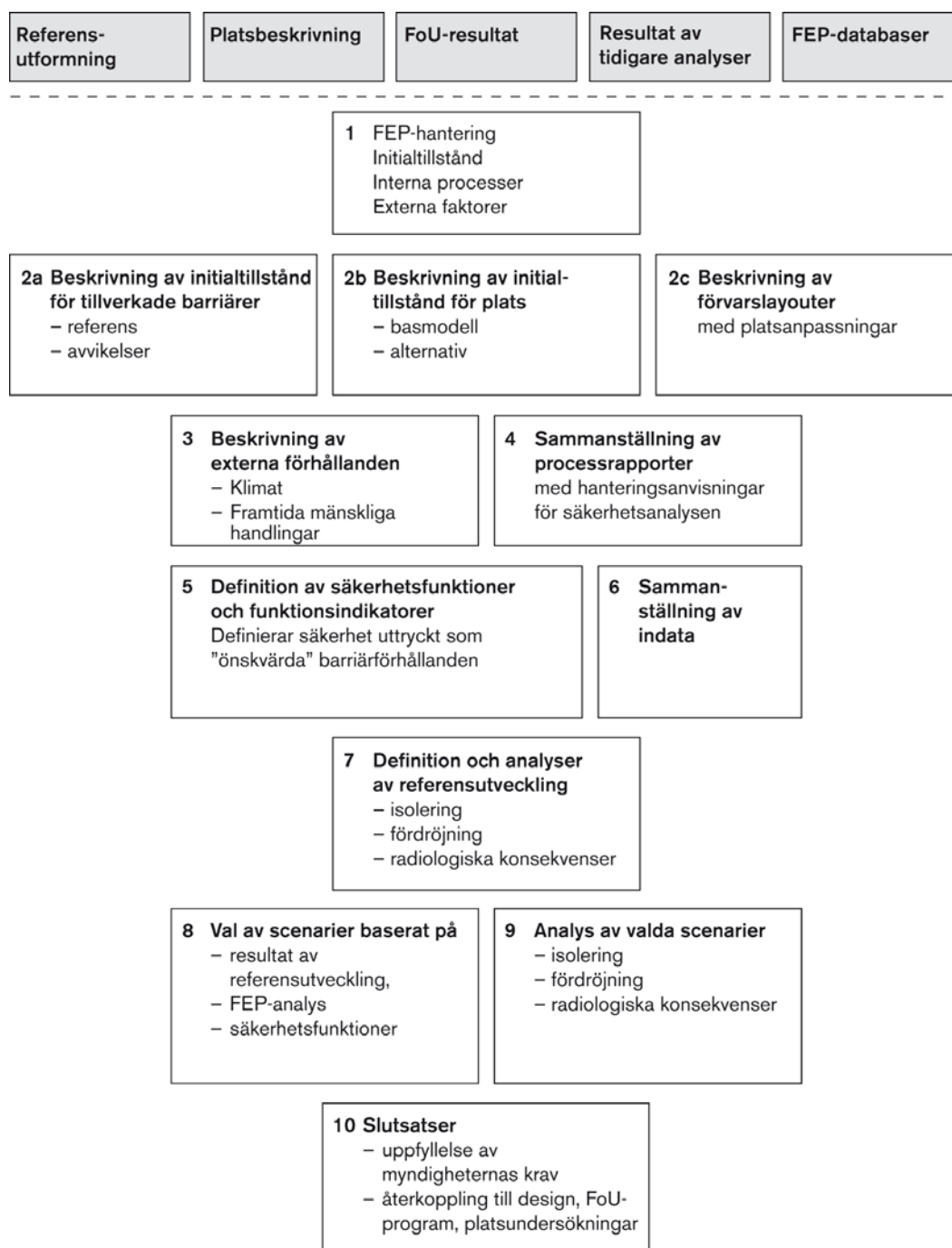
Tidsperspektivet för analysen är en miljon år efter förslutning av förvaret, i enlighet med myndighetskrav. Ovan nämnda riskgräns gäller enligt SSI som en kvantitativ gräns under de första cirka etthundratusen åren, och därefter som ett underlag för diskussion om slutförvarets skyddsförmåga.”



I den förenklade svenska sammanfattningen /9-7/ angavs också att syftet var att undersöka om KBS-3-metoden har potential att fylla myndigheternas säkerhetskriterier, givet förhållandena i förvarsberget i den utsträckning dessa kan specificeras efter den inledande fasen av platsundersökningarna (s 11).

### 9.3.2 Metodik

Den metodik som utvecklades för SR-Can var uppbyggd i tio steg, som illustrerades enligt figur 9-10.



**Figur 9-10.** Översikt av de tio huvudstegen i säkerhetsanalysen SR-Can (SR-Can 2006). Rutorna ovanför den streckade linjen visar indata till analysen. Ordförklaring: FEP (eng. Features, Events and Processes) = relevanta egenskaper, händelser och processer som påverkar den långsiktiga säkerheten.

De olika stegen beskrevs enligt i huvudsak följande /9-6 s 29–30, 9-6 s 50–52/:

**1. Identifiering av faktorer att beakta (FEP-hantering)**

Detta steg består av att identifiera alla faktorer som ska ingå i analysen. Erfarenhet från tidigare säkerhetsanalyser används, tillsammans med KBS-3-specifika och internationella databaser över relevanta egenskaper, händelser och processer (eng. features, events and processes, FEP) som påverkar den långsiktiga säkerheten. En FEP-databas har utvecklats för SR-Can. I denna klassificeras de allra flesta FEP som relaterade till initialtillståndet, till interna processer eller till externa faktorer. Återstående FEP är antingen relaterade till analysmetodikerna i allmänhet, eller bedömda som irrelevanta för KBS-3-metoden.

**2. Beskrivning av initialtillståndet**

Systemets initialtillstånd beskrivs med utgångspunkt från specifikationerna för KBS-3-förvaret, en beskrivande modell av platsen för slutförvaret och en platsspecifik layout av förvaret. Med initialtillståndet för bränslet och de tillverkade komponenterna avses förhållandena omedelbart efter deponering. Initialtillståndet för geosfären och biosfären avser de naturliga förhållandena innan brytningsarbetet inleds, enligt de platsbeskrivande modellerna för platserna Forsmark och Laxemar...

**3. Beskrivning av externa förhållanden**

Faktorer som är relaterade till externa förhållanden delas in i de tre kategorierna ”klimatrelaterade frågor”, ”storskaliga geologiska processer och effekter” samt ”framtida mänskliga handlingar”.

**4. Beskrivning av processer**

Identifieringen av relevanta processer bygger på tidigare analyser och FEP-hantering. Alla identifierade processer som är relevanta för den långsiktiga utvecklingen av systemet beaktas i analysen. För varje process dokumenteras dess generella egenskaper, under vilken tidsperiod den har betydelse, vilka andra processer den är kopplad till och hur processen ska hanteras i säkerhetsanalysen.

**5. Definition av säkerhetsfunktioner, säkerhetsfunktionsindikatorer och kriterier för säkerhetsfunktionsindikatorer**

Detta steg består av en redogörelse för systemets säkerhetsfunktioner och för hur dessa kan utvärderas. Säkerhetsfunktionsindikatorerna utgörs i princip av mätbara eller beräkningsbara egenskaper hos systemet. Kriterier ges för säkerhetsfunktionsindikatorerna.

**6. Sammanställning av indata**

En strukturerad procedur används för att välja data till kvantifieringen av slutförvarets utveckling och i dosberäkningar. En flexibel mall för diskussion av osäkerheter i indata har utvecklats och tillämpats.

**7. Definition och analys av referensutveckling**

En referensutveckling, som beskriver en tänkbar utveckling av förvarssystemet, definieras och analyseras. I ett första steg analyseras systemets isoleringsförmåga framåt i tid. Denna analys beskriver den allmänna utvecklingen av systemet, samtidigt som en utvärdering görs av säkerhetsfunktionsindikatorerna. Om utvecklingen bedöms leda till att isoleringen bryts, analyseras även slutförvarets förutsättningar för att fördröja transporten av frigjorda radioaktiva ämnen. Vidare beräknas då möjliga konsekvenser, i form av stråldoser, för de långsiktiga förhållandena som identifieras i det första steget. Vissa typer av kapselbrott som inte inträffar i referensutvecklingen analyseras för att ytterligare klargöra systemets fördröjningsegenskaper.

## 8. Val av scenarier

En uppsättning scenarier väljs för analys. Ett omfattande huvudscenari definieras i enlighet med SKI:s föreskrifter SKIFS 2002:1. Huvudscenariot liknar referensutvecklingen som analyserades i steg 7. Valet av ytterligare scenarier bygger på förvarets säkerhetsfunktioner som definierades i steg 5. Säkerhetsfunktionsindikatorerna är en viktig utgångspunkt för valet. I uppsättningen valda scenarier ingår även till exempel scenarier som nämns explicit i tillämpliga föreskrifter, som mänskligt intrång, liksom scenarier och varianter som har till syfte att undersöka konstruktionsmässiga frågor och olika komponenters roller i förvaret.

## 9. Analys av valda scenarier

Huvudscenariot analyseras i första hand genom hänvisning till referensutvecklingen i steg 7. Ytterligare scenarier analyseras genom att man fokuserar på faktorer som potentiellt kan leda till situationer där säkerhetsfunktionen i fråga inte upprätthålls. I de flesta fall utförs dessa analyser genom jämförelse med utvecklingen för huvudscenariot. För alla scenarier uppskattas ett riskbidrag. Målet är att täcka in alla osäkerheter som inte togs upp i huvudscenariet.

## 10. Slutsatser

Detta steg innefattar sammanställning av resultat från de olika scenarieanalyserna, slutsatser med avseende på säkerhet i relation till myndighetskriterier och återkoppling med avseende på förvarsutformning, fortsatta platsundersökningar och SKB:s Fud-program.

### 9.3.3 Huvudslutsatser

De huvudsakliga resultat och slutsatser som SKB ansåg kunna dras av SR-Can sammanfattades på fem sidor i huvudrapporten /9-6 s 38–42/ och återgavs även, jämte ytterligare kommentarer, på tio sidor i den förenklade svenska sammanfattningen (9-7 s 87–96). Följande punktvisa redovisning av de rubriker som användes i slutrapporten ger samtidigt information om innebörden av resultaten och slutsatserna:

#### *Uppfyllelse av riskkriteriet*

- Inga kapselbrott bedöms inträffa under den första perioden av tempererat klimat, som förväntas sträcka sig flera tusen år framåt.
- Ett förvar vid Forsmark bedöms uppfylla riskkriteriet.
- Ett förvar vid Laxemar bedöms preliminärt uppfylla riskkriteriet – men mer representativa data krävs.

#### *Frågor relaterade till framtida istider*

- Frysning av intakt buffert bedöms uteslutet – också för mycket pessimistiskt valda klimatförhållanden.
- Kapselbrott på grund av isostatisk last bedöms uteslutet – också för mycket pessimistiskt valda klimatförhållanden.
- Syrenedträngning bedöms preliminärt som uteslutet – också för mycket pessimistiskt valda förhållanden.
- Riskbidraget från jordskalv bedöms som litet.
- Omfattande förlust av buffert kan leda till kapselbrott på mycket lång sikt.
- En förlängd period av varmt klimat (ökad växthuseffekt) innan nästa istid bedöms i huvudsak som positivt för förvarets säkerhet.

### Andra frågor relaterade till barriärkonstruktion och -funktion

- Viktigt att undvika deponeringshål som skärs av stora eller starkt vattenförande sprickor – ytterligare studier krävs.
- Värmen från kapseln kan orsaka sprickor i deponeringshålets vägg, vilket kan ge ökad in- och uttransport av lösta ämnen – ytterligare studier krävs.
- Återfyllda deponeringstunnlar har begränsad betydelse som transportväg för radionuklider.
- Sprängskador i berget kring deponeringstunneln har begränsad betydelse som transportväg för radionuklider.

### Beräknade individrisker

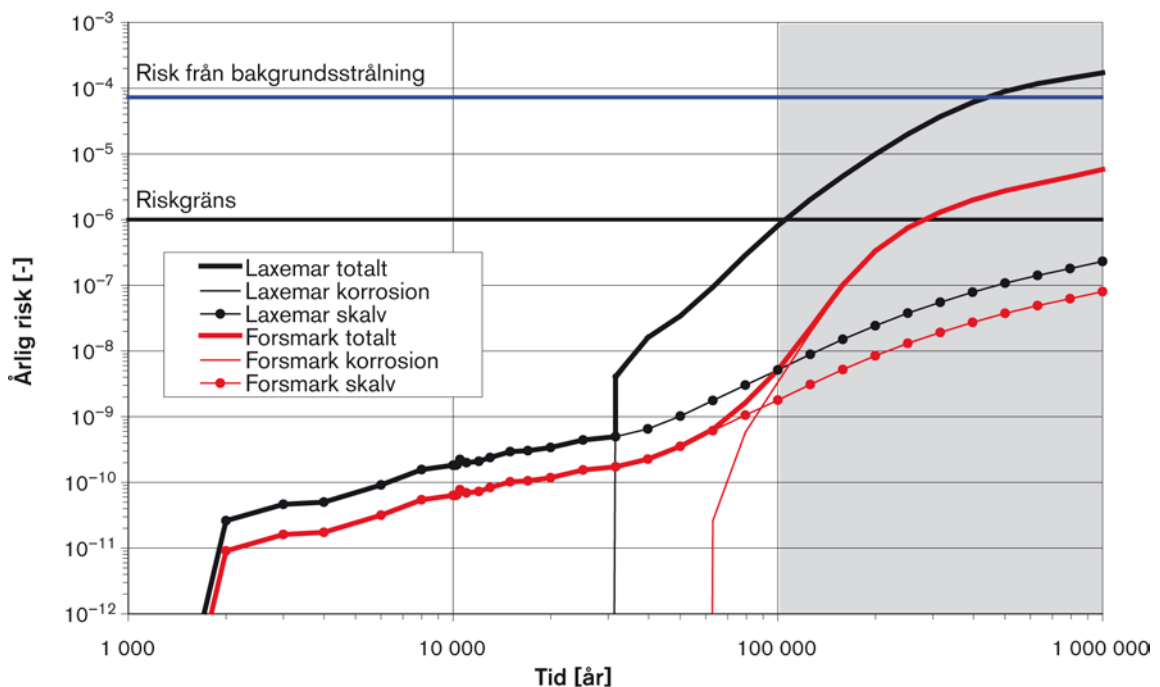
Beräknade individrisker för förvar vid Forsmark och Laxemar visades enligt figur 9-11.

I en kommentar till figuren underströks ”att tempererade förhållanden postuleras för biosfären, medan det är sannolikt att platserna kommer att ligga under vatten eller vara täckta med is under en stor del av analysperioden på en miljon år. Därmed blir riskerna försumbara för dessa perioder. Dessutom görs flera pessimistiska antaganden, för att risken inte ska underskattas” /9-5 s 40/.

Individriskerna analyserades i två tidsperspektiv /9-6 s 41/.

För den första glaciationscykeln identifierades två riskbidrag, det ena från jordskalv och det andra från kapselbrott på grund av korrosion om bufferten har eroderats av glaciala smältvatten. För båda fallen var slutsatsen för båda platserna att de beräknade riskerna under den första glaciationscykeln uppfyller myndigheternas krav.

Samma två riskbidrag identifierades för tiden efter den första glaciationscykeln. Även i detta tidsperspektiv var slutsatsen att myndigheternas krav var uppfyllda.



Figur 9-11. Risksummering för de två platserna (SR-Can 2006).

### Ytterligare resultat och slutsatser

Många ytterligare resultat har framkommit som gör det möjligt att dra slutsatser från SR-Can-analysen:

- En första utvärdering har gjorts av inverkan på miljön från utsläpp av radionuklider. De flesta radionuklider ligger under en sovringsgräns, vilket betyder att inga ytterligare analyser behövs. I de mest pessimistiska beräkningsfallen kan ett fåtal nuklider komma att överstiga gränsen vid analysperiodens slut. Detta kräver mer detaljerade analyser.
- Två alternativa säkerhetsindikatorer har använts som komplement till riskindikatorn: Utsläppsbegränsningar från den finska tillsynsmyndigheten STUK och sammansättningen av naturligt förekommande radionuklider i miljön kring förvaret.
- En första diskussion ges kring de aspekter av begreppet Bästa Tillgängliga Teknik (BAT – Best Available Technique) som kan beläggas med hjälp av resultaten från säkerhetsanalysen.
- Många gränssättande fall har analyserats, där total förlust av en eller flera barriärfunktioner förutsätts. Resultaten visar att beräknade doser understiger den naturliga bakgrundsstrålningen, även vid mycket omfattande förluster av säkerhetsfunktioner. Till exempel ger en tidig, total förlust av kapsel och buffert i samtliga deponeringshål vid Forsmark doser som är jämförbara med dem för den naturliga bakgrundsstrålningen. De gränssättande analyserna visar tydligt multibarriäregenskaperna hos KBS-3-systemet.
- En uppsättning konstruktionsstyrande fall har sammanställts. Dessa ska användas som ett av flera underlag till konstruktionsförutsättningar för förvaret, såsom fastställande av krav på barriäregenskaper.
- Detaljerad återkoppling ges till fortsatt arbete med kapselkonstruktion och -tillverkning, till fortsatt arbete med förvarsutformning, till ytterligare platsundersökningar och platsmodellering, till SKB:s Fud-program och till nästa säkerhetsanalys, SR-Site.

I den förenklade svenska sammanfattningen av SR-Can identifierade SKB även ett antal andra frågor som återstod att behandla samt redovisade även ett resonemang kring temat *Tilltro till säkerhetsargumentationen* /9-7 s 92–96/.

### 9.3.4 Granskningen av SR-Can

De båda tillsynsmyndigheterna Kärnkraftinspektionen och Strålskyddsinstitutet genomförde åren 2006–2008 en granskning av SR-Can. Resultatet presenterades i en gemensam rapport i mars 2008 /9-8/.

Myndigheterna sammanfattande bedömning var (s 109):

”SKB har med SR-Can en i huvudsak bra utgångspunkt för det fortsatta arbetet med att ta fram SR-Site och underlag för ansökan om att bygga ett slutförvar för använt kärnbränsle i Sverige. I jämförelse med tidigare säkerhetsanalyser har SR-Can baserats på en bättre och mer fullständig metodik. Det framgår också tydligt att SKB:s omfattande och konkreta forsknings- och utvecklingsarbete under senare år har skapat en mera realistisk och välgrundad bas för säkerhetsanalysen. Här ingår bl a platsundersökningarna i Forsmark och Laxemar, utveckling och tillverkning av kopparkapslar samt försök och demonstrationer vid Äspölaboratoriet. SKB har också jämfört med tidigare säkerhetsanalyser genomfört en fullständigare och mera integrerad modellering av hur slutförvaret påverkas av stora klimatförändringar som kan förväntas på mycket lång sikt t ex kommande istider och perioder med permafrost. SR-Can har dock i vissa avseenden luckor och avsnitt av mycket preliminär karaktär. Myndigheternas granskning har fokuserat på att identifiera brister som behöver åtgärdas inför SR-Site, men utan att föregå den granskning som då kommer att göras.

Huvudslutsatserna från granskningen är:

- SKB:s metodik för säkerhetsanalys är i huvudsak i överensstämmelse med myndigheternas föreskriftskrav, men delar av metodiken behöver vidareutvecklas inför en tillståndsansökan.
- SKB:s kvalitetssäkring av säkerhetsanalysen är otillräcklig i SR-Can.

- Inför tillståndsansökan behövs ett bättre kunskapsunderlag kring vissa kritiska processer med potentiellt stor påverkan på risken från slutförvaret, bl a erosion av buffert i deponeringshål.
- SKB behöver styrka att det antagna initialtillståndet hos slutförvaret är realistiskt och uppnåeligt.
- Redovisningen av risken för tidiga utsläpp bör förstärkas.”

Innebörden av de nämnda fem punktsatserna utvecklades därefter närmare (s 109–112).

## 9.4 KBS-3 i Fud-program 2007

### 9.4.1 Övergripande frågor

Hösten 2006 hade SKB, som aviserats i den reviderade handlingsplanen från mars 2005, lämnat in en ansökan om tillstånd enligt kärntekniklagen avseende Clab och inkapslingsanläggningen. I *Fud-program 2007 Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall /9-9/* angavs att nästa stora mål för SKB var att i slutet av år 2009 lämna in en ansökan enligt kärntekniklagen för slutförvaret för använt kärnbränsle och en ansökan enligt miljöbalken för slutförvarssystemet. Fokus i Fud-program 2007 låg på insatser med syfte att få fram tekniskt underlag för dessa ansökningar (s 3).

Liksom i Fud-programmen 2001 och 2004 utgick tidsplaneringen för kärnbränsleprogrammet från en slutförvaring enligt KBS-3V-alternativet. Pågående studier av alternativet horisontell deponering, KBS-3H, förutsattes emellertid fortsätta (se vidare avsnitt 9.4.9). SKB pekade särskilt på följande tre förutsättningar som måste uppfyllas för att tidsplanen skulle kunna förverkligas (s 41):

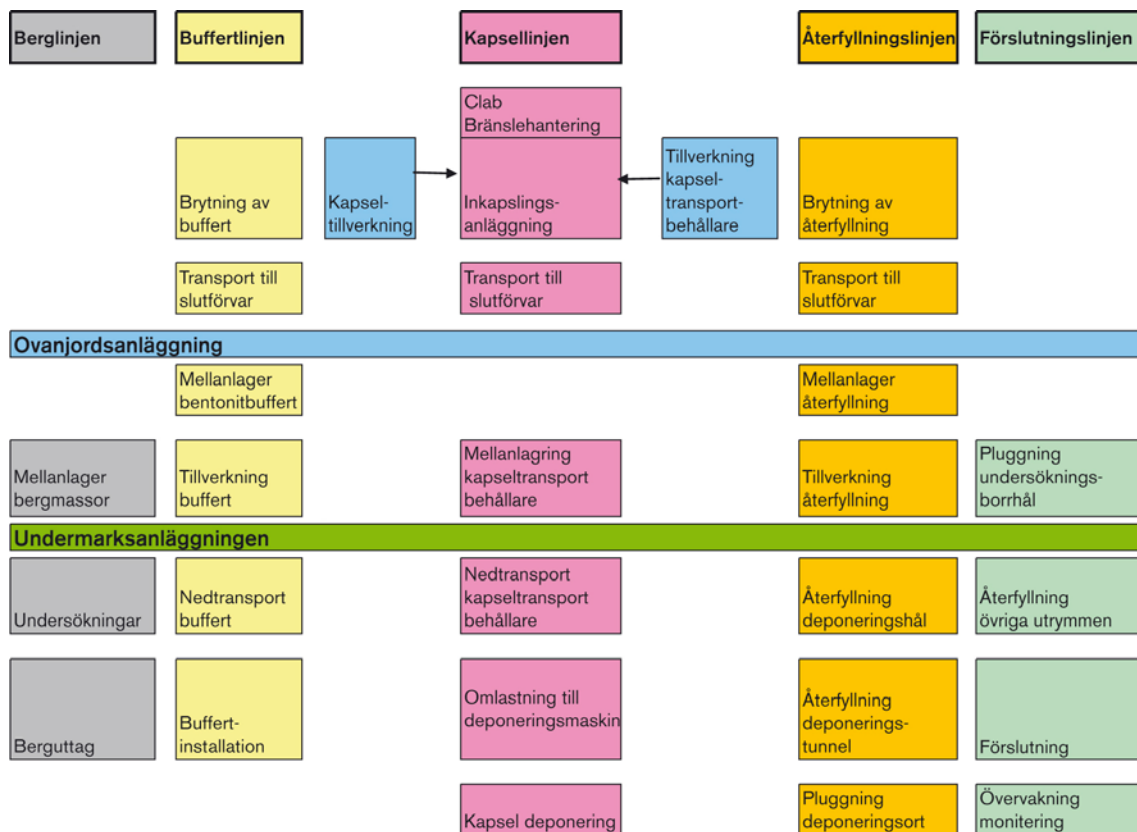
- Att inkapslingsanläggningen byggs samman med Clab till en integrerad anläggning. Om lokaliseringen vid Clab faller bort som huvudalternativ måste tidsplanen revideras.
- Att utvecklingen av tekniken för inkapsling och slutförvaring drivs vidare i den takt som planeras och med de framsteg som förväntas. Övuntade svårigheter på någon kritisk punkt kan medföra förseningar och revideringar.
- Att SKB får tillåtighets- och tillståndsbeslut från regeringen inom två år från det att ansökan enligt kärntekniklagen för slutförvaret och ansökan enligt miljöbalken för slutförvarssystemet lämnas in. Dessutom krävs att dessa beslut inte överklagas.

För den fortsatta teknikutvecklingen inom kärnbränsleprogrammet definierade SKB sex olika så kallade produktionslinjer. Dessa var följande:

- Berglinjen.
- Buffertlinjen.
- Bränslelinjen (inkluderades i Kapsellinjen i Fud-program 2007).
- Kapsellinjen.
- Återfyllningslinjen.
- Förslutningslinjen.

Den följande redovisningen utgår från dessa ”produktionslinjer” som alltså behandlas i separata avsnitt. Inom ramen för dessa avsnitt redovisas också långsiktig forskning med anknytning till respektive linje. Det innebär att dispositionen av föreliggande avsnitt 9.4 inte är helt kongruent med de avsnitt där tidigare Fud-program har redovisats. I särskilda avsnitt redovisas frågor om varianter av KBS-3, deponeringsteknik och säkerhetsanalys.

En översiktlig beskrivning av de aktiviteter som ingår i utvecklingsarbetet kring de fem produktionslinjerna i Fud-program 2007 ges i figur 9-12.



Figur 9-12. Produktionslinjerna (Fud-program 2007).

### 9.4.2 Berglinjen

Berglinjen definierades som att omfatta tillredning och bygge av alla utrymmen i undermarksanläggningen. Detta innebär, skrev SKB (s 129), ”berguttag för deponeringstunnlar, stamtunnlar, transporttunnlar, centralområde, schakt och ramp. I bergarbeten ingår att injektera berget runt utrymmena för att minska inflödet av vatten samt att förstärka berget med bergbultar, sprutbetong och nät. Berglinjen omfattar också de undersökningar och den geologiska kartering som sker i samband med bygget.”

Två frågor framstod som särskilt utmanande i utvecklingsarbetet inom berglinjen: injektering på stora djup och bestämning av den störda zons hydrauliska egenskaper (s 130).

Kraven på de metoder och den utrustning som ska användas under bygget av slutförvaret sammanfattades i Fud-program 2007 i följande fem punkter (s 131):

- Inför undersökningarna av berget ska karakteriseringsmetoder och instrument vara utvecklade.
- Vatteninflödet till olika delar av förvaret ska understiga specificerade värden. Detta ska vid behov åstadkommas med injektering.
- De material och metoder som används för att förstärka berget ska inte äventyra säkerheten på lång sikt.
- Utbyggnaden av förvaret ska påverka berget i begränsad omfattning. Berguttag av deponeringstunnlar ska ske på ett sådant sätt att den störda zonen i deponeringsområdet uppfyller specificerade krav.
- Deponeringshålen ska kunna borras enligt specificerade krav på geometri.

Teknikutveckling för berglinjen skulle (s 131) i dagsläget inriktas ”på ett initialtillstånd med en störd zon runt tunnlar, ramp, schakt, bergtrum och deponeringshål som uppfyller preciserade hydrauliska egenskaper. Nyckeltalen är zons utbredning och dess hydrauliska konduktivitet. Indikatorer är

zonens djup och porositet samt ytkonturens jämnhet. Andra indikatorer är bormaskinernas prestanda och sprängteknikens precision. En komplikation är att tätning med injekteringsmedel kommer att göras. Observationer av vatteninflöde kan därför bara delvis ske i berg med uteslutande naturliga egenskaper. Initialtillståndet i deponeringsorten avser också sulans släthet, vilken i sin tur har betydelse för kvaliteten i återfyllningslinjen.”

Utifrån den inriktningen redovisades i huvudsak följande arbetsområden (s 131–148):

- Undersökning och karakterisering.  
Avsnittet behandlade den teknikutveckling av metoder och instrument som SKB bedömde var nödvändig för att kunna genomföra geovetenskapliga undersökningar av berget under bygge och drift av slutförvarsanläggningen.
- Tätning med injektering.  
Vid granskningen av Fud-program 2004 hade Statens kärnkraftinspektion framfört att SKB borde ha en alternativ plan för hur injekteringen bör göras om pågående utvecklingsinsatser inte ledde till avsett resultat. I Fud-program 2007 redovisades pågående arbete med att utveckla metoder, injekteringsmedel och utrustning för att kunna hantera de situationer med inflöde av vatten som kan förekomma i slutförvarsanläggningen.
- Borrning och sprängning av bergutrymmen.  
SKB hade i Fud-program 2004 dragit slutsatsen från tillredningen av den så kallade Apse-tunneln i Äspölaboratoriet att metoden med borrning och sprängning kan på ett bra sätt bemästra svårigheterna med spänningsomlagringar och deformationer när stora volymer berg ska tas ut. SKB hade därför förordat den metoden för tillredning av centralområdet, transporttunnlar, stamtunnlar och deponeringstunnlar. Kärnkraftinspektionen hade vid granskningen av Fud-program 2004 framfört att SKB ändå borde välja fullortsborrning för deponeringstunnlar och deponeringshål. I Fud-program 2007 argumenterade SKB ytterligare för att fortsätta att utveckla metoden med borrning och sprängning under nu pågående projekteringskede.
- Bergförstärkning.  
Konventionella metoder för bergförstärkning (bergbultar, sprutbetong och nät) avses komma till användning. SKB föreslog att livslängdskraven för dessa förstärkningsåtgärder skulle vara fem år för en deponeringstunnel, eftersom den ska återfyllas efter deponeringen. Den tiden motsvarar de krav som normalt ställs på temporära förstärkningar i anläggningsprojekt och gruvor. Livslängdskravet för resten av berganläggningen sattes till 100 år, vilket motsvarar kravet på infrastruktur-tunnlar.
- Borrning av deponeringshål.  
SKB redovisade vilka metoder som hade övervägts för borrning av deponeringshål och vilka skäl som hade lett fram till att så kallad omvänd stigortsborrning hade valts.

### **Vissa forskningsfrågor**

I Fud-program 2007 redovisades och diskuterades även de processer som kan påverka berget på lång sikt. Analysen av långsiktig säkerhet måste utgå från det tillstånd som råder då förvaret just har förslutits. Detta kräver i sin tur kännedom om det tillstånd som rådde innan förvaret byggdes. De frågeställningar som togs upp (s 325–360) behandlades under följande två punkter:

- Initialtillstånd för geosfären.
- Processer i geosfären.

### **9.4.3 Buffertlinjen**

Buffertlinjen angavs (s 149) omfatta ”tillverkning, hantering och installation av den buffert, i form av ringar och block av högkompakterad bentonit, som omger kapseln i deponeringshålen. I linjen ingår pressning av bentonitblock och -ringar, mellanlagring, inredning av deponeringshålen och själva installationen. Förutom ringar och block kan bentonit i form av pelletar eller granuler komma att fyllas i de spalter som bildas mot bergväggen i deponeringshålen.”



SKB erinrade om buffertens huvuduppgift, nämligen att skydda kapseln och att hindra vattenflödet, samt fördröja transporten av radionuklider från en otät kapsel till berget. Bufferten får heller inte ha några egenskaper som påverkar de andra barriärerna negativt. Mot den bakgrunden formulerades i Fud-program 2007 följande krav på de metoder och den utrustning som behövs för att den installerade bufferten (enligt KBS-3V) ska kunna uppfylla sin huvuduppgift, alltså den långsiktiga funktionen, samt för att möjliggöra hantering och installation (s 150):

- Buffertblocken ska pressas till specificerad geometri, vatteninnehåll och täthet.
- Buffertblocken får endast innehålla sprickor och andra inre defekter, som kan accepteras med hänsyn till de lyft och annan hantering som buffertblocken utsätts för under drift.
- Installationsmetoden och utrustningen ska resultera i en vertikal stapel av block, med tillräckligt stort utrymme i mitten för att deponera en kapsel.
- Buffertens egenskaper ska hållas inom specificerade gränser, oavsett vatteninflödet i deponeringshålet fram till dess deponeringsorten återfyllts förbi deponeringshålet.
- Spalten mellan buffertblock och berg ska kunna rymma slangar för dränage samt ett eventuellt buffertskydd.
- Buffertskyddet ska kunna förslutas efter deponeringen av kapseln och inplaceringen av bentonitbufferten. En diffusionstät spärr ska då finnas runt det deponerade buffert-kapselpaketet.
- Den relativa luftfuktigheten innanför buffertskyddet ska kunna mätas kontinuerligt i representativa punkter. Acceptabla avbrottstider i mätserierna ska specificeras.
- Buffertskyddet och dränageledningarna ska kunna tas bort på ett säkert sätt.

Om spalten fylls med pelletar eller granuler ska dessa uppfylla följande krav:

- Pelletarna ska uppfylla en i förväg specificerad form och täthet och granulerna en i förväg specificerad storleksfördelning.
- Pelletar och granuler ska fyllas i spalten mellan buffertblock och berg i en sådan mängd att den totala specificerade mängden bentonit i deponeringshålet blir tillräcklig för att klara kraven på densitet och svälltryck.

Teknikutveckling för buffertlinjen skulle (s 151) i dagsläget inriktas ”på ett initialtillstånd med en buffert runt kapseln som består av en specificerad mängd bentonit med en specificerad homogenitet i deponeringshålet. Förutom bentonitens kemiska egenskaper, som är en given förutsättning i teknikutvecklingen, är täthet hos torr substans och vattenkvot viktiga egenskaper. Kvaliteten hos pelletar, granuler och stora block karakteriseras av dessa. Andra indikator är storleken på pelletar och siktcurvan hos granuler.”

Följande arbetsområden för fortsatt teknikutveckling redovisades (s 151–155):

- Tillverkning av buffert.
  - Pressning av ringar och block.
  - Tillverkning av pelletar och granuler.
- Mellanlagring.
- Inredning av deponeringshål.
- Installation av block och ringar.
- Installation av pelletar eller granuler.

### **Vissa forskningsfrågor**

Ett stort antal forskningsområden av intresse för buffertens egenskaper och funktion på lång sikt redovisades (s 269–310).

Inledningsvis återkom samma redogörelse för buffertens huvuduppgifter och dess egenskaper som fanns i Fud-program 2004 och som återgavs i avsnitt 9.1.3. Den därpå följande redogörelsen för olika frågeställningar omfattade dels de frågeställningar som identifierats i Fud-program 2004, dels ytterligare några. De frågeställningar som belystes sammanfördes under följande två punkter:

- Buffertens initialtillstånd.
- Processer i bufferten.

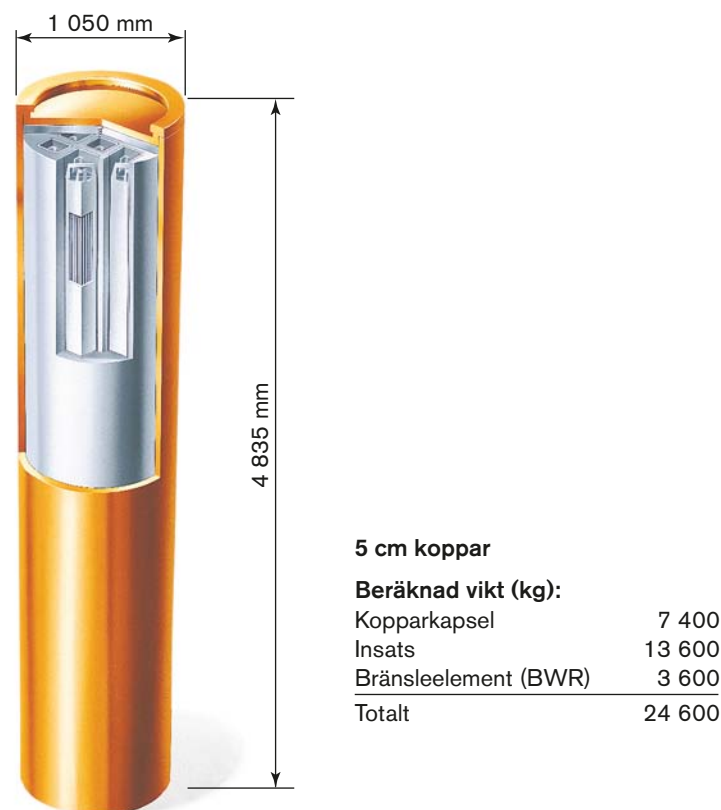
#### 9.4.4 Kapsellinjen

Kapsellinjen angavs (s 157) omfatta sådant som ”hur kapslarna ska tillverkas, förslutas, transporteras och deponeras. Till linjen hör dessutom aktiviteter som transporter av inkapslat bränsle samt hantering och deponering i slutförvaret. Här presenteras även teknikutvecklingsbehoven för två processteg i inkapslingsanläggningen som egentligen ingår i Bränslelinjen, nämligen torkning av bränsle samt mätning av resteffekt”.

SKB:s referensutförning för kapseln var, som i Fud-program 2004, en yttre korrosionsbarriär av koppar och en lastbärande insats av segjärn. Kapselns diameter skulle vara drygt en meter och längden nästan fem meter lång och ha ett kopparhölje på fem centimeter. Den illustrerades med figur 9-13, vilken också hade använts som illustration i Fud-program 2004.

De övergripande krav som skulle ligga till grund för konstruktionen av kapseln angavs (s 159) i korthet vara att kapseln skulle:

- innesluta och förhindra spridning av radioaktiva ämnen från det använda kärnbränslet,
- motstå de korrosionsangrepp som förväntas i slutförvaret,
- motstå de isostatiska belastningar som förväntas i slutförvaret under en glaciationscykel,
- motstå de skjuvbelastningar som förväntas i slutförvaret.



**Figur 9-13.** Kapsel för använt kärnbränsle. Kapseln består av ett ytterhölje av koppar och en insats av segjärn. Insatsen på bilden är avsedd för BWR-element (Fud-program 2007).

Vid granskningen av motsvarande delar av Fud-program 2004 hade åtskilliga synpunkter framförts (se avsnitt 9.2.2). SKB hade arbetat vidare och bland annat under år 2005 kommit fram till att friktionssvetsning i fortsättningen skulle utgöra referensmetod när locket på kopparkapseln skulle svetsas fast. De viktigaste kriterierna för att välja denna metod angavs vara (s 172–173) svetsprocessens och utrustningens höga tillförlitlighet samt att kvaliteten på svetsarna blir mycket hög både vid seriesvetsning och vid övrig svetsning. En annan fördel var att metoden, som är en icke smältande svetsprocess, ger mycket goda materialegenskaper i svetsgodset. Kostnader och miljöpåverkan för denna metod och för elektronstrålesvetsning bedömdes likvärdiga. Det sistnämnda alternativet lades alltså åt sidan.

I Fud-program 2007 presenterades vidare en tabellarisk översikt där ett antal områden identifierades inom vilka vidare insatser krävdes (s 161–162). I översikten angavs även den ungefärliga tidsperioden för dessa insatser.

Den fortsatta framställningen av kapsellinjen (s 162–185) behandlade ett stort antal frågeställningar inom ramen för följande områden:

- Tillverkning och oförstörande provning av insatsen.
  - Tillverkning.
  - Oförstörande provning.
- Tillverkning och oförstörande provning av kopparhöljet.
  - Tillverkning.
  - Oförstörande provning.
- Förslutning och oförstörande provning av svetsen.
  - Svetsning.
  - Oförstörande provning.
- Bränsle i inkapslingsanläggningen.
  - Torkning av bränsle.
  - Mätning av resteffekt.
- Transportbehållare för inkapslar bränsle.
  - Krav på transportbehållare.
  - Transportbehållarens utformning.
- Hantering av kapseln i slutförvaret.

### **Vissa forskningsfrågor**

I Fud-program 2007 beskrevs även den forskning som SKB genomför i avsikt att pröva kapselns långsiktiga säkerhet (s 257–267). De områden som behandlades var identiska med dem som redovisades i Fud-program 2004 (se avsnitt 9.1.2). För vart och ett av dessa områden angavs vilken nyvunnen kunskap som hade tillkommit sedan Fud-program 2004.

### **9.4.5 Återfyllningslinjen**

Återfyllningslinjen definierades som ”tillverkning, hantering och installation av återfyllning i deponeringstunnlarna och i deponeringshålens översta del. När deponeringstunneln är återfylld ska en temporär plugg installeras i mynningen mot stamtunneln.” (s 187).

I Fud-program 2007 konstaterades (s 188) att SKB tidigare hade utvecklat ett koncept för återfyllning av deponeringstunnlar med blandning av krossat berg och bentonit. Vid testning i full skala hade detta koncept visat sig ha för liten marginal i förhållande till de krav som ställs. I Fud-program 2004 hade SKB förklarat att man avsåg att utreda vidare ett koncept som bygger på förkompakterade block av antingen svällande lera (Friedlandlera) eller en blandning av krossat berg och bentonit. Det hade visat sig att båda alternativen uppfyllde uppställda krav, men att block av svällande lera hade större marginal till de funktionsindikatorer som användes i analysen. Fortsatt teknikutveckling skulle enligt Fud-program 2007 inriktas på att utveckla metoder och utrustning för konceptet med naturlig svällande lera.

Kraven på återfyllningen angavs i sammandrag vara att den ska begränsa buffertens expansion uppåt i deponeringshålet och förhindra att det utvecklas hydrauliska transportvägar i deponeringsorterna så att vattenomsättningen på förvarsnivå påverkas.

Kraven på de metoder och den utrustning som behövs för att återfyllningen ska kunna uppfylla förväntade funktioner och för att den ska kunna installeras under drift av slutförvarsanläggningen sammanfattades i följande punkter (s 188–189):

- Återfyllningsblocken som ska användas i deponeringshålets översta del ska pressas till specificerad geometri, vatteninnehåll och täthet.
- Återfyllningsblocken som ska användas i deponeringshålets översta del får endast innehålla sprickor och andra inre defekter som kan accepteras med hänsyn till de lyft och den hantering som blocken utsätts för under driften.
- Återfyllningsblocken som ska användas i deponeringsorten pressas till specificerad geometri, vatteninnehåll och täthet.
- Granuler ska produceras med en specificerad storleksfördelning och pelletar pressas till specificerad form och täthet.
- Installation av block och pelletar eller granuler ska resultera i att specificerade mängder material placeras i tunneln, så att erforderlig täthet uppnås.

Teknikutveckling för återfyllningslinjen skulle (s 189) i dagsläget inriktas ”på en återfyllning i deponeringsorterna som består av en specificerad mängd naturlig svällande lera med en specificerad homogenitet per längdenhet av orten. Viktiga egenskaper hos återfyllningen är täthet hos torr substans, vattenkvot och kompressibilitet. Indikator för den senare storheten är mängden material i olika produkter – block, pelletar och granuler. Den temporära pluggens funktion bestäms av dess täthet, det vill säga läckaget av grundvatten genom pluggen samt mellan berg och plugg.”

Följande arbetsområden redovisades (s 189–194):

- Pressning av återfyllningsblock.
- Tillverkning av pelletar och granuler.
- Avlägsnande av dränage och temporärt buffertskydd.
- Installation av återfyllningsblock.
- Installation av en temporär plugg i deponeringstunneln.

#### **Vissa forskningsfrågor**

I Fud-program 2007 redovisades också olika forskningsområden av intresse för att säkerställa att återfyllningen kan fylla sin funktion (s 311–324). De frågeställningar som belystes var sammanförda under följande tre rubriker:

- Initialtillstånd för återfyllningen.
- Processer i återfyllningen.
- Integrerad modellering – radionuklidtransport i närområdet.

#### **9.4.6 Förslutningslinjen**

Förslutningslinjen – förslutningen av slutförvaret – definierades (s 195) som verksamheter som behövs för ”återfyllning och pluggning av alla andra utrymmen än deponeringstunnlarna, såsom stamtunnlar, transporttunnlar, centralområde samt ramp och schakt för transport och ventilation. Dessutom ingår förslutning av undersökningsborrhål från ytan och från slutförvarsanläggningens utrymmen.”

I Fud-program 2007 konstaterade SKB (s 195) att förslutning av andra utrymmen än deponeringstunnlarna inte kommer att ske förrän allt använt kärnbränsle har deponerats och att SKB hittills hade

prioriterat arbetet med återfyllningen av deponeringstunnlarna. Erfarenheterna från dessa skulle nu komma att användas inom det fortsatta arbetet med att återfylla även övriga utrymmen.

De material som kan bli aktuella vid förslutningen av förvaret angavs vara svällande lera, icke svällande lera, bergkross eller kombinationer av nämnda material. Hantering, tillverkning och återfyllning bedömdes i stor utsträckning kunna göras med samma metoder som utvecklas för återfyllningslinjen. I fråga om tätning av undersökningsborrhål från markytan hade SKB studerat och utvecklat flera koncept. Det mest lovande, bentonit och kvartsbaserad betong, hade testats i ett cirka 500 meter djupt borrhål i Olkiluoto i Finland.

SKB konstaterade att kraven på metoder och utrustning för att återfylla och plugga igen övriga utrymmen ännu inte har specificerats. Följande funktioner ska uppnås (s 196):

- Förslutningen av transporttunnlarna ska utformas så att återfyllningen i deponeringstunnlarna långsiktigt hålls på plats.
- Förslutningen i de övre delarna av schakt och ramp ska utformas för att klara en period med permafrost.
- Förslutningarna i den allra översta delen av ramp och schakt ska utformas så att de försvårar intrång i slutförvaret.
- Borrhålsförseglingen ska ge en varaktig tätning av borrhålen och hindra axiellt vattenflöde i dem.

De arbetsområden som var aktuella och för vilka en översiktlig redogörelse lämnades var (s 196–198):

- Tillverkning och installation av återfyllning.
- Installation av pluggar.
- Förslutning av borrhål.

#### **9.4.7 Eventuellt återtag av deponerade kapslar**

SKB belyste i Fud-program 2007 översiktligt även kunskaper och slutsatser om teknik för att återta deponerade kapslar där bentonitbufferten hade hunnit svälla och låsa fast kapseln i deponeringshålet (s 199–201). Framställningen kan sammanfattas enligt följande:

Slutförvaret för använt kärnbränsle ska utformas på ett sådant sätt att det inte behöver övervakas. Något formellt krav på att det ska vara möjligt att återta deponerade kapslar efter förslutningen av förvaret finns inte i lagar eller i myndigheternas föreskrifter. SKB har däremot formulerat ett eget krav på att det ska vara möjligt att återta deponerade kapslar före förslutning. Detta får dock inte leda till att slutförvaret utformas på ett sätt som gör att förvarets långsiktiga funktion försämras.

Att återta kapslar räknas som kärnteknisk verksamhet. Enstaka kapslar kan behöva tas upp ur ett deponeringshål om något oförutsett inträffar under deponeringen. Att ta tillbaka ett större antal kapslar i ett senare skede av driften av förvaret ska också vara möjligt. Om en annan metod för att ta hand om eller ta vara på det använda bränslet föredras i framtiden behövs även då teknik för att ta tillbaka kapslar efter det att förvaret har förslutits. Det är alltså fullt möjligt för framtida generationer att, om de så vill, ta upp bränslet.

Hur en kapsel tas tillbaka beror på när beslutet fattas. Ju längre tid som gått efter deponeringen, desto svårare blir det att avlägsna bufferten och frilägga kapslarna. De tekniska svårigheterna beror av hur hög vattenmättnadsgrad – och därmed också hur högt svälltryck – den omgivande bufferten har. En annan svårighet är strålningen från bränslet, vilket gör att strålskärning kommer att krävas vid arbetet. När bentoniten har avlägsnats kan kapseln lyftas upp ur deponeringshålet och hanteras strålskärmad med deponeringsmaskinen. SKB har demonstrerat att det är möjligt att ta tillbaka kapslar under driftskedet vid ett försök i Äspölaboratoriet. Den största arbetsinsatsen och de högsta kostnaderna uppkommer om framtida generationer skulle vilja återta bränslet efter att förvaret har förslutits.



**Figur 9-14.** Demonstration av friläggningen av en kopparkapsel med den hydrodynamiska metoden i Åspölaboratoriet. Till vänster visas uppsplamningen av bentonitbufferten och till höger visas utrustningen för avvattning. (Fud-program 2007.)

SKB har sedan början av 2000-talet studerat och utvärderat följande metoder för att frilägga kapslarna från bentonitbufferten:

- Mekaniska metoder där bentoniten bearbetas bort genom till exempel borrar.
- Hydrodynamiska metoder där bentoniten spolats bort med vatten.
- Termiska metoder där kapselns mantelyta friläggs genom uppvärmning eller kylning.
- Elektriska metoder där bentoniten närmast kapselns mantelyta krymper med hjälp av elektrisk ström för att skapa en spalt mellan kapseln och bufferten.

Av dessa metoder bedömdes den hydrodynamiska ha högst utvecklingspotential. Metoden består av två delar, uppsplamning av bentonitbufferten och avvattning av genererat slam, se figur 9-14.

Två arbetsområden presenterades (s 200–201), nämligen:

- Friläggning av kapsel.
- Avvattning av genererat slam.

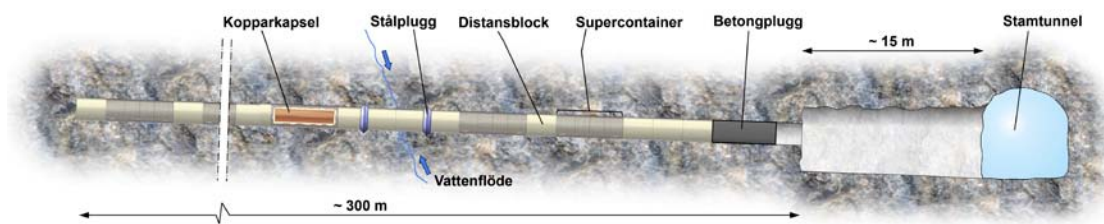
#### 9.4.8 Deponeringsteknik

Frågor kring deponeringsteknik redovisades i Fud-program 2007 på ett annorlunda sätt än i tidigare Fud-program. I fyra olika tabeller (s 79–81) sammanfattades först den planerade status som *inför ansökan* ska uppnås för teknikkomponenter med mera som ska användas vid bygge och drift. Tabellerna avser teknikkomponenter inom ramen för aktiviteterna bergarbeten, buffert, kapselhantering och deponering vid slutförvaret samt återfyllning och förslutning. I fyra andra tabeller (s 102–104) sammanfattades på likartat sätt status för den teknik som ska tillämpas under bygge och drift och som alltså ska uppnås *inför byggstart*. Det har bedömts att dessa tabeller är alltför detaljerade för att återges i föreliggande rapport.

#### 9.4.9 Varianter av KBS-3

I Fud-program 2007 framhöll SKB (s 203) att det forsknings- utvecklings- och demonstrationsprogram kring varianten horisontell deponering (KBS-3H) som hade publicerats år 2001 (se avsnitt 8.7.8) numera genomfördes i samarbete med finska Posiva. Resultat av det programmet skulle komma att publiceras i slutet av år 2007. Baserat på dessa resultat skulle SKB sedan fatta beslut om huruvida KBS-3H ska utvecklas vidare.

Principen för utformningen av ett KBS-3H-förvar illustrerades i Fud-program 2007 enligt figur 9-15.



Figur 9-15. Principen för utformningen av ett KBS-3H-förvar (Fud-program 2007).

Om beslutet blir att KBS-3H ska vidareutvecklas kommer ett program för detta att utarbetas. I Fud-2007 redovisade SKB ett antal utvecklingsfrågor som ”redan idag” bedömdes bli viktiga för att KBS-3H skulle nå en likvärdig teknisk nivå som KBS-3V. För arbetet med vidareutveckling av KBS-3H bedömde SKB att det skulle behövas sex år. De utvecklingsfrågor som hade identifierats beskrevs enligt följande (s 205):

”Utformningen av KBS-3H kommer att studeras mera i detalj. Det gäller till exempel de stålpluggar som ska skärma av de vattenförande zonerna och distansblocken av buffertmaterial. Dessutom ska olika sätt att hantera vatteninflöden genom dränering utvecklas. Hanteringen av vatteninflödet beror också av den verkliga frekvensen av – och egenskaperna hos – sprickorna på den aktuella platsen för slutförvaret. Layoutstudier i både Forsmark och Laxemar behöver därför göras. Sådana studier utgör även ett underlag för att bedöma vilka bergspänningar vi måste ta hänsyn till, hur stor risken för spjälkning är och hur den störda zonen runt deponeringstunnlarna kan karakteriseras.

Att utreda hur logistiken vid deponering ska utformas är viktigt för att säkra kvaliteten vid deponeringen. En betydelsefull frågeställning är hur lång tid som får passera mellan deponeringen av två supercontainrar<sup>50</sup>, samt hur lång tid det får ta från den tidpunkt då man deponerat den sista supercontainern i en deponeringstunnel tills att tunneln pluggas.

För att kunna hantera felhändelser under deponeringssekvensen måste dessa först identifieras och analyseras. Med utgångspunkt från resultatet av analysen kan de åtgärder som behövs beskrivas och utrustning utvecklas.

Andra material än stål i supercontainern kommer att studeras. Det gäller även andra buffertmaterial. Dessutom kommer hanteringen av buffert och kapsel utan supercontainer att utvärderas.

Hur stora vatteninflöden som kan tillåtas till deponeringstunneln för att buffertens kvalitet fortfarande ska kunna säkerställas är – på samma sätt som för deponeringshålerna i KBS-3V – en viktig fråga. Detta kan följaktligen komma att utredas gemensamt för de två alternativen.”

SKB nämnde även (s 206–207) att en preliminär säkerhetsbedömning av KBS-3H hade genomförts av internationella experter och att slutsatsen var att kraven på långsiktig säkerhet bedömdes kunna bli uppfyllda. Under förutsättning av att SKB senare fattade beslut om att fortsätta utvecklingsarbetet kring KBS-3H skulle ytterligare arbete med säkerhetsanalyser genomföras så att det skulle bli möjligt att helt jämföra denna variant med KBS-3V.

#### 9.4.10 Säkerhetsanalys

I det kapitel om säkerhetsanalys som ingick i Fud-program 2007 redovisades viktigare slutsatser ur SR-Can. Dessa slutsatser har framgått av avsnitt 9.3 ovan och upprepas därför inte här. Som också framgått av avsnitt 9.3 förelåg inte resultatet av granskningen av SR-Can vid den tidpunkt (september 2007) när Fud-program 2007 färdigställdes.

<sup>50</sup> Det KBS-3H-förvar som avsågs, tänktes har en utformning som var baserad ”på att cirka 300 meter långa, svagt lutande, deponeringstunnlar borrar från stamtunneln. I tunnlar deponeras kapslarna omgivna av en bentonitbuffert och en perforerad stålbehållare, den så kallade supercontainern” /9-9 s 204/.

## 9.5 Granskningen av Fud-program 2007

### 9.5.1 Övergripande frågor

Liksom vid motsvarande granskning av Fud-programmen 2001 och 2004 fann både Statens kärnkraftinspektion /9-10/ och Kärnavfallsrådet /9-11/ att Fud-program 2007 uppfyllde kraven i kärntekniklagen. Kärnkraftinspektionen tillade att ”slutförvaring enligt KBS-3-metoden fortfarande framstår som den mest ändamålsenliga planeringsförutsättningen för att slutligt omhänderta det använda kärnbränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet” /9-10 s 1/. Vidare uttalade Kärnkraftinspektionen att Kärnavfallsprogrammet ”är till sitt innehåll ändamålsenligt för fortsatt vidareutveckling av en metod för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall i svenskt urberg” (s 7).

Även om Kärnavfallsrådet menade att Fud-program 2007 uppfyllde kraven enligt kärntekniklagen, så framhöll rådet samtidigt /9-11 s 9/ att det ”i sin granskning identifierat ett antal frågeställningar och brister som rådet särskilt vill betona...”. Rådet tillade i detta sammanhang att ”det återstår en hel del forskning och utveckling för att SKB ska kunna lämna in kompletta ansökningar enligt kärntekniklagen och miljöbalken”. En liknande uppfattning uttryckte Kärnkraftinspektionen med orden ”att det fortfarande finns utestående frågor som behöver utredas vidare innan SKB kan åstadkomma ett fullgott underlag för en ansökan om ett slutförvar för använt kärnbränsle” /9-10 s 3/.

Frågor kring de av SKB presenterade tidsplanerna (se avsnitt 9.4.1) togs inte upp i Kärnavfallsrådets yttrande. Däremot diskuterades de ingående av Statens kärnkraftinspektion i den till yttrandet fogade granskningspromemorian. Sammanfattningsvis menade inspektionen /9-10, granskningspromemorian s 44–45/ att tidsplanerna på en översiktlig nivå utgjorde en bra och systematisk beskrivning av SKB:s tidplaner och för hur olika delar av SKB:s program är beroende av varandra. Handlingsplanen var emellertid i dess nuvarande utformning alltför allmänt hållen för att uppfylla sitt syfte. I Fud-program 2010 borde därför SKB redovisa ”en förtydligad övergripande strategisk handlingsplan som bättre redogör för SKB:s strategiska planering, och som omfattar mer detaljerad information om underliggande logik och argumentation för ställningstaganden.” Det var enligt Kärnkraftinspektionen speciellt viktigt ”att adressera kopplingar mellan olika skeden i slutförvarets livscykel; tillståndsprövning, uppförande, provdrift, rutinmässig drift med parallell deponering och återfyllning av förvarsdelar samt successiv utbyggnad, avveckling/återfyllning och förslutning.”

### 9.5.2 Berglinjen

Vad SKB hade anfört om berglinjen ledde Statens kärnkraftinspektion /9-10/ till bedömningen (s 11) att den begränsade kunskapen om osäkerheter gällande störda zoners egenskaper i en borrar och sprängd tunnel utgör en av svagheter i KBS-3-konceptet sett ur perspektivet av långsiktig säkerhet. Inspektionen stödde därför SKB:s planer på att utforma och genomföra ett storskaligt mätförsök av störda zonen runt en sprängd tunnel under realistiska bergmekaniska och hydrogeologiska förhållanden. Vidare instämde Kärnkraftinspektionen i SKB:s avsikt att välja referensmetod för uttag av deponeringstunnlar i samband med att ansökan för uppförande av slutförvaret lämnas in. Som en grund för valet borde SKB genomföra en jämförande studie mellan alternativen fullortsborrning och konventionell borrning och försiktig sprängning utöver det som redan genomförts i Äspölaboratoriet.

I granskningspromemorian framhöll Kärnkraftinspektionen bland annat (s 64–72) att de planerade forskningsinsatserna kring injektering på stora djup var angelägna samt tillstyrkte – med vissa kompletterande förslag – i stort sett de av SKB föreslagna åtgärderna inom ramen för:

- undersökning och karakterisering,
- tätning med injektering,
- borrning och sprängning av bergutrymmen,
- borrning av deponeringshål.



Statens råd för kärnavfallsfrågor /9-11/ sammanfattade sina synpunkter om berglinjen enligt i huvudsak följande (s 12–13):

- Förbättrade kunskaper om bergspänningar på planerat försvarsdjup i Forsmark är nödvändiga. Generella studier bör genomföras avseende vilken effekt rådande och förändrade bergspänningar kan ha på vattengenomsläppligheten i sprickor i olika riktningar och därmed konsekvenserna för detaljdesignen av förvaret. Dessutom bör mätningar av eventuella bergrörelser i såväl Forsmark som Oskarshamn fortsätta en period under behandlingen av platsansökan och sedan på den utvalda platsen en längre tid vid byggande och drift av förvaret.
- Ytterligare forskning och utveckling om injektering för tätning av sprickor är nödvändig. En tidsplan för olika moment i detta forsknings- och utvecklingsarbete bör redovisas.
- Bättre redovisning av den så kallade störda zonens utbredning och egenskaper vid försiktig sprängning bör göras liksom en motivering varför fullortsborrning övergivits.

### **Vissa forskningsfrågor**

Som en sammanfattande bedömning av vad SKB anfört om behov och inriktning av fortsatta forskningsinsatser på det geovetenskapliga området uttalade Statens kärnkraftinspektion /9-10/ bland annat (s 15) att de kopplingar som krävs för att binda samman nyckelfrågorna (nuklidtransport och korrosion) med de relevanta processerna inte är tydliga i framställningen. Vidare menade Kärnkraftinspektionen att SKB också behöver redovisa sina synpunkter på frågan huruvida förvaret i sig kan komma att utgöra ett svaghetsplan och därmed utgöra en brottanvisning i samband med framtida jordskalv.

Kärnavfallsrådets sammanfattande kommentar /9-11/ till detta avsnitt av Fud-program 2007 var (s 13):

- Ytterligare aspekter om förändringar vid öppet förvar bör utredas såsom förändringar i grundvattenkemin, ”kortslutning”, det vill säga sammankoppling av olika grundvattenförande zoner samt ändrade bergspänningsförhållanden.
- De ändrade hydrologiska, hydrogeologiska och hydrokemiska förhållandena vid en förväntad klimatförändring bör modelleras. Fortsatt modellering av transport och hydrokemi i det yttnära grundvattnet och i övergångszonen mellan geosfär och biosfär bör genomföras med beaktande av olika klimatscenarier.

### **9.5.3 Buffertlinjen**

Statens kärnkraftinspektion /9-10/ konstaterade att SKB hade testat i Äspölaboratoriet hur bufferten kan skyddas från alltför snabb mätnad orsakat av vatteninflöde. Inspektionen ansåg emellertid att SKB borde ta fram en mer detaljerad beskrivning av vilken teknik som ska användas under installationen av bufferten för att förhindra alltför snabb mätnad av denna (s 11). Vidare konstaterade Kärnkraftinspektionen att SKB hade övergivit isostatisk pressning som referensmetod för tillverkning av bufferten utan att ange skäl för detta samt efterlyste ett program för kvalitetssäkring av bufferttillverkning. I fråga om installation av block och ringar bedömde inspektionen att SKB hade visat att installation av buffert i fullstor skala i princip är möjlig i såväl sprängd tunnel som fullortsborrad tunnel.

Kärnavfallsrådets synpunkter redovisas i närmast följande avsnitt om vissa forskningsfrågor.

### **Vissa forskningsfrågor**

Kärnkraftinspektionens sammanfattande bedömning /9-10/ när det gällde forskning kring bufferten var ”att SKB generellt har ett bra program för bufferten” (s 14). Det finns dock, uttalade inspektionen, en osäkerhet kring vilka buffertmaterial som kan komma ifråga och vilken sammansättning dessa material behöver ha. SKB behövde därför ta fram en mera detaljerad kravspecifikation för bufferten och föreslå konkreta material som lämpliga kandidater för användning i ett slutförvar. Kärnkraftinspektionen bedömde vidare att SKB hade ett bra forskningsprogram om bufferterosion, men att kunskaperna måste uppnå en tillräcklig mognadsnivå innan SKB lämnar in en ansökan om

att få uppföra slutförvaret. SKB borde också ägna ökad uppmärksamhet åt sådana kemiska processer i bufferten som cementeringsprocesser, kopplingen mellan jonbytesprocesser och omvandlingar av smektit, samt risken för en strukturell sönderdelning av smektitlera.

Kärnavfallsrådet /9-11/ ansåg ”att det finns många oklarheter avseende buffert, återfyllning och förslutning i detta skede i SKB:s program” (s 9) och redovisade sin sammanfattande bedömning i följande tre punkter:

- De viktigaste egenskaperna hos materialet i bufferten bör specificeras och gränsvärden med avseende på till exempel svällningspotential, retentionsförmåga gentemot radionuklider, kemisk stabilitet, hydraulisk diffusion, motståndskraft mot erosion samt halt av föroreningar (oorganiska såväl som organiska) bör fastställas.
- Mekanisk hållfasthet och kemisk stabilitet för kompakterade komponenter i bufferten ska säkerställas.
- Transportmodeller för de viktigaste radioaktiva isotoperna (med positiv och negativ laddning) genom bentoniten bör upprättas.

#### **9.5.4 Kapsellinjen**

Statens kärnkraftinspektions genomgång /9-10/ av avsnittet om kapsellinjen resulterade i slutsatsen (s 11–12) att SKB behöver fortsätta att utveckla konstruktionsförutsättningarna för att få ett bättre underlag för materialval, dimensionering och tillverkningskontroll av kapseln. Dessutom, uttalade Kärnkraftinspektionen, bör SKB genomföra fortsatta utredningar angående möjligheten av att skjuvning från ett jordskalv och isostatisk last från en glaciation skulle kunna inträffa samtidigt.

Inspektionen ansåg även att det fortfarande finns vissa frågetecken när det gäller trovärdigheten av SKB:s krypmodeller för koppar och framhöll ”att det återstår för SKB att visa att kapseldetaljer kan tillverkas i den takt och med den kvalitet som SKB själva föreskriver”.

I fråga om utveckling av oförstörande provning underströk Kärnkraftinspektionen bland annat vikten av att SKB mer i detalj visar hur en kombination av oförstörande provningsmetoder finner de tillverkningsfel som kan förekomma.

Kärnavfallsrådets bedömning /9-11/ av vad SKB anfört om tillverkning av kopparkapslar utmynnade i två slutsatser (s 12):

- Material och gjutningsprocess för segjärnsinsatsen måste optimeras så att specificerade krav kan uppfyllas. Annars måste någon annan typ av material användas.
- För att garantera tillförlitligheten under hela kapseltillverkningen och slutförvarsperioden måste kvalitetskrav med avseende på tillverkningsdefekter i kapselns alla delar, inklusive svetsar, utvecklas.

#### **Vissa forskningsfrågor**

Statens kärnkraftinspektions synpunkter /9–10/ på SKB:s redovisning av den fortsatta forskningen kring kapseln som barriär kan sammanfattas enligt följande (s 13):

- Arbetet med analyser av såväl insats som kopparkapsel för både glaciationslast och skjuvlast, samt kombinationer av dessa, behöver fortsättas. Analyserna ska ge både underlag för att verifiera hållfastheten för de definierade konstruktionsförutsättningarna samt vägledning för tillverkning och tillverkningskontroll.
- Fenomenet spänningsskorrosion kan inte avfärdas som en dimensionerande process i förvaret. SKB måste antingen genom trovärdig provning visa att även om en sådan spricka initieras är tillväxten så långsam att kapselns integritet inte äventyras eller redovisa konsekvenserna av att en del kapslar kan tänkas spricka genom tillväxt av sprickor orsakade av spänningsskorrosion.
- SKB:s program för korrosion behöver kompletteras med korrosionsförsök på kopparytor som är direktexponerade för grundvatten. Detta behov är kopplat till att buffererosion är en viktig process i förvarets utveckling.

- SKB behöver ta fram en egen uppdaterad information av relevans för frågan om kopparkorrosion i syrefritt vatten. Även kopplingen till frågan om väteförsprödning bör utredas genom både försök och teoretiska beräkningar.

Kärnavfallsrådet /9-11/ redovisade sina slutsatser i följande två punkter (s 57):

- Fortsatta korrosionsstudier behövs inom olika områden: accelererade långtidsförsök för spänningskorrosion, allmän korrosion i klorid- och sulfidhaltiga vatten med bentonit, och mikrobiell korrosion.
- Mekanismer av kopparkorrosion i syrefritt vatten måste undersökas experimentellt för att bevisa om korrosion av koppar genom väteutveckling kan ske i rent, avjoniserat, syrefritt vatten och i grundvatten med bentonit.

### 9.5.5 Återfyllningslinjen

Statens kärnkraftinspektion /9-10/ menade att det, när det gäller val av material vid återfyllning, är viktigt att SKB tar fram en tydligare kravspecifikation och visar att tillräcklig mängd data finns framme åtminstone för något tänkbart material, så att dess egenskaper och funktion kan bedömas (s 12). Kärnkraftinspektionen efterlyste också ett kvalitetsprogram för tillverkningen av den återfyllning som ska placeras i deponeringstunnlarna.

Kärnavfallsrådet /9-11/ framhöll att det slutliga valet av material och metod för återfyllning ”måste vara klart senast i samband med att ansökan om att anlägga ett slutförvar lämnas in” (s 71).

#### *Vissa forskningsfrågor*

Kärnavfallsrådet tog också upp frågor kring behovet av ytterligare forskning kring återfyllningen och sammanfattade sina synpunkter i följande två slutsatser (s 71):

- Gränsytorerna mellan återfyllningen och bufferten respektive berget kräver särskilda forskningsinsatser.
- SKB behöver överväga de problem som kan uppstå under den förväntade klimatförändringen (på grund av växthuseffekten), till exempel, högre nivåer och flöden av grundvatten samt förändrad vattenkemi och högre havsnivå, sannolikt redan under byggtiden.

Statens kärnkraftinspektion /9-10/ konstaterade ”att betydande insatser återstår innan kunskaperna kring både praktiska hanteringsfrågor för återfyllningen och analys av långsiktig utveckling når samma nivå som för kapsel och buffert” (s 14). Inspektionen bedömde dock att SKB i Fud-program 2007 hade höjt ambitionsnivån för arbetet med återfyllningen och att det nu fanns konkreta planer för att fylla igen de viktigaste kunskapsluckorna. Viktigare punkter i Kärnkraftinspektionens kritik kan sammanfattas enligt följande:

- De återfyllningsmaterial som SKB undersöker för närvarande har inte redovisats ordentligt i Fud-programmet. Liksom för bufferten behövs en tydligare kravspecifikation för återfyllningen avseende kemisk och mineralogisk sammansättning.
- Det behövs mer konkreta planer kring storskaliga demonstrationsförsök för att undersöka återfyllningens funktion under så realistiska betingelser som möjligt.
- SKB har ett lämpligt program för att begränsa och förutsäga den initiala erosionsrisken under den tidiga återmättnadsfasen. Men risken för en långsiktig erosion av återfyllda tunnlar behöver uppmärksammas mera.
- Det saknas i Fud-program 2007 redovisning kring kemiska processer i återfyllningen samt information om återfyllning av andra förvarsutrymmen än deponeringstunnlarna.

### 9.5.6 Förslutningslinjen

Statens kärnkraftinspektionens granskning /9-10/ av avsnittet om förslutningslinjen i Fud-program 2007 resulterade i bedömningen att SKB behöver utreda om metoderna för pluggning av undersökningsborrhål med bentonit behöver uppdateras (s 12). Som stöd för den bedömningen hänvisade inspektionen till

nyvunnen kunskap om piping/erosion, buffererosion och reaktion mellan cement och bentonit. I detta sammanhang påpekade Kärnkraftinspektionen även att tektoniska rörelser i samband med framtida glaciationer kan påverka såväl förslutna borrhål som förvarets tunnlår. SKB borde därför redovisa vilka konsekvenser en försämrad förslutning innebär för förvarets långsiktiga säkerhet.

Kärnavfallsrådet /9-11/ framhöll att förslutningsaktiviteter blir aktuella först längre fram i tiden, kanske om två till tre generationer. Det har därför hittills inte ansetts vara nödvändigt att avsätta resurser för att slutgiltigt bestämma metod och material för arbetet med förslutning (s 71). Däremot, ansåg rådet, är det viktigt att SKB kan redovisa en referensutformning av förslutningslinjen på ett sådant sätt att de initialvärden som behövs för säkerhetsanalysens beräkningar, kan bedömas vara trovärdiga. Detta måste kunna redovisas tydligt senast i den säkerhetsanalys som ska bifogas ansökan om en slutförvarsanläggning.

### 9.5.7 Eventuellt återtag av deponerade kapslar

Statens kärnkraftinspektion /9-10/ konstaterade i granskningspromemorian (s 89) att det av Fud-program 2007 framgår att SKB har visat att det är möjligt att återta en deponerad kapsel genom en hydrodynamisk metod. En del av de remissinstanser som yttrat sig till Kärnkraftinspektionen hade efterlyst större klarhet i frågan om ett slutförvar skulle utformas så att återtag över huvud taget skulle vara möjligt och i så fall under vilka omständigheter. Med hänvisning härtill sammanfattade Kärnkraftinspektionen sin syn på dessa frågor enligt följande (s 97):

”Enligt SKI:s föreskrifter och allmänna råd framgår att inverkan på säkerheten av sådana åtgärder som vidtas för att underlätta övervakning eller återtagning av deponerat kärnämne eller kärnavfall från slutförvaret eller för att försvåra tillträde till slutförvaret skall analyseras och redovisas till Statens kärnkraftinspektion. I de allmänna råden anges att åtgärder också kan vidtas under uppförande och drift med främsta syftet att underlätta återtagande av deponerat kärnämne och kärnavfall från slutförvaret, antingen under driftperioden eller efter förslutning. För dessa åtgärder gäller att det bör framgå av säkerhetsredovisningen för anläggningen att åtgärderna antingen har en liten och försumbar inverkan på slutförvarets säkerhet, eller att åtgärderna medför en förbättring av säkerheten, jämfört med fallet att åtgärderna ej vidtagits.”

Kärnavfallsrådet /9-11/ erinrade (s 97) om att frågan om återtag av deponerat använt kärnbränsle eller kärnavfall i annan form är en fråga som sedan länge varit föremål för diskussioner i Sverige och internationellt (till exempel inom IAEA och NEA). En anledning till sådana diskussioner är att det använda kärnbränslet kan komma att ses som en resurs och därför vara av intresse att återvinna till exempel om ny teknik utvecklas. En annan anledning är att det kan finnas en möjlighet att man önskar återta det deponerade bränslet med hänsyn till säkerheten.

Rådet konstaterade att det inte finns något krav på återtagbarhet i svensk lag. Men eftersom SKB hävdar att återtag kan ske, så bör SKB ändå belysa möjligheter och risker med återtag. Rådet erinrade i detta sammanhang om den så kallade KASAM-principen som formulerades redan i slutet av 1980-talet: ”Ett slutförvar bör *utformas så att det dels gör kontroll och åtgärder onödiga, dels inte omöjliggör kontroll och åtgärder.*” Samtidigt tillade rådet att om möjligheten till kontroll innebär att den långsiktiga säkerheten blir mindre än om vi avstår från en sådan kontroll, så bör vi prioritera den långsiktiga säkerheten. Rådets slutsats av framställningen i Fud-program 2007 var att ”SKB:s ambitionsnivå för att belysa möjligheter och risker med återtag är tillräcklig”.

### 9.5.8 Deponeringsteknik

Som framgått av redovisningen för Fud-program 2007 hade SKB valt att behandla frågor kring deponeringsteknik på ett annorlunda sätt än i tidigare Fud-program. De tabellariska uppställningar ur Fud-program 2007 som nämndes i avsnitt 9.4.8 föranledde inga direkta kommentarer från Statens kärnkraftinspektion eller från Kärnavfallsrådet. Däremot berörde Kärnkraftinspektionen frågan om *metod för uttag av deponeringstunnlar* /9-10, granskningspromemorian s 5/. Inspektionen konstaterade att det var SKB:s avsikt att företa val av referensmetod för uttag av deponeringstunnlar i samband med att ansökan om uppförande av slutförvaret lämnas in och anslöt sig till det synsättet. Som grund för detta val borde, uttalade Kärnkraftinspektionen, SKB genomföra en ”jämförande studie mellan alternativen fullortsborrning och konventionell borring

och försiktig sprängning utöver det som redan genomförts i Äspölaboratoriet”. Som exempel på frågor som SKB borde belysa i en sådan studie nämnde inspektionen kostnad, genomförbarhet, flexibilitet, behov av bergförstärkning och injektering, störda zonens utbredning, kartering av berg och vatteninläckage, utrustning för deponering av buffert och kapslar, tillverkning och krav på block för återfyllning, teknik för återfyllning etc.

### 9.5.9 Varianter av KBS-3

Statens kärnkraftinspektion /9-10/ instämde i SKB:s uppfattning om behov av ytterligare utredningsarbete kring konceptet KBS-3-H (granskningspromemorian s 91–92) och såg fram mot att ta del av resultat och slutsatser.

Kärnavfallsrådet /9-11/ kommenterade inte det pågående utredningsarbetet i sak. Däremot menade rådet (s 29) att SKB behövde klarlägga vid vilken tidpunkt en eventuell övergång till varianten KBS-3-H skulle kunna ske.

### 9.5.10 Säkerhetsanalys

Som påpekats i avsnitt 9.4.10 utgjorde avsnittet om säkerhetsanalys i Fud-program 2007 i huvudsak enbart en redovisning av viktigare slutsatser ur SR-Can; granskningen av SR-Can pågick fortfarande när Fud-program 2007 färdigställdes.

Statens kärnkraftinspektion kunde vid sin granskning av avsnittet om säkerhetsanalys i Fud-program 2007 i juni 2008 utgå från vad som hade framkommit i den granskningsrapport över SR-Can som hade publicerats i mars 2008 (se avsnitt 9.3.4). I yttrandet över Fud-program 2007 sammanfattade Kärnkraftinspektionen sin syn på SKB:s arbete med säkerhetsanalys enligt i huvudsak följande /9-10 s 9/:

- SKB har utvecklat en metodik kring säkerhetsanalys med en lämplig utformning i förhållande till Kärnkraftinspektionens och Strålskyddsinstitutets föreskrifter.
- Det är avgörande för programmets fortsatta utveckling att SKB på ett ändamålsenligt sätt återkopplar till behovet av forsknings- och utvecklingsinsatser från de kritiska frågeställningar som har identifierats vid granskningen av SR-Can.
- SKB bör inför arbetet med SR-Site höja ambitionsnivån för kvalitetsarbetet i samband med säkerhetsanalys.

Frågor kring säkerhetsanalyser togs också upp av Kärnavfallsrådet /9-11/, som betonade (s 11) att SKB:s säkerhetsanalyser även har en intern roll inom SKB som verktyg dels för att följa upp förvarets säkerhet under uppförande och drift, dels för att ge riktlinjer för teknikutveckling och forskning. SKB behöver därför, framhöll rådet, ”säkerställa och visa att återkopplingar och informationsöverföring mellan olika delar av SKB:s organisation fungerar, t ex avseende den återkoppling som görs från säkerhetsanalys till forskningsprogram, program för detaljerade undersökningar och teknikutveckling”.

### 9.5.11 Regeringens ställningstagande

I beslut den 20 november 2008 fann regeringen /9-12/ att Fud-program 2007 uppfyllde de krav som ställs i 12 § kärntekniklagen. Samtidigt ställde regeringen ett antal villkor om komplettering senast den 31 mars 2009 av vissa redovisningar i programmet. Dessa redovisningar avsåg främst frågor som inte har direkt samband med KBS-3-metoden, varför de faller utanför ramen för föreliggande framställning. Ett av dessa krav på redovisningar bör dock nämnas, nämligen att SKB skulle ”redovisa kunskapsläget vad gäller alternativa slutförvaringsmetoder såsom bl a djupa borrhål”.

## 9.6 SKB:s komplettering mars 2009 av Fud-program 2007 jämte regeringens ställningstagande

SKB överlämnade i slutet av mars 2009 de begärda redovisningarna /9-13/ till Strålsäkerhetsmyndigheten. I redovisningen av alternativa slutförvaringsmetoder ingick ett kort avsnitt om KBS-3-metoden. Men eftersom detta avsnitt i sin tur hänvisade till den beskrivning som hade getts i Fud-program 2007 saknas anledning att här upprepa samma beskrivning.

Sedan redovisningarna granskats av Strålsäkerhetsmyndigheten överlämnades de till regeringen. Parallellt granskades redovisningarna också av Kärnavfallsrådet. Regeringen beslöt den 10 december 2009 att lägga redovisningarna till handlingarna /9-14/. Beslutet motiverades med att regeringen förutsatte att SKB vid upprättandet av Fud-program 2010 skulle ta hänsyn till de synpunkter som framkommit vid granskningen.

## 9.7 Utveckling av KBS-metoden 2001–2009

I detta avsnitt sammanfattas några huvudpunkter i den utveckling av KBS-3-metoden som skedde från redovisningen i Fud-program 2001 till redovisningen i kompletteringen år 2009 av Fud-program 2007.

Fud-program 2001	Fud-program 2004	Fud-program 2007 (inklusive komplettering 2009)
Hanteringsgång och anläggningar	Hanteringsgång och anläggningar	Hanteringsgång och anläggningar
<b>Mellanlager</b>	<b>Mellanlager</b>	<b>Mellanlager</b>
Clab i drift sedan 1985.	Clab i drift sedan 1985.	Clab i drift sedan 1985. (Ytterligare ett bergtrum med förvaringsbassänger togs i bruk 2008.)
<b>Inkapslinganläggning</b>	<b>Inkapslinganläggning</b>	<b>Inkapslinganläggning</b>
Det använda bränslet förs till en anläggning för inkapsling (ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978).	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.
Inkapslinganläggningen förutsätts bli förlagd i anslutning till Clab, men lokalisering till samma plats som slutförvaret ska belysas (ingen ändring jämfört med Fud-program 98).	Huvudalternativet är lokalisering i anslutning till Clab, utformningen presenteras översiktligt. Samtidigt skisseras möjligheten av en fristående inkapslinganläggning i Forsmarksområdet.	Ansökan enligt kärntekniklagen att uppföra inkapslinganläggning (integrerad med Clab) inlämnad år 2006. Den integrerade anläggningen för mellanlager och inkapsling benämns Clink.
<b>Slutförvar</b>	<b>Slutförvar</b>	<b>Slutförvar</b>
<i>Anm. SKB använde åren 1992–2003/4 termen "djupförvar".</i>	<i>Anm. SKB använde åren 1992–2003/4 termen "djupförvar".</i>	
Förvaret består av ett antal parallella deponeringstunnlar i <i>ett plan</i> på 400–700 m djup i kristallin berggrund. Även alternativet med <i>två plan</i> studeras. (Ingen ändring jämfört med Fud-program 98)	Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.
Övergripande tidsplan: Inledande drift startar 2015, reguljär drift startar i början av 2020-talet. Under den inledande driften deponeras 200–400 kapslar.	Övergripande tidsplan: Förvarssystemet ska kunna tas i drift år 2017, reguljär drift från år 2023.	Övergripande tidsplan: Provdrift av hela systemet år 2020, rutinmässig drift från år 2022.

Fud-program 2001	Fud-program 2004	Fud-program 2007
Vertikal deponering (ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978).	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.
Inga uppgifter om deponeringshålets diameter och djup	Hålens diameter: 1,75 m. Hålens djup: Anges inte.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 2004.
Studier av fyra alternativa utformningar av KBS-3 redovisas: • Vertikal deponering, 1 alternativt 2 kapslar per hål. • Horisontell deponering, 1 alternativt flera kapslar per hål. Slutsatser: • Vertikal deponering, 1 kapsel per hål kvarstår som huvudalternativ. • Fortsatta studier av horisontell deponering.	Två alternativ. Utöver KBS-3V med 1 kapsel per hål studeras "att kapslarna deponeras i långa horisontella hål" (upp till 300 m) som utgår från deponeringstunnlarna och vars diameter är 1,85 m (KBS-3H).	Fortsatt utvärdering av KBS-3H, tillsammans med Posiva (Finland). Om utvärderingen utfaller positivt förutses utvecklingsarbete under cirka sex år för att nå en med KBS-3V likvärdig teknisk nivå.
Bränsleelementen stoppas in <i>hela</i> i kapslarna (ingen ändring jämfört med Fud-program 92).	Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.
Inga uppgifter om utbredning samt om deponeringstunnlars höjd, bredd och inbördes avstånd.	Inga uppgifter om utbredning samt om deponeringstunnlars höjd, bredd och inbördes avstånd.	Inga uppgifter om utbredning samt om deponeringstunnlars höjd, bredd och inbördes avstånd.
<b>Återtag:</b> Utförlig analys av hur deponerade kapslar kan återtas före förslutning.  Praktiska försök med metodik och utrustning för återtag har påbörjats i Äspölaboratoriet.	<b>Återtag:</b> Ska vara möjligt, även om formella krav på återtagbarhet inte har ställts i gällande författningar.  Fortsatta studier av metodik och utrustning för återtag sker i Äspölaboratoriet.	<b>Återtag:</b> Ingen ändring i förhållande till Fud-program 2004.  Fortsatta studier av metodik och utrustning för återtag koncentreras på "hydrodynamiska metoder", vilka innebär att kapseln friläggas genom att bentoniten spolas bort med vatten.
<b>Buffert och återfyllning</b>	<b>Buffert och återfyllning</b>	<b>Buffert och återfyllning</b>
<b>Buffert</b>	<b>Buffert</b>	<b>Buffert</b>
Kapseln omges i deponeringshålen med block av högkompakterad bentonit (ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978).	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.	Ingen ändring jämfört med KBS-2-rapporten 1978.
Block av högkompakterad bentonit i form av "ananasringar" förutsätts kunna framställas genom antingen isostatisk pressning eller enaxlig pressning (ingen ändring jämfört med Fud-program 95).	Ingen ändring jämfört med Fud-program 95, men block och ringar har tillverkats med enaxlig pressning, möjligheten att använda isostatisk pressning utreds.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 2004.
Utifrån preciserade krav på buffertmaterialets funktioner presenteras slutsatser av genomförda studier kring bentonitens egenskaper. SKB väljer naturlig bentonit av Wyoming-typ (MX-80) som referensmaterial, men håller öppet för att det kan finnas andra material som är lika lämpliga.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 2001.  Forskningsuppgifter preciseras inom områdena: • Buffertens initialtillstånd. • Processer i bufferten.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 2001.  Med utgångspunkt från preciserade krav på buffertens huvuduppgifter anges för vilka teknikområden det <i>antingen</i> finns känd och beprövad teknik som kan appliceras <i>eller</i> det behövs teknikutveckling.
Inga uppgifter om buffertens tjocklek.	Buffertens tjocklek: 35 cm (anges inte uttryckligen men framgår av uppgifterna om deponeringshålets och kapslarnas diameter, 175 respektive 105 cm).	Ingen ändring jämfört med Fud-program 2004.

Fud-program 2001	Fud-program 2004	Fud-program 2007
<b>Återfyllning</b>	<b>Återfyllning</b>	<b>Återfyllning</b>
<p>Med utgångspunkt från preciserade krav på återfyllningens funktioner dras slutsatsen att</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En blandning av 15 % bentonit och 85 % bergkross kan vara lämplig för en plats med sött grundvatten.</li> <li>• En blandning med högre andel bentonit kan behövas för en plats med saltare grundvatten.</li> <li>• Exakt sammansättning av återfyllningsmaterial kan bestämmas först när förhållandena på aktuell plats är kända.</li> </ul>	<p>Med utgångspunkt från återfyllningens funktion studeras främst tre alternativ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En blandning av bentonit och bergkross kompakteras i tunneln.</li> <li>• Svällande lera kompakteras på plats i tunneln; Friedlandera referensmaterial, men många olika leror tänkbara.</li> <li>• Förkompakterade block av Friedlandera (många olika leror tänkbara) läggs in i tunneln .</li> </ul>	<p>Med utgångspunkt från angivna krav på återfyllningens funktion preciseras för vilka teknikområden det <i>antingen</i> finns känd och beprövad teknik som kan appliceras <i>eller</i> det behövs teknikutveckling.</p>
<p>Funktioner: Utgör ingen barriär i sig, utan nödvändig för att bufferten och berget ska få önskad funktion.</p>	<p>Funktioner: Ingen ändring jämfört med Fud-program 2001.</p>	<p>Funktioner: Begränsa buffertens expansion uppåt i deponeringshållet (KBS-3V) och förhindra att det utvecklas hydrauliska transportvägar i deponeringsorterna.</p>
<p>Material och tekniker för återfyllning och förslutning utprovas vid Äspö-laboratoriet.</p>	<p>Förslutningar för olika ändamål studeras:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Driftförslutningar vid mynningen av deponeringstunnlar när dessa har återfyllts, men fortsatt deponering pågår i närheten.</li> <li>• Permanenta förslutningar i undermarksdelen mellan t ex olika deponeringsområden.</li> <li>• Förslutningar för att förhindra eller försvåra intrång i undermarksanläggningen sedan den återfyllts.</li> </ul>	<p>Med utgångspunkt från preciserade krav på förslutningen anges för vilka teknikområden det <i>antingen</i> finns känd och beprövad teknik som kan appliceras <i>eller</i> det behövs teknikutveckling.</p>
<b>Kapseln</b>	<b>Kapseln</b>	<b>Kapseln</b>
<p>Kapseln består av en yttre korrosionsbarriär av koppar och en tryckbärande insats av segjärn (ingen ändring jämfört med Fud-program 98).</p> <p><i>Motiv för val av koppar</i> som hölje (ingen ändring jämfört med Fud-program 98):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Har den livslängd som behövs.</li> <li>• Har minimal påverkan på övriga barriärer.</li> </ul> <p>Tålighet mot yttre last fås genom den gjutna innerbehållaren (ingen ändring jämfört med Fud-program 95).</p> <p><i>Motiv för kapselutformning:</i> En mindre komplicerad process vid inkapslingen än fyllning av mellanrummen i en stålcyllinder (enligt Fud-program 92). En gjuten insats är robustare mot yttre laster och lättare att utforma med hänsyn till kriticitetsrisk. (Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.)</p> <p><i>Antal bränsleelement per kapsel:</i> 12 BWR-element, alternativt 4 PWR-element (ingen ändring jämfört med Fud-program 92).</p> <p><i>Tillvägagångssätt vid tillverkning av kopparhöljet:</i> Flera olika tillverkningsmetoder finns; val mellan dem bör anstå tills fabriken börjar projekteras.</p>	<p>Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.</p> <p>Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.</p> <p>Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.</p> <p>Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.</p> <p><i>Antal bränsleelement per kapsel:</i> Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.</p> <p><i>Tillvägagångssätt vid tillverkning av kopparhöljet:</i> Fyra olika tillverkningsmetoder har använts: rullformning, extrudering, dornpressning och smide. Av dessa ger extrudering mest tillförlitliga resultat.</p>	<p>Ingen ändring jämfört med Fud-program 98 (program för fortsatt utveckling av kopparkapslarna, se nedan).</p> <p>Ingen ändring jämfört med Fud-program 98.</p> <p>Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.</p> <p>Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.</p> <p><i>Antal bränsleelement per kapsel:</i> Ingen ändring jämfört med Fud-program 92.</p> <p><i>Tillvägagångssätt vid tillverkning av kopparhöljet:</i> Fyra olika tillverkningsmetoder har använts: rullformning, extrudering, dornpressning och smide. Av dessa är de tre sistnämnda mest intressanta.</p>



Fud-program 2001	Fud-program 2004	Fud-program 2007
Segjärnsinsatsen gjuts, med botten, i ett stycke. Insatsens lock av stål med ventil ska skruvas fast (ingen ändring jämfört med Fud-program 98).	Provtillverkning av segjärnsinsatser pågår.	Ingen ändring jämfört med Fud-program 2004.
<i>Alternativa svetsmetoder för kopparlock:</i> Fortsatt utvecklingsarbete kring elektronstrålesvetsning och friktionssvetsning.	<i>Alternativa svetsmetoder för kopparlock:</i> Fortsatt utvecklingsarbete kring elektronstrålesvetsning och kring friktionssvetsning. Systematisk genomgång av inkapslingsprocessen inför till år 2006 aviserad ansökan om att uppföra inkapslingsanläggningen.	<i>Svetsmetod för kopparlock:</i> Från år 2005 utgör friktionssvetsning referensmetod; fortsatt utveckling av denna svetsmetod pågår.
<i>Kapselns dimensioner:</i> Längd: 4,835 m. Yttre diameter: 105 cm. Inre diameter: 85 cm.  Vägg tjocklek: Minst 10 cm, varav minst 5 cm den gjutna innerhållaren samt 5 cm koppar. (Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.)  <i>Motiv för 5 cm kopparhölje anges inte. (I Fud-program 92 angavs att några processer som kan leda till genombrott på kapseln på grund av korrosion av kopparhöljet på kortare tid än en miljon år har inte identifierats.) Samtidigt redovisas i Fud-program 2001 att 30 mm är fullt tillräckligt, varför fortsatt utvecklingsarbete sker kring tillverkning av hölje med denna dimension (och i så fall konsekvensändringar av segjärnsinsatsens dimensioner.)</i>	<i>Kapselns dimensioner:</i> Ingen ändring jämfört med Fud-program 2001.  Vägg tjocklek: Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.  <i>Motiv för tjockleken av kopparhöljet (5 cm) anges inte. Men det hänvisas till en forskningsrapport enligt vilken 2 mm vägg tjocklek är tillräckligt för att kapselns livslängd ska vara en miljon år. Utvecklingsarbetet kring alternativet 3 cm kopparhölje nämns inte (har avbrutits).</i>	<i>Kapselns dimensioner:</i> Ingen ändring jämfört med Fud-program 2001.  Vägg tjocklek: Ingen ändring jämfört med Fud-program 95.  <i>Motiv för tjockleken av kopparhöljet (5 cm) anges inte.</i>
Vikt fylld kapsel (BWR-element): 24,6 ton.	Vikt fylld kapsel med BWR-bränsle: Cirka 25 ton. Vikt fylld kapsel med PWR-bränsle: Cirka 27 ton.	Vikt fylld kapsel: Ingen ändring jämfört med Fud-program 2004.
Fortsatt metodutveckling för oförstörande provning av kapslar (pågår i Kapsellaboratoriet i Oskarshamn).	Metodutveckling för oförstörande provning: Ingen ändring jämfört med Fud-program 2001.	Metodutveckling för oförstörande provning: Identifiering av ett antal områden med anknytning till dels materialfrågor, dels hållfasthetsfrågor där vidare insatser krävs.

## 10 SKB:s internationella forskningssamarbete under 30 år

### 10.1 Översikt

Alltsedan starten av KBS-projektet hösten 1976 har forskningssamarbete i olika former med utländska experter och internationella organisationer varit en integrerad del av SKB:s forsknings- och utvecklingsarbete. En god illustration till omfattningen av det tidiga samarbetet utgör de omfattande referenslistorna till KBS-rapporterna 1977 och 1978.

SKB har under alla år deltagit aktivt i det arbete med kärnavfallsfrågorna som sker inom ramen för de många olika kommittéer och arbetsgrupper som mer eller mindre permanent är knutna till IAEA, OECD/NEA och EU samt även till andra internationella organ som arbetar med frågeställningar som har relevans för kärnavfallshanteringen i Sverige.

I detta kapitel redovisas viktigare inslag i SKB:s internationella forskningssamarbete – utöver de i föregående stycke nämnda kommittéerna och arbetsgrupperna – under perioden 1976 fram till nuläget. Genomgången är inte fullständig, men täcker de områden som bedömts ha haft störst betydelse för utvecklingen av KBS-3-metoden<sup>51</sup>.

I FoU-program 86 /10-1/ konstaterade SKB att det i olika länder pågick en mycket omfattande verksamhet inom kärnavfallsområdet, främst med inriktning på experiment, modellutveckling, platsundersökningar och datasammanställningar, varav de svenska insatserna naturligtvis endast utgjorde en liten del. En viktig del av SKB:s program var därför att ”på ett genomtänkt och effektivt sätt följa och ta tillvara den forskning och utveckling som sker i andra länder”, något som underlättades av ”det stora intresse som föreligger internationellt för det svenska arbetet” (del III s 59). En särskild underlagsrapport, ”Internationell och utländsk verksamhet”, innehöll på ett 50-tal sidor dels en översikt av kärnavfallsprogrammen i ett antal länder, dels en redovisning av pågående och planerad utländsk forsknings- och utvecklingsverksamhet inom ett flertal områden såsom bland andra:

- geovetenskap och platsundersökningar,
- underjordiska laboratorier,
- kemi (grundvattenkemi, radionuklidkemi, radionuklidtransport, in situ-försök, naturliga analogier, betong),
- kapsel (material och utformning),
- buffert och återfyllning,
- utformning av förvar,
- biosfärsstudier,
- säkerhetsanalys.

Aktualiserade redogörelser med motsvarande innehåll ingick i FoU-program 89 och Fud-program 92. I sistnämnda program /10-2/ framhöll SKB (s 127) att i vilken utsträckning man för svensk del kunde få direkt nytta av det som gjordes i andra länder i första hand berodde på tre faktorer:

- Tekniska och geologiska likheter i förvarsutformning och plats.
- Val av behandlingsmetod för använt kärnbränsle.
- Tidsplaner för genomförande av forskningsprogram, försök i stor skala och demonstrationsprojekt samt byggande/genomförande av slutförvar.

<sup>51</sup> De Fud-program som SKB presenterade åren 1986, 1989 och 1992 innehöll samlade översiktliga redogörelser för dels utländskt forsknings- och utvecklingsarbete av vikt för SKB:s program för slutförvaring av använt kärnbränsle, dels de samarbetsavtal som SKB hade ingått med utländska organisationer jämte presentationer av ett antal projekt i vilka SKB deltog eller hade deltagit. I de Fud-program som presenterats från och med år 1995 har SKB valt att i stället redovisa motsvarande uppgifter i de avsnitt där olika sakfrågor behandlas. Framställningen i föreliggande kapitel bygger, om annat inte anges, på uppgifterna i Fud-programmen 1986–2007.

Nyttan för svensk del av forskningen i andra länder låg, menade SKB, 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 system för slutförvaring genom bland annat demonstrations- och storskaleförsök.
- Utveckling av en internationell samsyn beträffande säkerhetsanalys.

I Fud-program 2004 /10-3/ finns en översiktlig framställning av SKB:s internationella samarbete (s 37–38). Redogörelsen är i sina huvuddrag fortfarande aktuell och innehöll i huvudsak följande. Vissa av de uppgifter som finns i den framställningen återkommer i mer detaljerad form i avsnitten 10.2–10.11.

Det internationella samarbetet kring Äspölaboratoriet hade år 2004 pågått i mer än tio år och varit en god grund för SKB:s samverkan med systerorganisationer i andra länder. På senare år hade SKB också utvecklat deltagandet i EU-projekt. Inom EU:s femte ramprogram hade SKB deltagit i 18 olika projekt och svarat för ledningen av tre av dessa.

Det största projektet hade varit etableringen av Prototypförvaret i Äspölaboratoriet. Detta arbete avslutades år 2003 i och med att försöksområdet förseglades. Information samlades nu in från över 1 000 mätinstrument. Parallellt fortsatte modelleringen med jämförelser mellan de prognoser över processer och skeenden som de matematiska modellerna indikerat och den verkliga utvecklingen i Prototypförvaret.

Inom EU:s sjätte ramprogram avsåg SKB komma att medverka i följande projekt:

- Esdred, som utvecklar och testar olika deponeringsmetoder samt metoder för att bygga och försluta ett geologiskt förvar på ett säkert sätt.
- NF-Pro, som undersöker närområdets betydelse för den långsiktiga säkerheten.
- Red-Impact, som ska uppskatta mängder och typer av avfall från separation och transmutation av använt bränsle samt kostnaderna för och även andra aspekter av en sådan hantering.

I Fud-program 2004 konstaterade SKB vidare att Sverige och Finland har ungefär samma förutsättningar när det gäller slutförvaring av det använda kärnbränslet och att båda länderna planerar att använda samma metod. Mot den bakgrunden hade SKB och dess finska motsvarighet Posiva avtalat om ett ingående samarbete. Posiva hade valt plats för det finska slutförvaret och hade år 2004 påbörjat den första etappen av bygge och detaljundersökningar. SKB framhöll vidare att man har ett långtgående samarbete med Posiva när det gäller kapseltillverkning och förslutningsteknik. Den viktigaste gemensamma frågan var att göra tillverkningsprov med olika metoder hos olika leverantörer.

Bilaterala avtal om informationsutbyte fanns mellan SKB och organisationer i åtta länder: Finland, Japan, Kanada, Schweiz, Spanien, Storbritannien, Tyskland och USA. Särskilda avtal om samarbete kring experimenten i Äspölaboratoriet fanns med organisationer i sex länder: Finland, Frankrike, Japan, Kanada, Spanien och Tyskland.

Det internationella samarbetet kring Äspölaboratoriet koordinerades i en International Joint Committee (IJC). För att ge råd och synpunkter på program och resultat ordnades Technical Evaluation Forums (TEF) i samband med IJC:s sammanträden. Det praktiska samarbetet skedde genom att organisationerna hade personal på platsen och deltog i genomförandet av olika experiment. Flera av de deltagande länderna hade startat undersökningar och experiment utöver de som ingick i SKB:s program.

Samarbetet gör det möjligt, underströk SKB, att samla världens främsta experter inom många olika områden för att utbyta idéer och erfarenheter om frågor av betydelse för geologisk deponering av radioaktivt avfall. Ett exempel är det samarbete som genomförs i arbetsgrupper, så kallade Task Forces, med medlemmar från de deltagande organisationerna. Sådana arbetsgrupper fanns för modellering bland annat av grundvattenströmning och av tekniska barriärer. Resultatet av det internationella samarbetet redovisas i en separat rapportserie, Äspö International Progress Reports.

## 10.2 Samarbete med utländska organisationer

I FoU-program 86 /10-1/ redovisade SKB (del III s 61) att man ingått formella samarbetsavtal med följande organisationer i andra länder:

- USA – DOE (Department of Energy).
- Kanada – AECL (Atomic Energy of Canada Ltd).
- Schweiz – NAGRA (Nationale Genossenschaft für die Lagerung Radioaktiver Abfälle).
- Frankrike – CEA (Commissariat à l’Energie Atomique).
- EG – EURATOM.

Tre år senare hade formella samarbetsavtal tillkommit även med:

- Finland – TVO och IVO (de två finska kärnkraftsföretag som fanns vid denna tid).
- (Dåvarande) Sovjetunionen – SCUAE (State Committee on the Utilization of Atomic Energy).
- Japan – INFI (Japan Nuclear Fuel Industries Company, Inc).

Några av dessa avtal har senare ersatts av nya, ibland som en följd av organisatoriska förändringar hos den utländska parten.

Vidare etablerades tidigt informationsutbyte utan formella avtal med organisationer på kärnavfallsområdet i (dåvarande) Västtyskland, Belgien och Storbritannien samt med övriga nordiska länder.

## 10.3 Bränslelakning – Spent Fuel Workshops

En tidig form för informationsutbyte var de så kallade Spent Fuel Workshops som SKB tog initiativ till år 1981. Vid dessa utbyte forskare på ett informellt sätt resultat och erfarenheter kring studier av korrosion av använt kärnbränsle. Ursprungligen kom deltagarna enbart från Sverige, Kanada och USA, men senare inbjöds även deltagare från andra länder. Fram till och med år 1992 hade sedan starten år 1981 anordnats sammanlagt 11 sådana ”workshops” /10-2 s 130/. Denna form av kontakter förekommer fortfarande, med ett till två års mellanrum<sup>52</sup>.

## 10.4 Stripa-projektet

I samband med att KBS-projektet startades 1976/1977 uppstod tankar på att i den nedlagda järnmalmsgruvan i Stripa (15 kilometer nordost om Lindesberg) skapa ett underjordiskt berglaboratorium. Syftet var att i representativ miljö (granitiskt urberg) studera dels den naturliga geologiska barriären, dels pröva olika egenskaper hos föreslagna tekniska barriärer.

Tankarna på detta berglaboratorium väckte på ett tidigt stadium internationellt intresse genom den då unika möjligheten att snabbt kunna starta fältförsök i granitiskt berg på 350–400 meters djup. År 1977 inleddes ett svensk-amerikanskt samarbete, *the Swedish American Cooperative Program (SAC)*, med SKB och Department of Energy i USA som finansierare. Inriktningen på detta samarbete var att utveckla teknik för att mäta vissa egenskaper hos den så kallade Stripa-graniten, bland annat termomekaniska, geofysiska och geokemiska egenskaper. Resultat från detta program, som avslutades under år 1980, redovisades i ett 50-tal rapporter<sup>53</sup>.

Resultaten från SAC-programmet väckte ett bredare internationellt intresse, vilket resulterade i det internationella så kallade *Stripa-projektet*. Detta startade i maj 1980 som ett autonomt projekt med OECD/NEA som huvudman och med SKB som samordnande part. Övriga parter utgjordes av

<sup>52</sup> Upplysning av Fred Karlsson, SKB februari 2010.

<sup>53</sup> Totalt 54 rapporter gavs ut av (dåvarande) SKBF i serien *Swedish-American Cooperative Program on Radioactive Waste Storage in Mined Caverns on Crystalline Rocks – Technical Information Reports*.

institutioner med motsvarande uppgifter i Finland, Frankrike, Japan, Kanada, Schweiz, Spanien, Storbritannien och USA.

Stripa-projektet genomfördes i tre faser under åren 1980–1992. Under de två första faserna bedrevs forskning inom i huvudsak fyra huvudområden:

- Hydrogeologiska undersökningar av Stripagraniten samt spårämnesförsök i enkla och komplexa spricksystem.
- Kemiska undersökningar av grundvattnet i Stripagraniten.
- Teknik för att upptäcka samt karakterisera spricksystem i granit.
- Studier av bentonitlera för användning som återfyllnings- och tätmassa i en sprickfylld berggrund.

Under den tredje fasen inriktades forskningen på tre huvudområden:

- *Site Characterization and Validation*; genom stegvisa undersökningar, följda av en sammanställnings- och prediktionsfas, karakteriserades och slutligen validerades en begränsad bergvolym och dess egenskaper.
- *Improvements of Site Assessment Concepts and Methods*; fortsatt utveckling och förbättring av den teknik och de metoder för undersökning av berg som påbörjades under fas 1 och 2.
- *Sealing of Fractured Rock*; prova och utvärdera långtidsstabiliteten hos material som kan användas för att täta sprickor i berget samt utveckla teknik för att injektera dessa material i bergets sprickor.

Resultaten från Stripa-projektet presenterades successivt i form av ett stort antal forskningsrapporter<sup>54</sup>. En sammanfattande redogörelse publicerades av SKB år 1993 /10-4/. I Fud-program 92 /10-2/ sammanfattade SKB de viktigaste resultaten (se avsnitt 7.3.5 ovan).



**Figur 10-1.** Spårämnesförsök under Stripa-projektet.

<sup>54</sup> Närmare 170 rapporter publicerades under åren 1981–1992 av SKB i serien *Stripa Project Technical Report*.

## 10.5 JSS-projektet

JSS-projektet var beteckningen på ett samarbete som pågick under åren 1982–1987 mellan CRIEPI (Japan), NAGRA (Schweiz) och SKB för studier av radioaktivt glas. Projektet samordnades av SKB och hade två huvudsyften, nämligen att:

- undersöka om radioaktivt glas i något avseende visar ett annat beteende vid kontakt med vatten än ett kemiskt identiskt, icke-radioaktivt glas,
- bygga upp en oberoende databas för det glas, som var tänkt att levereras av Cogéma inom ramen för ingångna uppdragsavtal.

Resultat från JSS-projektet presenterades successivt i ett antal forskningsrapporter<sup>55</sup>. Eftersom det av olika anledningar inte blev aktuellt att slutförvara förglasat uppdragsavfall i Sverige, saknas anledning att i detta sammanhang närmare redovisa resultaten.

## 10.6 URL-projektet

Under 1970-talet beslöt Atomic Energy of Canada Ltd (AECL) – den organisation som vid denna tid i Kanada hade ansvaret för bland annat kärnavfallsfrågorna – att där inrätta ett underjordiskt forskningslaboratorium (*URL, Underground Research Laboratory*) på 450 meters djup i en granitformation. År 1979 bestämdes platsen till sydöstra Manitoba och ett år senare påbörjades geologiska undersökningar och år 1983 schaktsänkning till 250-metersnivån. Syftet med URL-projektet sammanfattades i Fud-program 86 /10-2/ enligt i huvudsak följande (del III s 63):

- Belysa möjligheten att tolka flyg-, mark- och borrhålmätningar.
- Analysera geohydrologiska och geokemiska förhållanden i ostörd berggrund.
- Genomföra ett storskaligt geohydrologiskt avsänkningsexperiment.
- Studera hur bergmassan reagerar på berguttag samt på varierande last och temperatur.
- Prova buffert- och återfyllningsmaterial samt utföra och prova schakt- och borrhålstätning.
- Studera transportfenomen i en sprucken bergmassa.
- Studera slutförvarssystem med flera komponenter vid normala och förhöjda tryck och temperaturer.

År 1987 slöts ett treårigt avtal om samarbete mellan AECL och SKB rörande karakterisering av berget på 240 meters-nivån /10-5 del II s 114/. Genom etableringen av Äspölaboratoriet de närmast följande åren och det internationella deltagandet i det projektet (se avsnitt 10.10) kom SKB:s deltagande i URL-projektet att trappas ned.

## 10.7 INTRACOIN, HYDROCOIN, INTRAVAL och DECOVALEX

År 1980 tog Statens kärnkraftinspektion initiativ till ett internationellt projekt med benämningen *INTRACOIN, International Nuclide TRANsport COde INtercomparison study*. Studien, som slutfördes under år 1984, var inriktad på att jämföra olika datorprogram som beskrev hur radionuklider transporterades i berggrunden. Under projektets gång uppkom tanken att utvidga studierna till att även avse en internationell jämförelse och verifiering av olika datorprogram för beräkning av grundvattenströmning. I projektet, som benämndes *HYDROCOIN, HYDROlogic COde INtercomparison study*, och pågick åren 1984–1987, deltog 14 organisationer (däribland SKB) från elva olika länder. En redovisning av projektet gavs år 1992 ut en i gemensam rapport av SKI och OECD/NEA /10-6/.

De två nämnda projekten fick från år 1987 en fortsättning i form av det internationella projektet *INTRAVAL (akronymen kan uttolkas som INternational TRANsport model VALidation)*<sup>56</sup> som syftade till att validera olika datorprogram som användes för att beräkna nuklidtransporter med grundvattnet

<sup>55</sup> Rapporterna gavs ut av SKB under åren 1983–1988 i serien *JSS Project Technical Reports*.

<sup>56</sup> Upplysning av Bertil Grundfelt, Kemakta februari 2010.

i berggrunden och därför bedömdes ha stor betydelse för arbetet med att göra en långsiktig säkerhetsanalys för ett slutförvar för högaktivt kärnavfall alternativt för använt kärnbränsle. Även detta initiativ kom från Statens kärnkraftinspektion, som under de sex följande åren – under överinseende av OECD/NEA – fick till stånd en samverkan mellan ett fyrtiotal organisationer i 14 länder. SKB deltog aktivt i en tredjedel av de 18 testfall som projektet slutligen kom att omfatta. En sammanfattande rapport från projektet publicerades av OECD/NEA och SKI år 1996 /10-7/.

SKB deltog vidare under första delen av 1990-talet i ytterligare ett internationellt projekt med deltagande från nio länder och som hade initierats av Statens kärnkraftinspektion. Detta projekt benämndes *DECOVALEX (International cooperative projekt for the DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments in nuclear waste isolation)* och syftade till att utveckla så kallade kopplade modeller med syfte att med större realism kunna beskriva förhållandena i närzonen vid ett förvar /10-2 s 131/.

## 10.8 Samarbetsprojekt kring naturliga analogier

Under 1980-talet startades, med bland andra SKB som initiativtagare, ett antal internationella projekt med syfte att undersöka så kallade naturliga analogier. Härmed avses fenomen i naturen som kan belysa bland annat hur och i vilken mån naturlig spridning av radioaktiva ämnen har skett under förhållanden som liknar dem som skulle råda i ett slutförvar för högaktivt kärnavfall eller använt kärnbränsle. I det följande redovisas viktigare sådana projekt där SKB deltog i mer betydande omfattning. Avsnittet avslutas med en sammanställning över ett stort antal naturliga analogier som studerats i olika länder, men med tonvikt på sådana där studierna kommit till användning i SKB:s arbete.

### 10.8.1 Poços de Caldas

Det så kallade Poços de Caldas-projektet pågick under senare delen av 1980-talet och finns redovisat i SKB:s forskningsprogram åren 1986, 1989 och 1992 /10-1 del III s 64, 10-5 del II s 103/ respektive /10-8 s 105–116/. Projektet avsåg studier av naturliga analogier till frigörelse och spridning av radionuklider från ett slutförvar. Undersökningarna var knutna till två närliggande platser i Poços de Caldasområdet i Minas Gerais i Brasilien, nämligen toriumförekomsten i Monto do Ferro och urangruvan Osamu utsumi. Projektet genomfördes med SKB som projektledare och inledningsvis med samarbetspartner från Brasilien, Schweiz och Storbritannien samt senare även från USA.

Fältarbetena avslutades under år 1989, varefter återstod att komplettera analyser, utvärdera resultat och göra modellberäkningar. Projektet var uppdelat i tre delprojekt:

- Bestämning av speciering och kemisk transport av naturliga radionuklider och sällsynta jordartsmetaller i ett sprickflödessystem i kristallint berg under dels oxiderande, dels reducerande betingelser.
- Bildning och rörlighet av kolloidbundna radionuklider i naturliga grundvatten.
- Termisk påverkan på transport av naturliga radionuklider och sällsynta jordartsmetaller.

Projektet resulterade i närmare 30 rapporter kring olika frågeställningar. En översiktlig redogörelse för dessa rapporter och för slutsatserna ingår i det detaljerade FoU-programmet 1993–1998 som utgjorde en underlagsrapport för SKB:s Fud-program 92 /10-8/. Några av de viktigaste slutsatserna sammanfattades där enligt i huvudsak följande (s 105):

- Urandioxid (pechblände) är stabil under naturliga reducerande förhållanden. Den fällt ut efter reduktion. Bildningen respektive upplösningen av en pechbländenodul sker med en hastighet på några centimeter per miljon år.
- Den geokemiska modell som används för att beskriva grundvattnets redoxegenskaper på förvarsdjup är generellt tillämpbar.
- Utförda prediktiva geokemiska modellberäkningar visar att man vanligtvis överskattar lösligheten av radionuklider och spårmetaller. Det går med andra ord bra att beräkna lösligheten utan att riskera underskattningar.

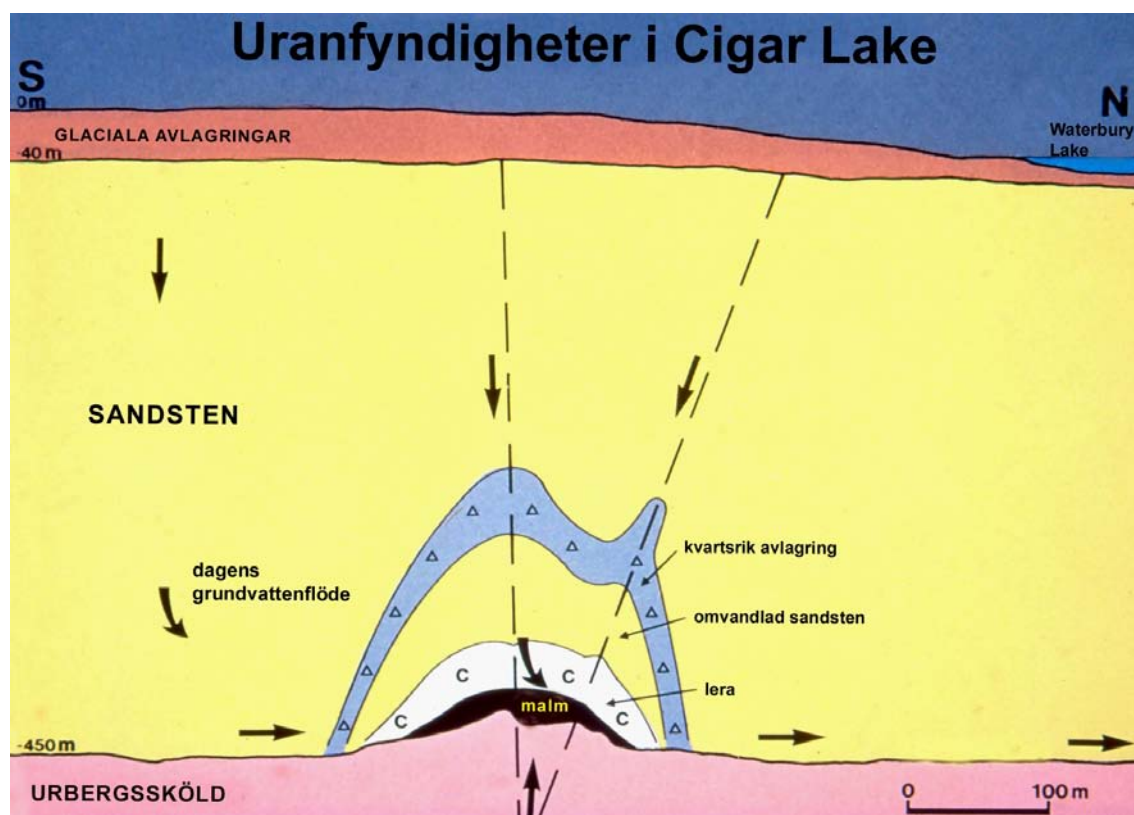
I SKB:s detaljerade program för forskning och utveckling 1999–2004 (Underlagsrapport till Fud-program 98) /10-9/ finns ett kapitel om naturliga analogier (s 169–175). Här redovisades resultatet av nya genomgångar av data som tidigare insamlats under arbetet med bland annat projektet Poços de Caldas.

### 10.8.2 Cigar Lake

Vid Cigar Lake i provinsen Saskatchewan i norra Kanada finns en mycket rik uranfyndighet. Malmkroppen ligger på 430 meters djup och ger inga spår av radioaktivitet på markytan. Den bildades för cirka 1 300 miljoner år sedan, har en uranhalt på i genomsnitt 14 procent, men når på sina ställen upp till 55 procent. Runt malmkroppen finns ett mellan en och 20 meter tjockt lager lera, som på ett effektivt sätt stoppar de radioaktiva ämnena från att sprida sig i omgivningen med grundvattenströmmarnas hjälp. Leran hindrar också vattenflödena från ovanliggande bergmassor. Fyndigheten kan ses som naturens motsvarighet till det slutförvar som SKB planerar att bygga.

Av FoU-program 89 /10-5/ framgick (del II s 105) att diskussioner fördes om ett samarbete mellan SKB och AECL i Canada om Cigar Lake-projektet. I Fud-program 95 /10-10/ rapporterade SKB (s 64) att projektet nu hade avslutats. Den övergripande slutsatsen var att resultaten från projektet gav ”ett starkt stöd åt djupförvarskonceptet”. Som stöd för den övergripande slutsatsen hänvisade SKB till följande förhållanden:

- Redoxförhållandena i det djupa grundvattnet har hållit ner lösligheten för uran och förhindrat dess spridning.
- Den låga hydrauliska konduktiviteten hos leran i och omkring uranmalmen har bromsat frigörelsen av lätttrörliga nuklider.
- Radiolys har haft en måttlig inverkan, trots den långa exponeringen.



**Figur 10-2.** Runt uranmalmskroppen vid Cigar lake finns lera som hindrar de radioaktiva ämnena från att spridas i miljön. Uranmalmskroppen kan ses som naturens motsvarighet till ett slutförvar.



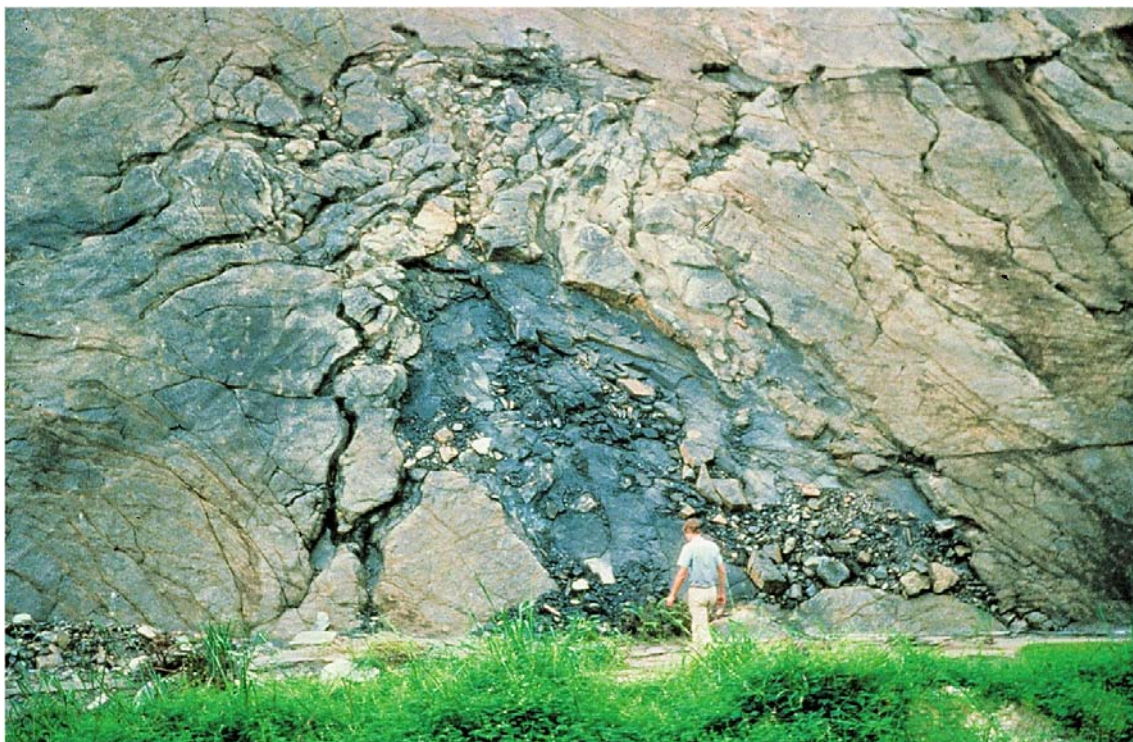
I det detaljerade programmet för forskning och utveckling 1999–2004 (underlagsrapport till Fud-program 98) /10-9/ kunde SKB redovisa resultatet av en grundligare utvärdering av tidigare insamlade data från projektet (s 169–170). Resultatet kan sammanfattas i tre punktsatser:

- Metoderna som utvecklades för att beräkna radiolys av vatten i Cigar Lake-malmen var bättre än de överkonservativa modeller som använts för säkerhetsanalyser tidigare.
- Så kallade hydrotermala beräkningar visar att grafit spelat en viktig roll för bildningen av malmkroppen vid Cigar Lake. Det förklarar varför man inte hittar någon malm vid en närbelägen sjö där förhållandena i övrigt varit likartade.
- Leran som uranmalmen vid Cigar Lake ligger inbäddad i jämfördes med bentonit. Slutsatsen var Cigar Lake-leran fungerat som en effektiv barriär mot vattenflöde och masstransport, trots sina sämre fysikaliska egenskaper jämfört med bentonit.

### 10.8.3 Oklo

Vid Oklo i Gabon (västra Afrika) hade man i början av 1970-talet funnit fossila naturliga reaktorer, vilka hade varit aktiva för cirka två miljarder år sedan. Kärnklyvningar av samma slag som i en reaktor med uranbränsle hade ägt rum och gett upphov till en stor mängd fissions- och aktiveringsprodukter. Dessa fenomen undersöktes med start i början av 1990-talet inom ramen för det så kallade Oklo-projektet, vilket leddes av CEA i Frankrike och finansierades med EG-medel. Projektet var öppet för internationell medverkan. Kretsen av deltagare omfattade bland andra SKB. En översiktlig beskrivning av projektet lämnades bland annat i Fud-program 95 /10-10 s 159–160/.

I en första fas, fram till cirka år 1995, gick projektet ut på att undersöka och beskriva dessa så kallade reaktorzoner, att följa spåren av hur fissionsprodukterna hade rört sig från reaktorzonerna och att ge en hydrologisk beskrivning av områdena som de ser ut i dag.



*Figur 10-3. Två miljarder år gammal reaktor i Oklo i Gabon.*

Utifrån dessa mer grundläggande kunskaper skisserades följande frågeställningar att behandlas under en andra fas av projektet:

- Vilka fissionsprodukter och slutprodukter från kärnreaktionerna finns fortfarande kvar?
- Var i zonen, närområdet eller berget, har de hållits kvar och i vilken form?
- Vilka fördröjningsmekanismer har varit aktiva och hur länge?
- Vilket inflytande har de geologiska händelserna haft på fördröjningarna?
- Vilka transportmekanismer har varit aktiva och i så fall när?

Utöver svar på dessa frågor ställdes även följande mål upp för den andra fasen av Oklo-projektet:

- Ta fram modeller för de processer som är viktiga för funktionen hos ett förvar, det vill säga processer som påverkar material i förvaret eller radionuklidtransport.
- Pröva dessa modeller på data från det väl karakteriserade naturliga systemet och med vederbörlig hänsyn till begränsningar i tid och rum.
- Förbättra kunskapen om de naturliga materialens förmåga att hålla kvar radionuklider.
- Förbättra de databaser som används inom säkerhetsanalysen.
- Identifiera långsamma processer (tusentals år) som skulle kunna påverka transport av radionuklider.

Sveriges inträde i EU skapade möjligheter för SKB att delta som fullvärdig medlem – tillsammans med organisationer med likartade uppgifter i Frankrike och Spanien – i den andra fas av Oklo-projektet som pågick under senare delen av 1990-talet. Översiktliga beskrivningar av projektet ingick i de Fud-program som SKB redovisade åren 1998 och 2001 (10-9 s 171–172 respektive 10-11 s 71). En viktig slutsats var att det inte uppstår någon kriticitet i ett slutförvar för använt kärnbränsle.

#### 10.8.4 Maqarin

Vid Maqarin i norra Jordanien finns aktiva hyperalkaliska källor och i centrala Jordanien fossila sådana. En hel serie av typiska cementmaterial har bildats till följd av vattnets reaktioner med mineral i områdena. SKB deltog – tidvis som samordnare – under början av 1990-talet i ett internationellt projekt tillsammans med organisationer från Kanada, Schweiz och Storbritannien med det övergripande syftet att studera förhållandena som analogi till betong i ett slutförvar. Av Fud-program 95 /10-10/ framgick (s 159) att den del av projektet som leddes av SKB hade som mål att bland annat pröva beräkningsmodeller som kopplar masstransport med kemisk reaktion och används för att bedöma inverkan av cement i ett förvar.

I Fud-program 2001 /10-11/ nämnde SKB att Maqarin-projektet var det enda återstående större internationella projekt (inom området naturliga analogier) där SKB medverkade och som ännu inte var avslutat. I ett avsnitt som handlade om slutförvaring av annat långlivat avfall än använt kärnbränsle redovisades följande slutsatser (s 313):

- Mineral som bildas i cementpasta finns kvar i mer än 100 000 år, förutsatt att de hyperalkaliska förhållandena består.
- Hyperalkaliskt vatten reagerar med bergets mineral. Därvid bildas sekundära mineral som tenderar att sätta igen sprickor och hindra vattenflödet.

#### 10.8.5 Palmottu

Vid sjön Palmottu i Finland finns en uranmineralisering som upptäcktes i slutet av 1970-talet. Den bildar en 1–15 meter tjock brantstående zon som sträcker sig cirka 300 meter ner i berget. Förhållandena studerades under 1980-talet och början av 1990-talet av finska myndigheter – och med SKB som observatör – som en analogi till ett slutförvar för använt kärnbränsle.

I Fud-program 95 /10-10/ presenterades (s 160) planer på att under andra delen av 1990-talet utvidga studierna till ett internationellt projekt med stöd från EU. Målen för detta projekt, som SKB avsåg delta i, var följande:

- Ge en kvantitativ beskrivning av uran-torium-förekomsten (som ligger i granitiskt berg).
- Granska den relativa betydelsen av processer som kontrollerar vattenflöde i kristallint berg.
- Undersöka och modellberäkna inverkan av geokemisk oxidation och reduktion på rörligheten hos radionuklider i kristallint berg.
- Utredda betydelsen av olika mekanismer för retardation av radionuklider.
- Undersöka betydelsen av upprepade nedisningar (istider) på bergets egenskaper.
- Använda kunskap och data från studierna till att utveckla och förfinna modeller som används inom funktionsanalys och säkerhetsanalys.

Projektets andra fas kom också att genomföras och SKB bidrog med bland annat egen utrustning för olika tester och mätningar /10-9 s 173/. I Fud-program 2001 /10-11/ nämndes att Palmottu-projektet hade avslutats, men några slutsatser redovisades inte (s 213).

### 10.8.6 Översikt av naturliga analogier som studerats på olika håll i världen

Av Fud-program 2001 /10-11/ framgick att SKB hade medverkat i en översikt över alla de naturliga analogier som hade studerats på olika håll i världen och om hur dessa analogier hade använts i olika sammanhang (s 209). Uppgifter från den översikten sammanfördes i en omfattande tabell (s 210–212). En förenklad version av denna tabell – med tonvikt på i vilken mån studierna kommit till användning i SKB:s arbete – återges i det följande. Den geografiska belägenheten av ett stort antal analogier illustreras i figur 10-4.



**Figur 10-4.** Naturliga analogier till bränslet, kapseln och bufferten finns över hela världen.

**Tabell 10-1. Sammanställning av naturliga analogier och i vilken utsträckning data från dessa har använts av SKB.**

Analogi, land	Processer och scenarier	Data har använts i SKB:s arbete med säkerhetsanalyser	Modeller har använts i SKB:s arbete med säkerhetsanalyser
<b>Uran</b>			
Alligator Rivers, Australien.	Radionuklidtransport och fördröjning. Grundvattenflöde och transport av lösta ämnen. Transport med kolloider.		
Poços de Caldas, Brasilien.	Utvecklingen av en redoxfront. Transport med kolloider. Löslighet och medfällning av kolloider.	Fältdata har använts för att visa att kolloider endast har begränsad betydelse.	
Cigar Lake, Kanada.	Bränsleupplösning. Radiolys i grundvatten med urandioxid. Processer i en lerbuffert. Radionuklidretention. Inverkan av kolloider och organiska ämnen på transport av radionuklider.	Observationerna har använts för att visa att beräkningarna av radiolytisk oxidation är konservativa.	Test av modeller som behövs för att beräkna lösligheter av radionuklider.
Palmottu, Finland.	Geokemisk kontroll av redoxförhållanden med uranmineral Geokemiska spår av glacialt smältvatten och permafrost. Inverkan av kolloider på transport av radionuklider. Mikrobernas inverkan på geokemin. Matrisdiffusion.	Profiler från matrisdiffusion.	Har använts som exempel på att matrisdiffusion är en process i naturen.
Oklo, Gabon.	Bildning av uransilikat. Inverkan av radiolys på använt bränsle. Frigörelse av radionuklider. Löslighet hos radionuklider. Geokemiska redoxreaktioner. Mikrobernas inverkan.		Test av modeller som behövs för att beräkna lösligheter av radionuklider. Test av modellen M3 som används för att analysera blandning av grundvatten.
Peña Blanca, Mexico.	Frigörelse och transport av uran under omättade förhållanden. Den relativa betydelsen av transport i bergets matris.	Identifierade sekundära faser av betydelse för frigörelse av uran.	
Shinkolobwe, Zaire.	Oxidation av uran. Bildning av sekundära uranfaser.	Omfattande lista på uranylmineral.	
El Berrocal, Spanien.	Transport och retention av radionuklider (speciellt uran). Matrisdiffusion. Löslighet hos radionuklider. Grundvattenflöde och transport.		
Tono, Japan.	Transport och retention av radionuklider (speciellt uran). Inverkan av tektonisk aktivitet (jordbävning) på uranmalm.		
Marysvale, Utah, USA.	Transport och retention av radionuklider.		

Analogi, land	Processer och scenarier	Data har använts i SKB:s arbete med säkerhetsanalyser	Modeller har använts i SKB:s arbete med säkerhetsanalyser
<b>Koppar</b>			
Skeppet Kronan, Sverige.	Kopparkorrosion. Diffusion av kopparjoner i lera.	Gränsvärde för groppfrättningsfaktorn.	Kopparkorrosion.
Åskledarplattor.	Groppfrätning i koppar.	Gränsvärde för korrosionshastighet.	
Keweenaw, Michigan, USA.	Koppars livslängd.		
Hyrkkölä, Finland.	Kopparstabilitet.		
Littleham Cove, Storbritannien.	Kopparkorrosion.		
<b>Järn</b>			
Bühl, Tyskland.	Järnkorrosion.	Gränsvärde för korrosionshastighet.	
Disko Island, Grönland.	Järnkorrosion.	Gränsvärde för korrosionshastighet.	
Arkeologiska fynd och meteoriter.	Järnkorrosion.	Gränsvärde för korrosionshastighet.	
Romerska spikar i Inchtutil, Skottland.	Järnkorrosion.		
<b>Lera</b>			
Dunaroba, Italien.	Lerans isolerande egenskaper.	Lera som barriär för mikrober.	
Gotland, Sverige.	Bentonitstabilitet.	Gräns för illitisering av bentonit.	
Sardinien, Italien.	Bentonitstabilitet.	Gräns för illitisering av bentonit.	
Almeria, Spanien.	Bentonitstabilitet.		
<b>Cement</b>			
Maqarin, Jordanien.	Se redogörelsen ovan för projektet.	Se redogörelsen ovan för projektet.	Se redogörelsen ovan för projektet.

## 10.9 Samarbete med Finland

Forskningssamarbete med Finland etablerades först inom ramen för Stripa-projektet (avsnitt 10.4). Baserat på ett samarbetsavtal med det finska kärnkraftsföretaget TVO påbörjades år 1988 studier av samband mellan lerors mikrostruktur och diffusionsegenskaper. Vidare startades under 1980-talet ett regelbundet utbyte av erfarenheter och teknik för platsundersökningar; finska representanter ingick vidare i de referensgrupper som skapats för bland andra arbetet med det kommande Äspö-laboratoriet. Av FoU-program 89 framgick vidare att TVO och SKB gemensamt sammanställde ”tillgänglig kunskap om betydelsen av istider och relaterade fenomen, för analysen av förvarets säkerhet. Vid sidan av detta organiserade samarbete har ett bra informationsutbyte genomförts beträffande deponeringsmetodik, kapselutformning, säkerhetsanalys och kvalitetsvärdering” /10-5 del II s 115/.

I Fud-program 92 /10-2/ redovisade SKB (s 131) att samarbetet med TVO under de senaste två åren hade resulterat i rapporter om det gemensamma arbetet rörande istider och dess möjliga inverkan på ett slutförvar för använt kärnbränsle, liksom om en gemensam studie rörande tillgänglig redoxkapacitet i kristallint berg. Vidare framhölls att ”ett intensivt samarbete rörande alternativa förvaringsutformningar, kapseltillverkning och materialval” hade genomförts. Modeller av kapslar i skalan 1:4 hade tagits fram gemensamt i demonstrationssyfte. Vidare pågick ett nära informationsutbyte inom området strategi och teknik för geovetenskapliga platsundersökningar.

I mitten av 1990-talet hade de finska kärnkraftsföretagen bildat företaget Posiva, vars uppgifter i väsentliga avseenden liknar SKB:s i Sverige. Samarbetet mellan SKB och Posiva utvecklades successivt till allt fler områden. En indikation på detta är att företaget Posiva nämndes på två olika ställen i Fud-program 98, drygt 20 gånger i Fud-program 2001, drygt 45 gånger i Fud-program 2004 och drygt 60 gånger i Fud-program 2007.

Nedanstående sammanställning – baserad på uppgifter i Fud-programmen 2001, 2004 och 2007 – ger en ganska fullständig bild av vilka ämnesområden som det nära samarbetet med Posiva har omfattat (i viss utsträckning dock även tillsammans med andra utländska organisationer).

#### **Fud-program 2001 /10-11/**

- Inducerad fission (kriticitet) (s 60).
- Korrosion av kopparkapslar (s 89, 90).
- Processer i bufferten: svällning (s 106), osmos (s 112).
- Processer i återfyllningen: lösning/fällning föroreningar (s 137).
- Processer i geosfären: nedbrytning av oorganiskt konstruktionsmaterial (s 167), metanisomsättning (s 170).
- Processer i biosfären: processer i sediment (s 197).
- Instrument och metoder för platsundersökningar: metoder för bergsspänningsmätningar (s 240), hydrogeologiska metoder (s 242), metoder för mätning av bergets transportegenskaper (s 243).
- Studie av om lågalkaliska cementbaserade material kan användas som konstruktionsbetong, sprutbetong och för injektering i ett slutförvar (s 262, 264)).

#### **Fud-program 2004 /10-3/**

- Prov rörande tillverkning av kopparrör, lock och bottenar (s 55).
- Projektering av inkapslingsanläggningen (s 98).
- Teknik för bergguttar (s 115, 116).
- Teknik för tätning av berget med injektering (s 117, 118).
- Teknik för bergförstärkning (s 119).
- Teknik för deponering (s 121).
- Återfyllning och förslutning: material och kompakteringsteknik (s 123, 238).
- Teknik för tätning av undersökningshål (s 125).
- KBS-3 med horisontell deponering (s 127, 128).
- Projektering av slutförvar (s 132).
- Säkerhetsanalys avseende KBS-3 med horisontell deponering (s 146, 155).
- Studier av koncept för tunnelåterfyllning (s 149, 228, 232).
- Studier av bränsleupplösning (s 173, 178, 179).
- Studier kring kapselprocesser: korrosion kopparkapsel (190), spänningskorrosion kopparkapsel (191).
- Studie kring gastransport/gaslösning i bufferten (s 206).
- Studie kring osmos i bufferten (s 216).
- Studier kring injiceringsmaterial (s 265).
- Biosfärsstudier: modellutveckling (s 277), terrestra ekosystem (s 282).
- Studie kring betydelsen av permafrost (s 298).

### **Fud-program 2007 /10-13/**

- Alternativ förvarsutformning – KBS-3H (s 47, 127, 203–207).
- Samarbete kring safeguardfrågor vid inkapsling och slutförvaring (s 98).
- Testning av metoder för förslutning av undersökningsborrhål (s 126).
- Studier av olika system för bergkartering av tunnlar och deponeringshåll (s 133).
- Utrustning för hydrotester (s 136).
- Studier av cementbaserade injekteringsmedel vid tätning av sprickor i en slutförvarsanläggning (s 139. 141).
- Borrning och sprängning av bergutrymmen (s 145).
- Borrning av deponeringshåll (s 147).
- Bufferten: metoder för tillverkning av block och ringar (s 151). metoder för installation av block och ringar (s 154).
- Kapseln: hantering av kapseln i slutförvaret (s 185).
- Återfyllning: studier av återfyllningskoncept avseende tunnlar. bland annat pressning och installation av återfyllningsblock (s 189. 191). studier av installation av pelletar eller granuler (s 192). studier av installation av temporär plugg i deponeringstunnlar (s 194), studier av processer i återfyllningen (s 312).
- Studier kring förslutning av borrhål (s 197, 198).
- Säkerhetsanalys avseende KBS-3H (s 211).
- Studier kring hydrologi och hydrokemi i anslutning till en inlandsis (s 238).
- Studier kring permafrostens betydelse för hydrologi och grundvattensammansättning (s 242).
- Studier kring bränsleupplösning (s 253).
- Kapselprocesser: studier av korrosion i gjutjärnsinsats (s 264), studier av korrosion i kopparkapsel (s 266), studier av spänningskorrosion i kopparkapsel (s 267).
- Processer i geosfären: studier av värmetransport (s 328), studier av grundvattenströmning (s 331, 332), studier av erosion (s 343), studier av mikrobiella processer (s 351), studier av nedbrytning av oorganiskt konstruktionsmaterial (s 351), studier av radionuklidtransport (s 359).
- Biosfären: modellutveckling (s 364), studier kring terrestra ekosystem (s 371).

### **10.10 Internationell samverkan inom ramen för Äspölaboratoriet**

Verksamheten vid Äspölaboratoriet rönt tidigt stort internationellt intresse. I Fud-program 95 /10-10 s 181/ kunde SKB redovisa avtal om deltagande med följande:

- Atomic Energy of Canada Ltd (AECL).
- Power Reactor & Nuclear Fuel Development Corporation (PNC, Japan).
- Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI, Japan).
- Agence National Pour la Gestion des Dechets Radioactifs (ANDRA, Frankrike).
- Teollisuuden Voima Oy (TVO, Finland).
- UK Nirex (Storbritannien).
- United States Department of Energy (USDOE).
- Nationale Genossenschaft für die Lagerung von Radioaktiver Abfälle (Nagra, Schweiz).
- Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Technik (BMBF, Tyskland).

Det praktiska samarbetet skedde genom att organisationerna hade personal på plats i Äspö och deltog i genomförandet av olika experiment. De utländska organisationerna hade också möjlighet att företa experiment som enbart hade intresse för den egna organisationen.

En betydande del av samarbetsprojekten rörde modeller för grundvattenströmning och radionuklidtransport. Resultat från det internationella samarbetet redovisades i en separat rapportserie, Äspö International Cooperation Reports.

Innehållet i de redogörelser för den internationella samverkan inom ramen för Äspölaboratoriet som ingår i SKB:s forskningsprogram åren 1998 och 2001 (/10-9 s 168/ och /10-12 s 167/ respektive /10-11 s 231/) var i stort sett identiskt med vad som redovisats i Fud-program 95. Kretsen av deltagande organisationer hade år 1998 utvidgats till att omfatta även det spanska Empresa Nacional de Residuos Radioactivos (ENRESA) samtidigt som Posiva Oy hade ersatt TVO som finsk samarbetspartner. Numera deltar, förutom SKB, åtta organisationer från sju länder: Finland, Frankrike, Japan, Kanada, Schweiz, Tjeckien och Tyskland.

### **10.11 Samarbete med The Welding Institute i England**

SKB började år 1982 undersöka hur locket till den då tio centimeter tjocka kopparkapseln skulle svetsas fast. Vid denna tid identifierades elektronstrålesvetsning som den enda möjliga svetsmetoden. I samarbete med The Welding Institute (TWI) i England utvecklade SKB en teknik som med hjälp av en elektronstråle i reducerat tryck smältsvetsade samman lock och rör (eng. Electron Beam Welding, EBW). När kopparkapselns tjocklek senare reducerades till fem centimeter öppnades möjligheten att även använda andra svetsmetoder.

TWI tillverkade en prototypmaskin för svetsning med elektronstråle. Maskinen levererades till SKB:s Kapsellaboratorium i Oskarshamn år 1997, installerades under år 1998 och togs i bruk året därpå. Detta innebar en start för utvecklingsarbetet med svetsning av kopparlock och kopparrör i full skala.

Samtidigt hade en ny metod, friktionssvetsning (eng. Friction Stir Welding, FSW), för svetsning av huvudsakligen aluminiumlegeringar uppfunnits, patenterats och utvecklats av TWI. I slutet av 1990-talet utvecklade SKB och TWI vid TWI:s anläggningar en enkel prototypmaskin för provsvetsningar av kopparringar. Proven var så lovande att SKB beställde en svetsmaskin för fullskaleprov av ESAB AB i Laxå. Den maskinen installerades år 2003 på Kapsellaboratoriet.

Översiktliga redovisningar för utvecklingsarbetet kring svetsning av locket på kapseln och samarbetet med TWI finns i /10-13 s 172–180/ och /10-14/.



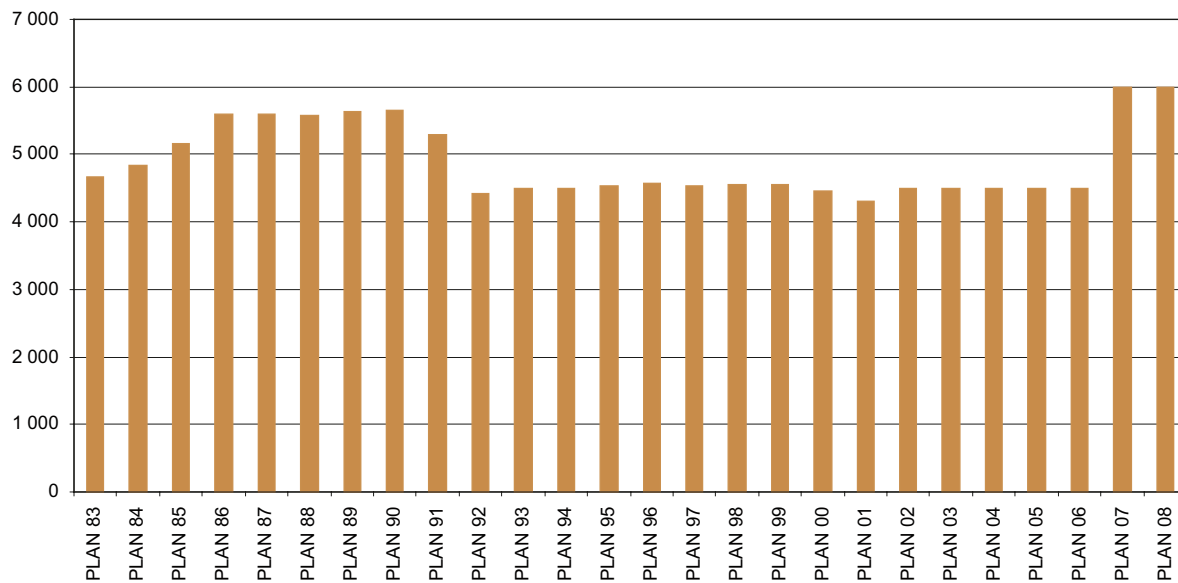
## Sammanställning av uppgifter om beräknat antal bränsleelement och kapslar vid olika tidpunkter

Källa: SKB:s PLAN-rapporter åren 1983–2008.

### Beräknat antal bränsleelement och antal kapslar vid olika tidpunkter

Källa	Antal bränsleelement			Antal kapslar		Data bränslekapsel Vikt BWR-kapsel				Bränslefyllning	
	BWR	PWR	Övrigt	Bränsle	HLW-glas	Summa	Diam	Höjd	Vikt		Typ
PLAN 83	27 500	3 300		4 670	730	5 400	0,80	4,50	22,0	Cu-Pb-fyllning	8 BWR / 2 PWR + 2 BWR
PLAN 84	28 420	3 430		4 840	730	5 570	0,80	4,50	22,0	Cu-Pb-fyllning	8 BWR / 2 PWR + 2 BWR
PLAN 85	30 157	3 689		5 153	550	5 703	0,80	4,50	22,0	Cu-Pb-fyllning	8 BWR / 2 PWR + 2 BWR
PLAN 86	32 708	3 924		5 600	0	5 600	0,80	4,50	22,0	Cu-Pb-fyllning	8 BWR / 2 PWR + 2 BWR
PLAN 87	32 764	3 824		5 600	0	5 600	0,80	4,50	22,0	Cu-Pb-fyllning	8 BWR / 2 PWR + 2 BWR
PLAN 88	32 673	3 816		5 575	0	5 575	0,80	4,50	22,0	Cu-Pb-fyllning	8 BWR / 2 PWR + 2 BWR
PLAN 89	32 927	3 807		5 637	0	5 637	0,80	4,50	22,0	Cu-Pb-fyllning	8 BWR / 2 PWR + 2 BWR
PLAN 90	32 972	3 865		5 659	0	5 659	0,80	4,50	22,0	Cu-Pb-fyllning	8 BWR / 2 PWR + 2 BWR
PLAN 91	33 280	3 961		5 295	0	5 295	0,80	4,50	22,0	Cu-Pb-fyllning	8 BWR / 2 PWR + 2 BWR
PLAN 92	33 394	3 858	641	4 419	0	4 419	0,80	4,46	22,6	Cu-Pb-fyllning	12 BWR / 4 PWR
PLAN 93	33 000	3 900	641	4 500	0	4 500	0,88	4,89	16,4	Fe-cyl	12 BWR / 4 PWR
PLAN 94	32 900	3 350	641	4 500	0	4 500	0,89	4,94	16,77	Fe-cyl	12 BWR / 4 PWR
PLAN 95	33 000	3 840	641	4 530	0	4 530	0,89	4,94	16,77	Fe-cyl	12 BWR / 4 PWR
PLAN 96	39 300	5 000	641	4 565	0	4 565	1,05	4,83	25,1	Fe-insats	12 BWR / 4 PWR
PLAN 97	39 200	4 900	641	4 535	0	4 535	1,05	4,83	25,1	Fe-insats	12 BWR / 4 PWR
PLAN 98	39 500	4 900	641	4 555	0	4 555	1,05	4,83	25,1	Fe-insats	12 BWR / 4 PWR
PLAN 99	39 500	4 900	641	4 555	0	4 555	1,05	4,83	25,1	Fe-insats	12 BWR / 4 PWR
PLAN 00	38 400	4 900	641	4 465	0	4 465					12 BWR / 4 PWR
PLAN 01	37 850	4 460	640	4 300	0	4 300	1,05	4,835	24,6	Fe-insats	12 BWR / 4 PWR
PLAN 02	39 430	4 930	640	4 500	0	4 500	1,05	4,835	24,6	Fe-insats	12 BWR / 4 PWR
PLAN 03	39 730	4 900	640	4 500	0	4 500	1,05	4,835	24,6	Fe-insats	12 BWR / 4 PWR
PLAN 04	39 460	4 950	640	4 500	0	4 500	1,05	4,835	24,6	Fe-insats	12 BWR / 4 PWR
PLAN 05	38 740	5 000	640	4 500	0	4 500	1,05	4,835	24,6	Fe-insats	12 BWR / 4 PWR
PLAN 06	38 740	5 000	640	4 500	0	4 500	1,05	4,835	24,6	Fe-insats	12 BWR / 4 PWR
PLAN 07	49 450	6 240	640	6 000	0	6 000	1,05	4,835	24,6	Fe-insats	12 BWR / 4 PWR
PLAN 08	52 010	6 570	640	6 000	0	6 000	1,05	4,835	24,6	Fe-insats	12 BWR / 4 PWR

Antal kapslar



### Behandlingen av frågor om systemanalys

#### Bakgrund

I december 1996 beslutade regeringen – med anledning av SKB:s Fud-program 95 – att SKB skulle ”i sitt fortsatta forsknings- och utvecklingsarbete genomföra en systemanalys av hela slutförvarssystemet (inkapslingsanläggning, transporter och slutförvar)”. Som redovisats i avsnitt 7.10.7 skulle denna systemanalys ”medge en samlad säkerhetsbedömning av hela slutförvarssystemet inklusive hur principer för säkerhet och strålskydd praktiskt tillämpas i säkerhetsanalyserarbetet. I systemanalysen skall vidare ingå en redovisning av de alternativa lösningar till KBS-3-metoden som SKB redovisat i tidigare forskningsprogram eller som aktualiserats i internationella studier. Även olika varianter av KBS-3-systemet bör redovisas. I redovisningen skall vidare ingå konsekvenserna för det fall att det planerade slutförvaret inte alls kommer till stånd (nollalternativet), liksom det pågående internationella arbetet med transmutation.” /B-1/.

Beslutet fattades mot bakgrund bland annat av att Statens kärnkraftinspektion i sitt granskningsyttrande till regeringen över Fud-program 95 /B-2/ uttalat att ”det krävs en samlad utvärdering av hela förvarssystemet (systemrapport) som bygger på den detaljerade säkerhetsrapporten för inkapslingsanläggning, djupförvar och transporter. Det skall vidare ingå alternativredovisning inklusive nollalternativ samt förutsättningarna för ett eventuellt återtagande och torrlagring av det deponerade bränslet. Systemrapporten skall visa på kopplingar och avvägningar mellan de olika delarna av förvarssystemet med fokus på kapselns funktion.” /B-2 bilaga 1 s 2/.

#### SKB:s åtgärder fram till år 2007

SKB redovisade i Fud-program 98 /B-3 s 53/ dels att man hade ”gjort en systemanalys som ger en samlad genomgång av hela djupförvarssystemet (mellanlager, inkapslingsanläggning, transporter och djupförvar)”, dels att man låtit utreda konsekvenserna av det så kallade nollalternativet. I detta sammanhang redovisade SKB även hur man uppfattade syftet med systemanalys:

”Huvudsyftet med systemanalysen är att visa att driftsäkerheten är uppfylld i alla led. Ett annat syfte är att visa att systemet ger en rimlig balans mellan åtgärderna vid olika steg i hanteringen och den resulterande långsiktiga säkerheten. Det gäller t ex att finna en balans mellan de åtgärder som vidtas under drift och ger upphov till stråldos till personalen och de förbättringar av den långsiktiga säkerheten som åtgärderna eventuellt ger upphov till. Analysen ska också visa de samband som finns mellan de olika stegen i systemet och hur sambanden påverkar säkerheten i olika skeden. Uppenbara samband finns t ex mellan kvalitetskontrollen vid tillverkning av tomma kapslar, tillförlitligheten vid förslutning av kapslarna, risken för skador vid hantering och transport av kapslarna och kapslarnas långsiktiga funktion i djupförvaret. Den långsiktiga säkerheten har också samband med hur väl driften av djupförvaret sköts.

Systemanalysen syftar även till att redovisa graden av flexibilitet i systemet då det gäller tekniska detaljutformningar, tidsplaner, lokalisering eller ändrad inriktning för avfallsprogrammet. Analysen ska också belysa hur olika variationer i systemutformning påverkar säkerheten på kort och lång sikt. Påverkan i form av bland annat andra miljökonsekvenser och hushållning med naturresurser tas också upp.”

Den systemanalys som SKB hade tagit fram hade titeln *Systemredovisning av djupförvaring enligt KBS-3-metoden* /B-4/. Syftet var (s ix) att:

- Tydliggöra handlingsfriheten i systemet beträffande tidsplaner, lokalisering av anläggningar och teknisk utformning av systemet.
- Visa att säkerheten kan uppfyllas i alla steg av systemet, och att det råder en balans mellan långsiktig och kortsiktig säkerhet.
- Klargöra vilka kopplingar som kan finnas mellan de olika stegen i systemet och hur dessa kopplingar påverkar säkerheten i olika led.

Den mer exakta innebörden av kravet på en systemanalys kom under de följande åren att bli föremål för åtskilliga diskussioner med bland annat de båda tillsynsmyndigheterna Statens kärnkraftinspektion och Statens strålskyddsinstitut. I en särskild rapport år 1999, *SKI:s och SSI:s granskning av SKB:s systemredovisning i Fud-program 98 /B-5/*, redovisade de båda myndigheterna sin syn på vad den systemanalys som efterfrågades borde innehålla. Som ledning för SKB:s fortsatta arbete uttalade de båda myndigheterna bland annat följande (s 12):

”SKI och SSI ser det som angeläget att SKB under den närmaste perioden i dialog med myndigheterna utreder och definierar sin syn på systemanalysen. I det arbetet bör SKB klargöra hur man avser att redovisa motiveringar till metodvalet och val av varianter till huvudalternativet. Det bör också framgå hur detaljerat man avser redovisa konsekvenser av gjorda val och hur handlingsfriheten inom olika delsystem påverkar varandra och systemet som helhet samt hur denna förändras med tiden.

En fördjupad och breddad historik över metodvalet och granskningen av detta bör publiceras i en separat rapport som förklarar skeendet på ett pedagogiskt sätt för breda kretsar i samhället. Även den internationella utvecklingen bör på liknande sätt presenteras i en separat rapport.

SKB bör senast i samband med val av platser för platsundersökningar:

- Redovisa en systemanalys omfattande en samlad bedömning av strålskydds- och säkerhetsaspekterna för de aktuella strategierna för omhändertagande av det använda kärnbränslet (upparbetning, transmutation, övervakad lagring, geologisk slutförvaring) liksom av utvalda alternativa metoder inom dessa strategier. Det skall tydligt framgå av redovisningen på vilka grunder valet gjorts av de olika alternativen.
- Redovisa en fullständig systemanalys av huvudalternativet.”

Inför framtagandet i december 2000 av den av regeringen begärda kompletteringen av Fud-program 98, den så kallade Fud-K, hade SKB tagit fram ytterligare två rapporter i ämnet. Den ena, *Systemanalys – Val av strategi för omhändertagande av använt kärnbränsle /B-6/* kan sägas behandla frågan på en mer övergripande nivå. I den andra, *Systemanalys – Omhändertagande av använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden /B-7/*, var inriktningen att mer detaljerat beskriva det system som KBS-3-metoden utgör.

I Fud-K /B-8/ framhölls att en systemanalys innebär att man går igenom ”olika alternativ för att lösa ett problem och jämför dem mot definierade krav. Syftet är att finna den bästa lösningen på problemet”. Tre begrepp användes och definierades enligt följande (s 47):

*Strategi:* Ett allmänt tekniskt tillvägagångssätt för att lösa det aktuella problemet (till exempel geologisk förvaring).

*System:* En uppsättning samverkande anläggningar med mera som krävs för att praktiskt tillämpa en strategi (till exempel mellanlager, transportfordon, hamn, kapselfabrik, inkapslingsanläggning, djupförvar).

*Systemvariant:* Alternativa utformningar av de anläggningar med mera som tillhör ett system.

SKB konstaterade i detta sammanhang att systemanalysen hade genomförts i tre steg. Med utgångspunkt från en sammanställning av alla gällande krav på hanteringen av använt kärnbränsle beskrevs och jämfördes först tänkbara strategier för hantering av använt kärnbränsle (s 47–66). För den strategi som SKB hade valt utreddes därefter vilket system som bäst uppfyllde kraven (s 67–80). Slutligen gjordes en analys av det valda systemet (KBS-3) med dess olika systemvarianter (s 81–90).

Regeringsbeslutet i november 2001 med anledning av Fud-K innehöll ett uttalande av innebörd att regeringen ”förutsätter” att SKB i samråd med Kärnkraftinspektionen och Strålskyddsinstitutet ”kommer fram till hur och när förnyade redovisningar av system- och säkerhetsanalyser skall redovisas” /B-9/. Detta resulterade i att en serie samråd med fokus på system- och säkerhetsanalyser initierades mellan SKB och de två nämnda myndigheterna samt med Oskarshamns och Östhammars kommuner som observatörer. Dessa så kallade SSA-samråd (SSA – System och SäkerhetsAnalys) kom att omfatta ett tiotal möten.

Av det i september 2001 presenterade Fud-program 2001 /B-10/ framgick att SKB planerade att under de kommande åren genomföra ytterligare två ”systemanalyser” (s 23). Den första avsåg SKB lämna in i samband med ansökan för inkapslingsanläggningen och behandla utformning och lokalisering av den anläggningen. Den andra systemanalysen skulle enligt programmet ”lämnas in i samband med tillståndsansökan för detaljundersökning och behandlar utformningen av djupförvaret på de platser som är aktuella för platsundersökningar samt konsekvenserna av en lokalisering av djupförvaret till dessa”.

Beslutet i mars 2002 av fullmäktige i Oskarshamns kommun att tillåta SKB att inleda platsundersökningar i kommunen var förenat med ett antal villkor. Ett av dessa (nr 6) gällde behovet av en systemanalys och hade följande lydelse /B-11 s 233, B-12 s 39/:

”6. SKB:s systemanalys har ännu inte nått upp till myndigheternas krav och kommunens förväntningar, eftersom den mer har varit en redovisning av systemets olika delar än en verklig analys av helheten. För Oskarshamn måste SKB:s kommande redovisningar omfatta ett helt slutförvarssystem med CLAB, inkapsling, transporter och slutförvar, med alla kopplingar dem emellan.”

I regeringsbeslutet i december 2002 med anledning av Fud-program 2001 behandlades inte frågan om behovet av en systemanalys /B-13/. Någon separat belysning av frågor kring systemanalys ingick inte heller i Fud-programmen 2004 och 2007 /B-14, B-15/. Däremot nämndes i Fud-program 2004 att den planerade ansökan enligt kärntekniklagen avseende en inkapslingsanläggning skulle innehålla bland annat ”en heltäckande systemanalys för inkapsling, transporter och djupförvar” /B-14 s 33/. På annan plats i Fud-program 2004 talades om att det till i nämnda ansökan skulle komma att redovisas ”en systemanalys av KBS-3” (s 98) . I den till Fud-program 2004 fogade handlingsplanen nämndes (s 370) att SKB, under återstoden av platsundersökningskedet planerade:

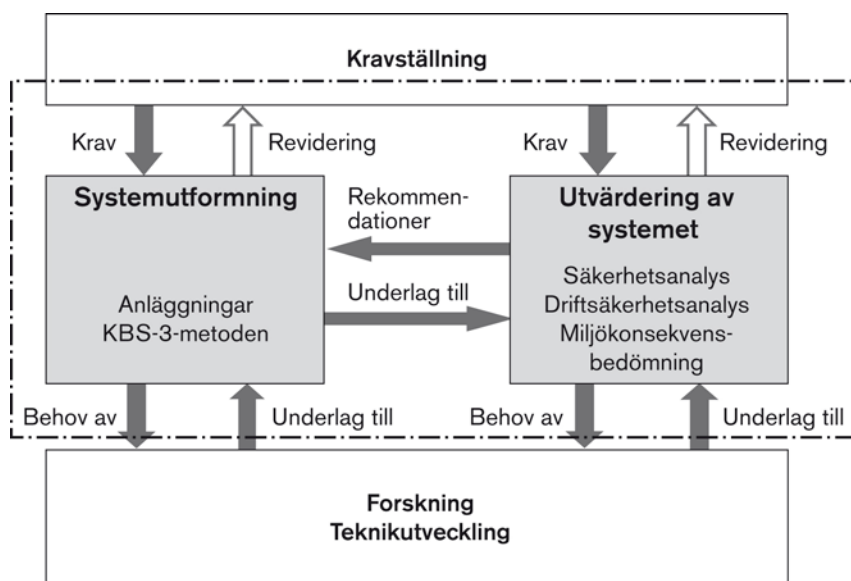
”redovisningar av reviderade systemanalyser vid två tillfällen. Den första, benämnd Sysinka, kommer att ingå i underlaget för tillståndsansökan för inkapslingsanläggningen. Vid sidan av Clab och inkapslingsanläggningen redovisas då det underlag som finns framme beträffande djupförvaret. Den andra systemanalysen, benämnd Sysdjup, biläggs på motsvarande sätt ansökan för djupförvaret, varvid det kompletta systemet med valda lokaliseringar redovisas.”

År 2006 sammanställde SKB en rapport med titeln *Systemanalys KBS-3-systemet – beskrivning med viktiga vägval under systemets utveckling samt validering av kapseltillverkning och inkapsling. Lägesredovisning 2006* /B-16/. I den rapporten ingår ett kortare avsnitt med rubriken ”Systemanalysen i SKB:s verksamhet” (s 21–22). Här framhölls bland annat att syftet med systemanalysen kan variera, alltifrån att utvärdera systemets totala effektivitet till att analysera enskilda prestationsmått såsom säkerhet, begränsningar i miljöpåverkan, produktkvalitet etc. Likaså kan metoden för genomförande av en systemanalys variera. I ett utvecklingsarbete av den omfattning och med den tidsutdräkt som KBS-3-systemet har ”kommer systemanalysen för systemet i sin helhet att utgöras av själva den iterativa arbetsmetod som tillämpas”. Denna iterativa arbetsmetod illustrerades enligt figur B2-1 och kommenterades som följer:

”Utvecklingen drivs av samspelet mellan de fyra huvudkomponenterna *kravställning, systemutformning, utvärdering* och *forskning/teknikutveckling*. Den iterativa återkopplingen mellan framför allt systemutformning och utvärdering kan här sägas utgöra systemanalysen för helheten så som SKB tolkar den. Detta är i figuren markerat genom en streckprickad inramning. Även en del av kravställningen utgör ett objekt i denna systemanalys och faller innanför ramen. Det ska dock noteras att en betydande del av kravställningen utgörs av övergripande krav som relativt KBS-3-systemet ska ses som yttre förutsättningar, till exempel gällande lagstiftning, vilka inte kan eller ska påverkas av systemets utformning.”

I rapporten konstaterades vidare att det med vissa intervall hade gjorts dokumenterade avrapporteringar av de systemanalyser som hade genomförts. Dessa illustrerades enligt figur B2-2, som återgav titelsidorna i såväl de ovan nämnda rapporterna som ytterligare några.

Frågor om system- och säkerhetsanalys diskuterades i maj 2007 vid samråd om system- och säkerhetsanalyserna (SSA-samrådsmöte) enligt det tidigare nämnda regeringsbeslutet från år 2001 mellan företrädare för SKB, Kärnkraftinspektionen, Strålskyddsinstitutet samt Oskarshamns och

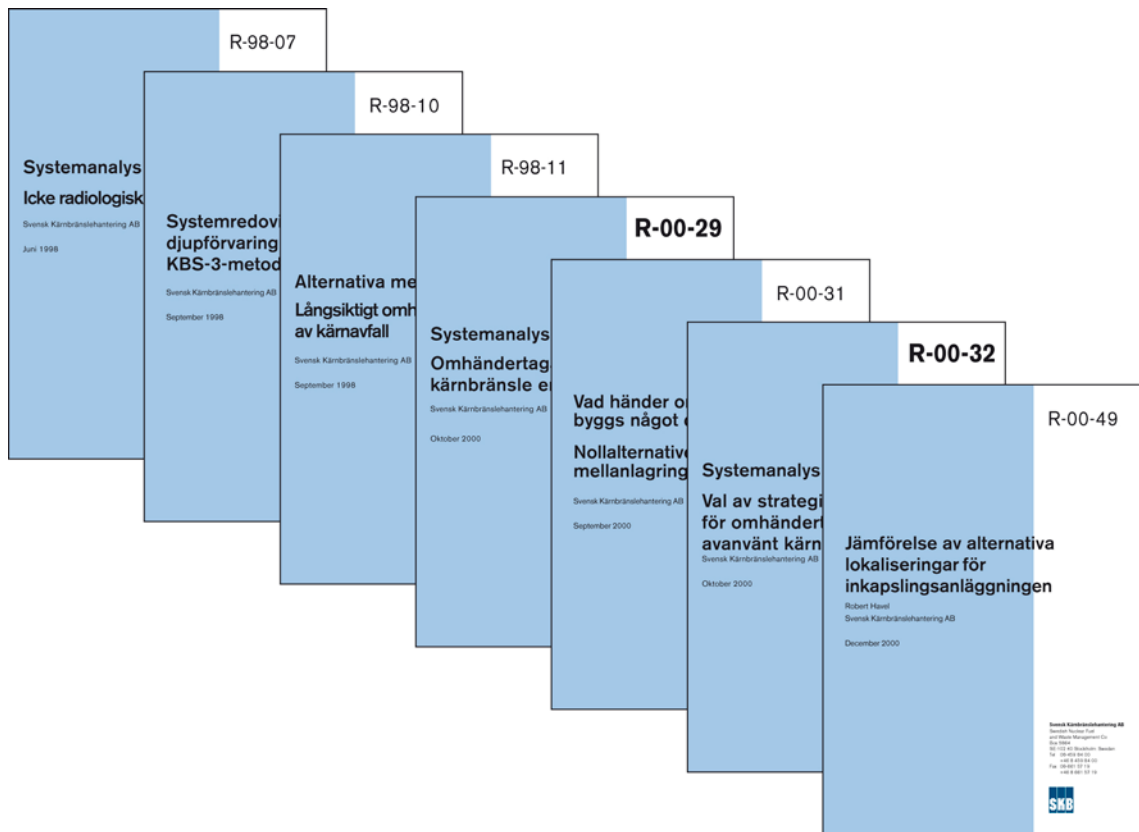


**Figur B2-1.** Illustration av det iterativa arbetet med utformningen av KBS-3-systemet. Den streckprickade ramen markerar de arbetsmoment som kan sägas sammantaget representera systemanalysen i SKB:s utvecklingsarbete.

Östhammars kommuner. Vid mötet framkom att de båda myndigheterna nu inte längre såg något behov av att SKB tog fram en separat ”systemanalys”. Det främsta skälet var att de delar som skulle ha ingått i en sådan kommer att redovisas i andra dokument – bland annat miljökonsekvensbeskrivningen samt olika säkerhetsanalyser – som ska ingå i de ansökningar beträffande slutförvarssystemet som SKB numera har aviserat till år 2011. Ett bidragande skäl var vidare att frågor kring strukturen av ansökningarna kommer att vara föremål för fortsatta samråd mellan SKB och myndigheterna /B-17/.

Genom att i april 2008 anordna en utfrågning om systemanalys gav Statens råd för kärnavfallsfrågor tillfälle för både SKB, tillsynsmyndigheterna och Oskarshamns kommun att ytterligare utveckla sin syn på hithörande frågor. I den rapport från utfrågningen som Kärnavfallsrådet publicerade /B-12/ angavs det konkreta syftet med utfrågningen vara ”dels att bidra till kunskapsuppbyggnad om systemanalysen som metod och hur den kan användas för att analysera kärnavfallsproblematiken, dels att klargöra hur SKB ämnade uppfylla de krav som tidigare har ställt på en systemanalys” (s 3).

Som en del av utfrågningen gavs SKB tillfälle att bidra med två presentationer som tillsammans med den efterföljande diskussionen har sammanfattats i den ovan nämnda rapporten (s 25–37). Den ena presentationen fokuserade på helhetsbilden av slutförvaret och den andra belyste hur SKB avsåg utforma sina kommande ansökningar. Av presentationerna framgick att alla frågor som tidigare diskuterats inom ramen för systemanalys kommer att redovisas i dokument som kommer att ingå i ansökningshandlingarna. Vid utfrågningen deklarerade Oskarshamns kommun att man, mot bakgrund av vad som framkommit vid samrådet i maj 2007, numera inte längre vidhöll det tidigare nämnda villkoret från år 2002 om en separat systemanalys (s 39–42).



*Figur B2-2. Ett antal dokument som redovisar systemanalyser i olika skeden.*

# Referenser

Publikationer utgivna av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) kan hämtas på [www.skb.se/publikationer](http://www.skb.se/publikationer).

## Kapitel 1

- 1-1 **Atomkommittén, 1946. 1**, Betänkande rörande preliminära organisatoriska åtgärder för atomenergiforskningens främjande. Stockholm.
- 1-2 **Stencil I 1971:1**. Upparbetning av kärnbränsle. Studie av arbetsgrupp inom industri-, jordbruks- och civildepartementen.
- 1-3 **Proposition 1972:57**. Angående Sveriges försörjning med kärnbränsle.
- 1-4 **NU 1972:29**. Näringsutskottets betänkande i anledning av propositionen 1972:57 angående Sveriges försörjning med kärnbränsle jämte motioner.
- 1-5 **Riksdagens protokoll 1972:128**.
- 1-6 **SOU 1976:30**. Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall. Betänkande av Aka-utredningen, Del I.
- 1-7 **Proposition 1973:1**. Angående statsverkets tillstånd och behov under budgetåret 1973/1974, Bilaga 15 (Industridepartementet).
- 1-8 **NU 1973:49**. Näringsutskottets betänkande i anledning av propositionen 1973:1 i vad avser anslag till energiförsörjning m m, propositionen 1973:112 angående vissa åtgärder på olje- och gasområdet jämte motion samt motioner angående resurspolitik och energiförsörjning.
- 1-9 **Proposition 1975:30**. Om energihushållningen, m m.
- 1-10 **Ds I 1974:6**. Kärnkraftens högaktiva avfall. Lägesrapport från Aka-utredningen.
- 1-11 **NU 1975:30**. Näringsutskottets betänkande med anledning av proposition 1975:30 om energihushållningen, m m jämte motioner.
- 1-12 **PRAV, 1977–1981**. Diverse handlingar från Programrådet för radioaktivt avfall [bland annat två verksamhetsberättelser täckande perioden november 1975–juni 1979 samt broschyren ”Berggrundsundersökningar – Fältstudier av de geologiska förutsättningarna för slutförvaring av radioaktivt avfall” (mars 1981). I Riksarkivet.
- 1-13 **SOU 1976:31**. Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall. Betänkande av Aka-utredningen, Del II.
- 1-14 **U.S.AEC, 1974**. High level radioactive waste management alternatives. US Department of Commerce, National Technical Information Service, Springfield, Virginia (“WASH 1297”).
- 1-15 **Riksdagens protokoll 1976/77:7**.
- 1-16 **Proposition 1976/77:53**. Förslag till lag om särskilt tillstånd att tillföra kärnreaktor kärnbränsle.

**Utöver i kapitel 1 angivna referenser ligger bland annat följande litteratur till grund för framställningen:**

**Andersson-Skog L, 2005**. Från ren energi till farligt avfall: kärnkraftsfrågans reglering i det svenska välfärdsbyggandet: en ekonomisk-historisk översikt. I: Andrén M, Strandberg U (red). Kärnavfallens politiska utmaningar. Hedemora: Gidlund.



**Andersson-Skog L, Söderberg O, 2007.** Kärnavfallsfrågan och samhällsutvecklingen: några perspektiv. I: Tid för slutförvaring av kärnavfall: samhälle, teknik och natur: en fördjupning till KASAM:s rapport om kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2007. Rapport 2007:3, Statens råd för kärnavfallsfrågor.

**Anshelm J, 2000.** Mellan frälsning och domedag: om kärnkraftens politiska idéhistoria i Sverige 1945–1999. Stockholm: Symposion.

**Anshelm J, 2006.** Från energiresurs till kvittblivningsproblem: frågan om kärnavfallens hantering i det offentliga samtalet i Sverige, 1950–2002. SKB R-06-113, Svensk Kärnbränslehantering AB. (Rapporten har senare bearbetats och publicerats som Bergsäkert eller våghalsigt? Frågan om kärnavfallens hantering i det offentliga samtalet i Sverige 1950–2002. Lund: Arkiv.)

**Foyer L, 1995.** Vad har statsmakterna bestämt om kärnkraft och kärnavfall? I: Kunskapsläget på kärnavfallsområdet: rapport 1995. Stockholm: Fritzes (Statens offentliga utredningar 1995:50).

**Industridepartementet, 1970.** Svensk atomenergipolitik: motiv och riktlinjer för statens insatser på atomenergiområdet 1947–1970. Stockholm: Allmänna förl.

**Kjellman S, 2000.** Det svenska kärnavfallsprogrammet. Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Johansson R, 2006.** Lokalisering av slutförvaret för använt kärnbränsle: en översikt av trettio års arbete. SKB R-06-42, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Larsson A, Karlsson L-G, 1996.** Hantering av radioaktivt avfall i Sverige före 1980 samt av radium och radiumavfall fram till 1996. SKI Rapport 96:78, Statens kärnkraftinspektion.

**Larsson K-E, 1987.** Kärnkraftens historia i Sverige. Kosmos 1987, s 121–161.

**Lindström S, 1991.** Hela nationens tacksamhet: svensk forskningspolitik på atomenergiområdet 1945–1956. Statsvetenskapliga institutionen, Stockholms universitet.

**Schultz G, 2001.** Den svenska kärnbränslecykeln och SKB: några blad främst ur SKB:s tidigare historia. Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Svenke E, 1988.** Till flydda tider. Manus för anförande inför Samrådsnämnden för kärnavfallsfrågor (KASAM), maj 1988.

**Vedung E, 1979.** Kärnkraften och regeringen Fälldins fall. Stockholm: Rabén & Sjögren. (Skrifter utgivna av Statsvetenskapliga föreningen i Uppsala 85).

**Vedung E, 2006.** Det högaktiva kärnavfallens väg till den rikspolitiska dagordningen. I: Andrén M, Strandberg U (red). Kärnavfallens politiska utmaningar. Hedemora: Gidlund.

**Wikdahl C-E, 2007.** Marvikenreaktorn: ett industripolitiskt utvecklingsprojekt i otakt med tiden. SKI Rapport 2007:18, Statens kärnkraftinspektion.

**Wingefors S, 1999.** När Sverige trädde in i atomåldern: Kärnkraftens utveckling en fråga om perspektiv. Nucleus, 3-4, s 24–30.

## Kapitel 2

2-1 **KBS-1, 1977.** Kärnbränslecykelns slutsteg. Förglasat avfall från upparbetning, Kärnbränslesäkerhet. I – Allmän del; II – Geologi; III – Anläggningar; IV – Säkerhetsanalys; V – Utländsk verksamhet; Kompletterande geologiska undersökningar. KBS KärnbränsleSäkerhet, Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.

2-2 **KBS-2, 1978.** Kärnbränslecykelns slutsteg. Slutförvaring av använt kärnbränsle, Kärnbränslesäkerhet. I – Allmän del; II – Teknisk del. KBS KärnbränsleSäkerhet, Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.

- 2-3 **Proposition 1980/81:90.** Riktlinjer för energipolitiken. Bilaga 1 (Industridepartementet) avsnitt 10.3 jämte Bihang 1. (Lagrådsremiss med förslag till lag om finansiering av framtida utgifter för använt kärnbränsle m m.)
- 2-4 **SKBF, 1981.** Kommentarer till remiss av KBS-2-rapporten 1981-03-30. SKBF/KBS Arbetsrapport AR 81-25. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB (icke refererbar rapport).
- 2-5 **SKBF, 1981.** Remissgranskning av KBS-2 Slutförvaring av använt kärnbränsle – Granskarnas sammanfattningar. SKBF/KBS Information 11, November 1981. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.

**Utöver i kapitel 2 angivna referenser ligger bland annat följande litteratur till grund för framställningen:**

**Foyer L, 1995.** Vad har statsmakterna bestämt om kärnkraft och kärnavfall? I: Kunskapsläget på kärnavfallsområdet: rapport 1995. Stockholm: Fritzes (Statens offentliga utredningar 1995:50).

**Kjellman S, 2000.** Det svenska kärnavfallsprogrammet. Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Schultz G, 2001.** Den svenska kärnbränslecykeln och SKB: några blad framst ur SKB:s tidigare historia. Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Svenke E, 1988.** Till flydda tider. Manus för anförande inför Samrådsnämnden för kärnavfallsfrågor (KASAM), maj 1988.

**Vedung E, 1979.** Kärnkraften och regeringen Fälldins fall. Stockholm: Rabén & Sjögren (Skrifter utgivna av Statsvetenskapliga föreningen i Uppsala 85).

### **Kapitel 3**

- 3-1 **KBS-3, 1983.** Kärnbränslecykelns slutsteg, Använt kärnbränsle – KBS 3.I – Allmänt; II – Geologi; III – Barriärer; IV – Säkerhet; Sammanfattning. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB/KBS.
- 3-2 **SKBF, 1980,** The KBS Annual Report 1979. Including summaries of Technical Reports issued during 1979. SKBF/TR 79-28, Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.
- 3-3 **SKBF, 1981,** The KBS Annual Report 1980. Including summaries of technical reports issued during 1980. SKBF/KBS TR 80-26, Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.
- 3-4 **SKBF, 1984,** Kärnbränslecykeln slutsteg. Använt kärnbränsle – KBS 3. Program för forskning och utveckling. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.
- 3-5 **Ds I 1984:19.** Ansökningar om laddningstillstånd för Forsmark 3 och Oskarshamn III. Beredningspromemoria. Industridepartementet.

### **Kapitel 4**

- 4-1 **Regeringsbeslut 1977-12-22** (Industridepartementet nr 58). Tillstånd enligt lagen (1977:140) om särskilt tillstånd att tillföra kärnreaktor kärnbränsle, m m till fortsatt drift av Barsebäck 2.
- 4-2 **Vedung E, 1979.** Kärnkraften och regeringen Fälldins fall. Stockholm: Rabén & Sjögren (Skrifter utgivna av Statsvetenskapliga föreningen i Uppsala 85).
- 4-3 **Regeringsbeslut 1978-10-05.** (Industridepartementet nr 39 och 40). Ansökningar enligt lagen (1977:140) om särskilt tillstånd att tillföra kärnreaktor kärnbränsle, m. m. (nr 39 avsåg Ringhals 3, nr 40 avsåg Forsmark 1).
- 4-4 **Proposition 1978/79:115.** Om riktlinjer för energipolitiken, Bilaga 1 Industridepartementet.

- 4-5 **SOU 1983:9.** Lagstiftningen på kärnenergiområdet – Förslag till ny lag om kärnteknisk verksamhet. Betänkande av Atomlagstiftningskommittén.
- 4-6 **Riksdagens protokoll 1979/80:10.**
- 4-7 **Proposition 1979/80:170.** Om vissa energifrågor.
- 4-8 **Regeringsbeslut 1979-02-22.** (Industridepartementet nr 22). Uppdrag att bereda vissa ärenden enligt lagen (1977:140) om särskilt tillstånd att tillföra kärnreaktor kärnbränsle, m m.
- 4-9 **Regeringsbeslut 1979-06-21.** (Industridepartementet nr 68). Ansökan enligt lagen (1977:140) om särskilt tillstånd att tillföra kärnreaktor kärnbränsle, m m (beslutet avser Ringhals 3).
- 4-10 **Regeringsbeslut 1979-06-21.** (Industridepartementet nr 69). Ansökan enligt lagen (1977:140) om särskilt tillstånd att tillföra kärnreaktor kärnbränsle, m m (beslutet avser Forsmark 1).
- 4-11 **Regeringsbeslut 1979-06-21.** (Industridepartementet nr 70). Tillstånd enligt atomenergilagen (1956:306) till fortsatt drift efter år 1979 av Barsebäck 2.
- 4-12 **Regeringsbeslut 1980-04-10.** (Industridepartementet nr 35). Ansökan enligt lagen (1977:140) om särskilt tillstånd att tillföra kärnreaktor kärnbränsle, m m (beslutet avser Ringhals 4).
- 4-13 **Regeringsbeslut 1980-04-10.** (Industridepartementet nr 36). Ansökan enligt lagen (1977:140) om särskilt tillstånd att tillföra kärnreaktor kärnbränsle, m m (beslutet avser Forsmark 2).
- 4-14 **Proposition 1980/91:90.** Om riktlinjer för energipolitiken. Bilaga 1 (Industridepartementet).
- 4-15 **Proposition 1983/84:60.** Förslag till ny lagstiftning på kärnenergiområdet.
- 4-16 **Ds I 1984:19.** Ansökningar om laddningstillstånd för Forsmark 3 och Oskarshamn III. Beredningspromemoria. Industridepartementet.
- 4-17 **Regeringsbeslut 1984-06-28.** (Industridepartementet nr 73). Ansökan om tillstånd enligt 6 § lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet att första gången tillföra kärnreaktor kärnbränsle (beslutet avser Forsmark 3).
- 4-18 **Regeringsbeslut 1984-06-28.** (Industridepartementet nr 74). Ansökan om tillstånd enligt 6 § lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet att första gången tillföra kärnreaktor kärnbränsle (beslutet avser Oskarshamn III).

## Kapitel 5

- 5-1 **Proposition 1983/84:60.** Förslag till ny lagstiftning på kärnenergiområdet.
- 5-2 **Proposition 1992/93:98.** om ändring i lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet, m m.
- 5-3 **SOU 2004:120.** Kärnavfall – Tillbakablick och framtidsperspektiv i KASAM:s verksamhet. Rapport från ett seminarium tillägnat Camilla Odhnoff den 22 oktober 2002.
- 5-4 **Dir 2009:31.** Tilläggsdirektiv till Kärnavfallsrådet (M 1992:A).

## Kapitel 6

- 6-1 **SKB, 1986.** SKB FoU-program 86. Kärnkraftavfallens behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling och övriga åtgärder. Sammanfattning; I – Allmän del; II – Val av slutförvaringssystem; III – Forskningsprogram 1987–1992; Underlagsrapport Alternativa slutförvaringsmetoder; Underlagsrapport Internationell och utländsk verksamhet. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 6-2 **SKN, 1987.** Granskning av FoU-program 86: Statens kärnbränslenämnds yttrande till regeringen över ett åtgärdsprogram för hantering av använt kärnbränsle, SKB FoU-program 86. Stockholm: Statens kärnbränslenämnd.

- 6-3 **Regeringsbeslut 1987-11-26.** (Miljö- och energidepartementet nr 28). Program för forskning m m avseende kärnkraftsavfallets behandling och slutförvaring.
- 6-4 **SKB, 1989.** SKB FoU-program 89 Kärnkraftsavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling och övriga åtgärder. I – Allmän del; II – Program 1990–1995; Underlagsrapport Granskningen av FoU-program 86 – sammanställning och SKB:s kommentarer; Underlagsrapport Underjordiskt berglaboratorium. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 6-5 **KASAM, 1988.** Etik och kärnavfall: rapport från ett seminarium om etiskt handlande under osäkerhet, i Stockholm den 8–9 september 1987. Stockholm: Samrådsnämnden för kärnavfallsfrågor (SKN Rapport 28).
- 6-6 **SKN, 1990.** FoU-program 89: Kärnbränslenämndens utvärdering. Statens kärnbränslenämnds yttrande till regeringen mars 1990. Stockholm: Statens kärnbränslenämnd.
- 6-7 **Regeringsbeslut 1990-12-20.** (Miljödepartementet nr 21). Program för forskning m m avseende kärnkraftsavfallets behandling och slutförvaring.

## Kapitel 7

- 7-1 **SKB, 1992.** SKB 91. Slutlig förvaring av använt kärnbränsle. Berggrundens betydelse för säkerheten. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 7-2 **SKI, 1992.** Granskning av SKB 91. SKI Technical Report 92:24, Statens kärnkraftinspektion.
- 7-3 **SKB, 1992.** Fud-program 92. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling, demonstration och övriga åtgärder. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 7-4 **SKB, 1992.** PASS. Projekt AlternativStudier för Slutförvar (PASS). Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 7-5 **Johansson R, 2006.** Lokalisering av slutförvaret för använt kärnbränsle. En översikt av trettio års arbete. SKB R-06-42, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 7-6 **SKB, 2010.** Platsval – lokalisering av slutförvar för använt kärnbränsle. SKB R-10-42, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 7-7 **SKB, 1992.** Fud-program 92. Underlagsrapport Detaljerat FoU-program 1993–1998. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 7-8 **SKI, 1993.** SKI:s utvärdering av SKB:s Fud-program 92. Sammanfattning och slutsatser. SKI:s yttrande till regeringen vad gäller SKB:s Fud-program 92. SKI Teknisk rapport 93:13, Statens kärnkraftinspektion.
- 7-9 **KASAM, 1993.** Slutförvaring av använt kärnbränsle: KASAM:s yttrande över SKB:s Fud-program 92: rapport från Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM). Statens offentliga utredningar SOU 1993:67.
- 7-10 **Regeringsbeslut 1993-12-16.** (Miljö- och naturresursdepartementet nr 40). Program för forskning m m avseende kärnkraftsavfallets behandling och slutförvaring.
- 7-11 **SKB, 1994.** Fud-program 92 – Kompletterande redovisning. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Komplettering till 1992 års program sammanställd med anledning av regeringsbeslut 1993-12-16. Svensk Kärnbränslehantering AB augusti 1994.
- 7-12 **SKI, 1995.** SKI:s yttrande över SKB:s kompletterande redovisning till Fud-program 92. SKI Rapport 95:1, Statens kärnkraftinspektion.
- 7-13 **KASAM, 1994.** KASAM:s yttrande 1994-11-28 över SKB Fud-program 92: kompletterande redovisning. KASAM dnr 9/94. Statens råd för kärnavfallsfrågor.
- 7-14 **Regeringsbeslut 1995-05-18** (Miljödepartementet nr 11). Komplettering av program för forskning m m avseende kärnkraftsavfallets behandling och slutförvaring m m.

- 7-15 **SKB, 1995.** Fud-program 95. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för inkapsling, geologisk djupförvaring samt forskning, utveckling och demonstration. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 7-16 **SKB, 1995.** SR 95. Mall för säkerhetsrapporter med beskrivande exempel. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 7-17 **SKI, 1996.** SKI:s utvärdering av SKB:s Fud-program 95. Sammanfattning och slutsatser. SKI Rapport 96:49, Statens kärnkraftinspektion.
- 7-18 **KASAM, 1996.** Kärnavfall: teknik och platsval. KASAM:s yttrande över SKB:s Fud-program 95: rapport från Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM). Statens offentliga utredningar SOU 1996:101.
- 7-19 **Regeringsbeslut 1996-12-19.** (Miljödepartementet nr 25). Program för forskning m m angående kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring.
- 7-20 **SKI, 1997.** SKI SITE-94. Säkerhetsanalysprojekt för djupförvar i kristallint berg. Sammanfattning. SKI Rapport 97:6, Statens kärnkraftinspektion.

## Kapitel 8

- 8-1 **SKB, 1998.** SKB Fud-program 98. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning samt utveckling och demonstration av inkapsling och geologisk förvaring. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 8-2 **SKB, 1998.** Underlagsrapport till Fud-program 98. Detaljerat program för forskning och utveckling 1999–2004. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 8-3 **SKB, 1998.** Systemredovisning av djupförvaring enligt KBS-3-metoden. SKB R-98-10, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 8-4 **SKI, 1999.** SKI:s utvärdering av SKB:s Fud-program 98. Sammanfattning och slutsatser. SKI Rapport 99:15, Statens kärnkraftinspektion.
- 8-5 **KASAM, 1999.** Kärnavfall: metod-plats-miljökonsekvens: KASAM:s yttrande över SKB:s Fud-program 98; rapport från Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM). Statens offentliga utredningar SOU 1999:67.
- 8-6 **Regeringsbeslut 2000-01-24.** (Miljödepartementet nr 1). Program för forskning, utveckling och demonstration för kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring, Fud-program 98.
- 8-7 **SKB, 1999.** Djupförvar för använt kärnbränsle SR 97 – Säkerheten efter förslutning. Huvudrapport del I och del II. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 8-8 **SKI/SSI, 2000.** SKI:s och SSI:s gemensamma granskning av SKB:s Säkerhetsrapport 97. Sammanfattning november 2000. SKI Rapport 00:38, Statens kärnkraftinspektion; SSI-rapport 2000:16, Statens strålskyddsinstitut.
- 8-9 **KASAM, 2000.** KASAM:s yttrande 2000-05-10 till SKI över SR 97. KASAM dnr 4/00. Statens råd för kärnavfallsfrågor.
- 8-10 **SKB, 2000.** Samlad redovisning av metod, platsval och program inför platsundersöknings-skedet (Komplettering av SKB:s Fud-program 98, ”Fud-K”). Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 8-11 **SKI, 2001.** SKI:s yttrande över SKB:s kompletterande redovisning till Fud-program 98. SKI Rapport 01:20, Statens kärnkraftinspektion.
- 8-12 **KASAM, 2001.** KASAM:s yttrande 2001-06-14 över SKB:s kompletterande redovisning till Fud-program 98: samlad redovisning av metod, platsval och program inför platsundersökningsskedet (Fud-K). KASAM dnr 14/00. Statens råd för kärnavfallsfrågor.
- 8-13 **Regeringsbeslut 2001-11-01.** (Miljödepartementet nr 22). Komplettering av program för forskning, utveckling och demonstration för kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring, Fud-program 98.

- 8-14 **SKB, 2001.** Fud-program 2001. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 8-15 **Sandstedt H, Pers K, Birgersson L, Ageskog L, Munier, R, 2001.** Projekt JADE. Comparison of repository systems. Executive summary of results. SKB TR-01-17, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 8-16 **SKI, 2002.** SKI:s yttrande över SKB:s redovisning av Fud-program 2001. SKI Rapport 02:9, Statens kärnkraftinspektion.
- 8-17 **KASAM, 2002.** Kärnavfall: forskning och teknikutveckling: KASAM:s yttrande över SKB:s Fud-program 2001; rapport från Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM). Statens offentliga utredningar SOU 2002:63.
- 8-18 **Regeringsbeslut 2002-12-12.** (Miljödepartementet nr 7). Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall, Fud-program 2001.

## Kapitel 9

- 9-1 **SKB, 2004.** Fud-program 2004. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall, inklusive samhällsforskning. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 9-2 **SKB, 2004.** Interim main report of the safety assessment SR-Can. SKB TR-04-11, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 9-3 **SKI, 2005.** SKI:s yttrande över SKB:s redovisning av Fud-program 2004. SKI Rapport 2005:31, Statens kärnkraftinspektion.
- 9-4 **KASAM, 2005.** Kärnavfall – barriärerna, biosfären och samhället: KASAM:s yttrande över SKB:s Fud-program 2004; rapport från Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM). Statens offentliga utredningar SOU 2005:47.
- 9-5 **Regeringsbeslut 2005-12-01.** (Miljödepartementet nr 21). Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall, inklusive samhällsforskning, Fud-program 2004.
- 9-6 **SKB, 2006.** Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar – a first evaluation. Main report of the SR-Can project. SKB TR-06-09, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 9-7 **SKB, 2007.** Långsiktig säkerhet för slutförvar för använt kärnbränsle vid Forsmark och Laxemar – en första värdering. Förenklad svensk sammanfattning av säkerhetsanalysen SR-Can. SKB R-07-24, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 9-8 **SKI/SSI, 2008.** SKI:s och SSI:s gemensamma granskning av SKB:s säkerhetsrapport SR-Can. SKI Rapport 2008:19, Statens kärnkraftinspektion; SSI Rapport 2008:04 Statens strålskydds-institut.
- 9-9 **SKB, 2007.** Fud-program 2007. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 9-10 **SKI, 2008.** SKI:s yttrande och utvärdering av SKB:s redovisning av Fud-program 2007. SKI Rapport 2008:48, Statens kärnkraftinspektion.
- 9-11 **Kärnavfallsrådet, 2008.** Slutförvaring av kärnavfall: Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud-program 2007: betänkande. Statens offentliga utredningar SOU 2008:70.
- 9-12 **Regeringsbeslut 2008-11-12.** (Miljödepartementet nr 38). Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall.
- 9-13 **SKB, 2009.** Komplettering av Fud-program 2007, Loma-programmet och alternativa slutförvaringsmetoder. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 9-14 **Regeringsbeslut 2009-12-10** (Miljödepartementet nr 51). Komplettering av Fud-program 2007.

## Kapitel 10

- 10-1 **SKB, 1986.** SKB FoU-program 86 Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling och övriga åtgärder. Sammanfattning; I – Allmän del; II – Val av slutförvaringssystem; III – Forskningsprogram 1987–1992; Underlagsrapport Alternativa slutförvaringsmetoder; Underlagsrapport Internationell och utländsk verksamhet. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 10-2 **SKB, 1992.** Fud-program 92. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling, demonstration och övriga åtgärder. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 10-3 **SKB, 2004.** Fud-program 2004. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall, inklusive samhällsforskning. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 10-4 **Fairhurst C, Gera F, Gnirk P, Gray M, Stillborg B, 1993.** OECD/NEA International Stripa Project 1980–1992. Overview Volumes I-III. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 10-5 **SKB, 1989.** SKB FoU-program 89 Kärnkraftsavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling och övriga åtgärder. I – Allmän del; II – Program 1990–1995; Underlagsrapport Granskningen av FoU-program 86 – sammanställning och SKB:s kommentarer; Underlagsrapport Underjordiskt berglaboratorium. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 10-6 **OECD/NEA, SKI, 1992.** The international hydrocoin project: groundwater hydrology modelling strategies for performance assessment of nuclear waste disposal: summary report. The Coordinating Group of the HYDROCOIN Project, Swedish Nuclear Power Inspectorate – Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development. (OECD-publications 76860).
- 10-7 **OECD/NEA, 1996.** The international INTRAVAL Project, developing groundwater flow and transport models for radioactive waste disposal: six years of experience from the INTRAVAL Project, final results. The Coordinating Group of the INTRAVAL Project, Swedish Nuclear Power Inspectorate – Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development. (OECD-publications 79269).
- 10-8 **SKB, 1992.** Fud-program 92. Underlagsrapport Detaljerat FoU-program 1993–1998. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 10-9 **SKB, 1998.** Underlagsrapport till Fud-program 98. Detaljerat program för forskning och utveckling 1999–2004. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 10-10 **SKB, 1995.** Fud-program 95. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för inkapsling, geologisk djupförvaring samt forskning, utveckling och demonstration. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 10-11 **SKB, 2001.** Fud-program 2001. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 10-12 **SKB, 1998.** SKB Fud-program 98. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning samt utveckling och demonstration av inkapsling och geologisk förvaring. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 10-13 **SKB, 2007.** Fud-program 2007. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 10-14 **SKB, 2006.** Kapsel för använt kärnbränsle. Svetsning vid tillverkning och förslutning. SKB R-06-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.

## Bilaga 1

**SKB, 1983–2008.** Plan (1983–2008) Kostnader för kärnkraftens radioaktiva restprodukter, Svensk Kärnbränslehantering AB (upprättad årligen).

## Bilaga 2

- B-1 **Regeringsbeslut 1996-12-19** (Miljödepartementet nr 25). Program för forskning m m angående kärnkraftavfallens behandling och slutförvaring.
- B-2 **SKI, 1996.** SKI:s utvärdering av SKB:s Fud-program 95. Sammanfattning och slutsatser. SKI Rapport 96:49, Statens kärnkraftinspektion.
- B-3 **SKB, 1998.** SKB Fud-program 98. Kärnkraftavfallens behandling och slutförvaring. Program för forskning samt utveckling och demonstration av inkapsling och geologisk förvaring. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B-4 **SKB, 1998.** Systemredovisning av djupförvaring enligt KBS-3-metoden. SKB R-98-10, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B-5 **SKI, 1999.** SKI:s och SSI:s granskning av SKB:s systemredovisning i Fud-program 98. SKI Rapport 99:18, Statens kärnkraftinspektion.
- B-6 **SKB, 2000.** Systemanalys – Val av strategi för omhändertagande av använt kärnbränsle. SKB R-00-32, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B-7 **SKB, 2000.** Systemanalys – Omhändertagande av använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden. SKB R-00-29, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B-8 **SKB, 2000.** Samlad redovisning av metod, platsval och program inför platsundersöknings-skedet (Komplettering av SKB:s Fud-program 98, ”Fud-K”). Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B-9 **Regeringsbeslut 2001-11-01.** (Miljödepartementet nr 22). Komplettering av program för forskning, utveckling och demonstration för kärnkraftavfallens behandling och slutförvaring, Fud-program 98.
- B-10 **SKB, 2001.** Fud-program 2001. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B-11 **SOU 2002:46.** Plats för slutförvaring av kärnavfall? Förstudier i åtta kommuner. Rapport från Särskilde rådgivaren inom kärnavfallsområdet 2002.
- B-12 **Kärnavfallsrådet, 2008.** Systemanalys för slutförvar: Rapport från Kärnavfallsrådets utfrågning den 24 april 2008. Kärnavfallsrådets Rapport 2008:1.
- B-13 **Regeringsbeslut 2002-12-12.** (Miljödepartementet nr 7). Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall, Fud-program 200.
- B-14 **SKB, 2004.** Fud-program 2004. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall, inklusive samhällsforskning. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B-15 **SKB, 2007.** Fud-program 2007. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B-16 **SKB, 2006.** Systemanalys KBS-3-systemet – Beskrivning med viktiga vägval under systemets utveckling samt validering av kapseltillverkning och inkapsling. Lägesredovisning 2006. SKB R-06-117, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B-17 **Samrådsmöte 2007-05-11.** Protokoll från samrådsmöte om system- och säkerhetsanalys 2007-05-11, Svensk Kärnbränslehantering AB.