

R-00-29

Systemanalys

Omhändertagande av använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden

Svensk Kärnbränslehantering AB

Oktober 2000

Svensk Kärnbränslehantering AB

Swedish Nuclear Fuel
and Waste Management Co
Box 5864

SE-102 40 Stockholm Sweden

Tel 08-459 84 00
+46 8 459 84 00

Fax 08-661 57 19
+46 8 661 57 19



Systemanalys

Omhändertagande av använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden

Svensk Kärnbränslehantering AB

Oktober 2000

FÖRORD

I september 1998 redovisade SKB FUD-program 98 i enlighet med kärntekniklagens krav. Programmet har därefter remissbehandlats och granskats av bland annat Statens kärnkraftinspektion (SKI) och Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM). I januari 2000 fattade regeringen beslut angående FUD-program 98. Regeringen fann liksom kärnkraftinspektionen, KASAM och de flesta andra remissinstanser att programmet uppfyller lagens krav. Regeringen angav också riktlinjer för det underlag SKB bör redovisa inför genomförandet av platsundersökningar för ett djupförvar av använt kärnbränsle.

Baserat på remissynpunkterna och regeringens beslut ska SKB till slutet av år 2000 ta fram den så kallade FUD 98-kompletteringen. Den utgör SKB:s samlade redovisning angående system, säkerhet och plats inför beslut om platsundersökningar på minst två platser i landet. Föreliggande rapport ingår i en serie underlagsrapporter i den begärda redovisningen från SKB.

Denna rapport "Systemanalys – Omhändertagande av använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden" utgör en omarbetning och uppdatering av rapporten "Systemredovisning av djupförvaring enligt KBS-3-metoden", SKB rapport R-98-10, daterad september 1998. Vid omarbetningen har hänsyn tagits till inkomna remissyttranden, genomförda förstudier och de senaste erfarenheterna från det pågående tekniska utvecklingsarbetet. Rapporten har även fått en ny struktur.

Rapporten har utarbetats av undertecknad samt Bengt Lönnerberg och Håkan Sandstedt.



Stig Pettersson
Huvudprojektledare
Anläggningsutformning
Djupförvarsteknik

Innehåll

1	Inledning	9
1.1	Bakgrund	9
1.2	Historik	9
1.3	Radioaktivt avfall	11
1.4	Det svenska systemet för omhändertagande av radioaktivt avfall	12
1.5	Syfte och omfattning	14
1.6	Referenser	15
2	Översikt av KBS-3-systemet	17
2.1	Systemets uppgift och avgränsningar	17
2.2	Det använda kärnbränslet	17
2.3	Krav på systemet	20
2.3.1	Lagar och förordningar	20
2.3.2	Kapacitetskrav	21
2.3.3	Säkerhetskrav	21
2.3.4	Strålskyddskrav	22
2.3.5	Safeguards	23
2.3.6	Fysiskt skydd	24
2.3.7	Miljökrav	25
2.3.8	Avvägning mellan säkerhet på kort och lång sikt	25
2.4	KBS-3-systemet	26
2.4.1	KBS-3-metoden	26
2.4.2	Ingående anläggningar i systemet	26
2.5	Kopplingar till andra delar av SKB:s program	28
2.6	Tidsplanering för KBS-3-systemet	31
2.7	Referenser	32
3	Mellanlager för använt kärnbränsle	33
3.1	Anläggningens uppgift	33
3.2	Krav och värderingsgrunder	33
3.3	Anläggnings- och processbeskrivning	34
3.3.1	Inledning	34
3.3.2	Beskrivning av CLAB	34
3.3.3	Hantering av bränsle och hårdkomponenter	34
3.3.4	Urlastning av bränsle och hårdkomponenter	35
3.3.5	Långtidsaspekter på lagring	35
3.4	Alternativ och varianter	37
3.4.1	Metod för mellanlagring	37
3.4.2	Lagringskapacitet	38
3.4.3	Långtidslagring	38
3.5	Säkerhet och strålskydd	38
3.5.1	Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter	39
3.5.2	Konsekvenser vid normal drift	39
3.5.3	Missödesanalys	40
3.6	Safeguards	44
3.7	Miljöpåverkan	44
3.7.1	Markanvändning och landskapsbild	44
3.7.2	Luft och vatten	44
3.8	Sammanfattning och utvärdering	45
3.9	Referenser	45

4	Inkapslingsanläggning	47
4.1	Anläggningens uppgift	47
4.2	Krav och värderingsgrunder	47
4.3	Anläggnings- och processbeskrivning	47
4.3.1	Inledning	47
4.3.2	Beskrivning av inkapslingsanläggningen	48
4.3.3	Hanteringsgång vid inkapsling	52
4.4	Kapselutformning	54
4.4.1	Konstruktionsförutsättningar för kapseln	54
4.4.2	Kapselstorlek	55
4.4.3	Material och materialtjocklek på kapselhölje och insats	56
4.4.4	Tillverkningsteknik för kapselhölje och insats	57
4.4.5	Förslutning av kapsellock	58
4.5	Lokalisering av inkapslingsanläggning	58
4.6	Kapselabrik	61
4.7	Säkerhet och strålskydd	63
4.7.1	Påverkan på driftsäkerheten	63
4.7.2	Påverkan på långsiktig funktion och säkerhet	63
4.7.3	Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter vid inkapsling	63
4.7.4	Konsekvenser vid normal drift i inkapslingsanläggningen	64
4.7.5	Missödesanalys	65
4.8	Safeguards	67
4.9	Miljöpåverkan	68
4.9.1	Markanvändning och landskapsbild	68
4.9.2	Luft och vatten	68
4.9.3	Förbrukning av naturresurser	68
4.9.4	Sammanfattning av miljöpåverkan	69
4.10	Sammanfattning och utvärdering	69
4.11	Referenser	70
5	Transportsystem för radioaktivt avfall	71
5.1	Transportsystemets uppgift	71
5.2	Krav och värderingsgrunder	71
5.3	Anläggnings- och processbeskrivning	72
5.3.1	Inledning	72
5.3.2	Beskrivning av transportsystemet	72
5.3.3	Genomförande av transporter	74
5.4	Alternativ och varianter	75
5.5	Säkerhet och strålskydd	75
5.5.1	Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter	75
5.5.2	Normal drift	76
5.5.3	Missödesanalys	77
5.6	Safeguards	79
5.7	Miljöpåverkan	80
5.7.1	Markanvändning och landskapsbild	80
5.7.2	Luft och vatten	80
5.7.3	Annan miljöpåverkan	81
5.8	Sammanfattning och utvärdering	81
5.9	Referenser	81

6	Djupförvar	83
6.1	Djupförvarets uppgift	83
6.2	Krav och värderingsgrunder	83
6.3	Anläggnings- och processbeskrivning	85
6.3.1	Övergripande beskrivning av djupförvarsanläggningen	85
6.4	Referensutformning och varianter	97
6.4.1	Allmänt	97
6.4.2	Varianter på KBS-3-metoden	98
6.4.3	Utformning av deponeringsområden	99
6.4.4	Nerfart via schakt kontra olika typer av ramper	101
6.4.5	Val av förvarsdjup	103
6.4.6	Teknik för tunneldrivning och hålbörning	105
6.4.7	Deponeringsteknik	110
6.4.8	Buffert- och återfyllnadsmaterial	111
6.5	Säkerhet och strålskydd i driftskedet	116
6.5.1	Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter	116
6.5.2	Konsekvenser vid normal drift	117
6.5.3	Missödesanalys	118
6.6	Långsiktig säkerhet	120
6.6.1	Inledning	120
6.6.2	Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter	121
6.6.3	Säkerhetsanalyser	121
6.6.4	Faktorer vid anläggningarnas drift som kan påverka den långsiktiga säkerheten	123
6.7	Safeguards	125
6.7.1	Metoder för safeguards	125
6.7.2	Sammanfattning beträffande safeguards	126
6.8	Miljöpåverkan	127
6.8.1	Inledning	127
6.8.2	Markanvändning och landskapsbild	127
6.8.3	Grundvatten	128
6.8.4	Förbrukning av naturresurser	128
6.8.5	Annan miljöpåverkan	128
6.9	Sammanfattning och utvärdering	128
6.10	Referenser	129
7	Återtag och mellanlagring av inkapslat bränsle	131
7.1	Inledning	131
7.2	Hanteringsgång vid friläggning och återtag	132
7.2.1	Allmänt	132
7.2.2	Återtag i anslutning till deponering av kapseln	132
7.2.3	Återtag efter återfyllning av deponeringstunnlarna	132
7.2.4	Återtag efter återfyllning av transporttunnlar och schakt	132
7.3	Mellanlager för inkapslat bränsle	134
7.4	Långtidsaspekter på mellanlagring av kapslar	135
7.5	Återtag av bränsle från kapslar	135
7.6	Säkerhets- och strålskyddsaspekter vid återtag	136
7.6.1	Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter vid återtag	136
7.6.2	Konsekvenser vid "normal" drift	136
7.6.3	Missödesanalys	137
7.7	Safeguards	137
7.8	Miljöpåverkan	137
7.9	Sammanfattning och utvärdering	138
7.10	Referenser	138

8	Låg- och medelaktivt långlivat avfall	139
8.1	Inledning	139
8.2	Avfallstyper, avfallskollin och mängder	140
8.3	Transporter	142
8.4	Beskrivning av slutförvaret för låg- och medelaktivt långlivat avfall	142
	8.4.1 Inledning	142
	8.4.2 Hanteringsgång vid deponering av låg- och medelaktivt långlivat avfall	143
8.5	Sammanfattning beträffande slutförvaring av låg- och medelaktivt långlivat avfall	144
8.6	Referenser	144
9	Projektering och framtida systemanalyser	145
9.1	Allmänt om projektering	145
9.2	Projekteringsskeden och samband	146
	9.2.1 Generell projekteringsmodell	146
	9.2.2 Anpassad projekteringsmodell	147
9.3	Logik för projektering, systemanalys och uppförande av djupförvaret	148
		149
9.4	Beskrivning av arbeten under respektive projekteringsskede	149
	9.4.1 Projekteringsskede E – Förstudier	149
	9.4.2 Projekteringsskede D0 och D1 – Projektering	149
	9.4.3 Projekteringsskede D2 – Projektering	150
	9.4.4 Projekteringsskede C – Projektering/Konstruktion	150
	9.4.5 Projekteringsskede B/A – Projektering/Konstruktion	152
	9.4.6 Definitivt underlag (DUL) – Konstruktion och dokumentation	152
9.5	Referenser	152
Bilaga 1	Jämförelse av deponeringsmetoder Sammanfattning av JADE-studien	153

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Verksamheten vid de svenska kärnkraftverken ger, liksom all industriell verksamhet, upphov till avfall. Avfallet från kärnkraftverken omhändertas av ett av kärnkraftsföretagen gemensamt ägt företag, Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB. Avfallsvolymerna är inte stora i förhållande till verksamhetens omfattning och i jämförelse med annan industriell verksamhet. Delar av avfallet är emellertid radioaktivt, vilket gör att det ställs speciella krav på hantering och förvaring. Ett annat krav är att förhindra spridning av det klyvbara material som ingår i avfallet.

Denna rapport utgör en omarbetning och uppdatering av rapporten "Systemredovisning av djupförvaring enligt KBS-3-metoden", daterad september 1998 /1-1/. Vid omarbetningen har hänsyn tagits till inkomna remissyttranden från olika myndigheter och kommuner, till de genomförda förstudierna och vunna erfarenheter från pågående tekniskt utvecklingsarbete.

1.2 Historik

Omhändertagandet av det radioaktiva avfall som uppkommer vid driften av kärnkraftverk diskuterades redan tidigt i utbyggnaden av det svenska kärnkraftprogrammet. 1973 inleddes den parlamentariska utredningen om radioaktivt avfall, förkortat AKA-utredningen /1-2/. AKA-utredningen som stod klar 1976 lade grunden för hur avfallsfrågan skulle lösas och hanteras. 1977 kom den så kallade *villkorlagen* /1-3/. Enligt denna lag är producenterna av kärnkraft skyldiga att visa hur det använda bränslet ska omhändertas innan drifttillstånd för en reaktor kan ges. 1984 kom kärntekniklagen, där det fastställs att det är producenterna av det radioaktiva avfallet som är ansvariga för omhändertagandet, samt att de vart tredje år ska lägga fram ett program för FoU-verksamheten och de övriga åtgärder som behövs för omhändertagandet.

Vart tredje år, med start 1986, har SKB via SKI, Statens kärnkraftinspektion, överlämnat sina forsknings- och utvecklingsprogram så kallade FUD-program till regeringen för utlåtande. Inom ramen för FUD-programmen har avfallsfrågan utretts, diskuterats och granskats.

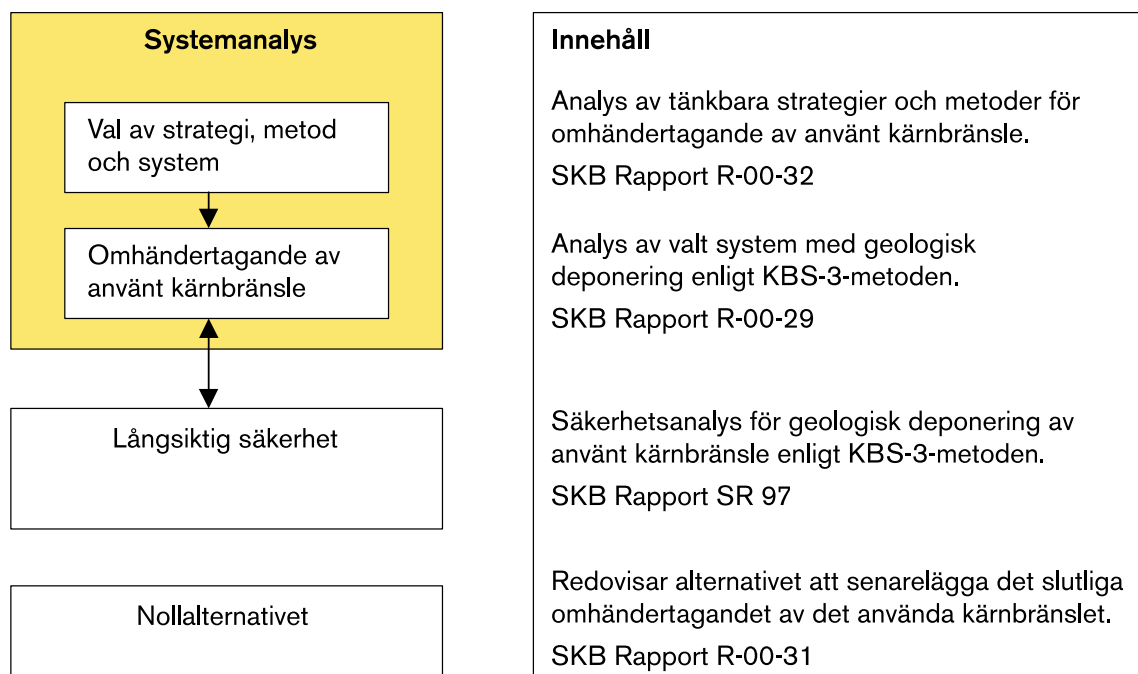
Vid årsskiftet 2001/2002 avser SKB inleda så kallade platsundersökningar på minst två platser. Syftet med platsundersökningarna är att utreda om berggrunden på platsen lämpar sig för ett djupförvar för använt kärnbränsle och om platsen också i övrigt är lämplig för en etablering av ett djupförvar. För att de aktuella kommunerna ska kunna ta ställning till om de vill delta i platsundersökningar krävs ett genomarbetat beslutsunderlag. I beslutsunderlaget ska det bland annat ingå en systemanalys.

Regeringen har i sitt beslut över FUD-program 95 föreskrivit /1-4/:

”Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) ska i sitt fortsatta forsknings- och utredningsarbete genomföra en systemanalys av hela slutförvarssystemet (inkapslingsanläggning, transporter och slutförvar). Denna systemanalys ska medge en samlad säkerhetsbedömning av hela slutförvarssystemet inklusive hur principer för säkerhet och strålskydd praktiskt tillämpas i säkerhetsanalysarbetet. I systemanalysen ska 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-metoden bör redovisas. I redovisningen ska vidare ingå konsekvenserna för det fall det planerade slutförvaret inte alls kommer till stånd (nollalternativet) liksom det pågående internationella arbetet med transmutation.”

SKB har i sitt fortsatta arbete tagit fram rapporten FUD-program 98 /1-5/. SKI har sammanställt sitt yttrande över detta program i SKI 99:16 /1-6/. SKIs och SSIs granskning av systemredovisningen i FUD-programmet 98 finns redovisad i SKI Rapport 99:18 /1-7/ i vilken önskemålet på en övergripande systemanalys preciserats.

Denna rapport utgör en av två rapporter som ingår i systemanalysen. Tillsammans med analysen av den långsiktiga säkerheten och redovisningen av nollalternativet ska systemanalysen ge svar på frågorna: Hur ska det använda kärnbränslet tas omhand? och Är den valda metoden säker, både nu och i framtiden? Rapporterna och deras innehåll visas i figur 1-1. En fyllig sammanfattning av dessa rapporter görs i FUD 98-kompletterings huvudrapport. Där sammanfattas också platsval, program för platsundersökningar och fortsatt arbete. Kompletteringen till FUD 98 utgör därmed en sammanfattning av SKB:s samlade redovisning angående system, säkerhet och plats inför beslut om platsundersökningar på minst två platser i landet.



Figur 1-1. Systemredovisningens rapportstruktur.

1.3 Radioaktivt avfall

Radioaktivt avfall delas med avseende på radioaktivitet in i hög-, medel- och lågaktivt. Med hänsyn till innehållet av nuklider med lång halveringstid delas avfallet in i kort- och långlivat. Aktivitetsinnehållet är avgörande för de krav som ställs på hanteringen av avfallet, medan innehållet av långlivade nuklider ställer krav på utformningen av slutförvar. De olika typer av radioaktivt avfall SKB ansvarar för redovisas i tabell 1-1.

Det högaktiva avfallet utgörs av det använda kärnbränslet och kräver både kylning och strålskärmning under hantering och förvaring.

Medelaktivt avfall kommer från drift och rivning av kärnkraftverk, mellanlager och inkapslingsanläggning. Det utgörs dels av komponenter från härdregionen, såsom styrstavar och andra metalliska delar, dels av filter- och jonbytarmassor från anläggningarnas reningssystem. Medelaktivt avfall måste strålskärmas men kräver ingen kylning.

Lågaktivt avfall kommer också från drift och rivning av de kärntekniska anläggningarna och omfattar bland annat utbyteskomponenter från processystem utanför härdregionen och textil- och plastmaterial från underhållsarbeten. I denna kategori ingår även avfall från industri och sjukvård. Praktiskt taget allt lågaktivt avfall är kortlivat, men det finns smärre mängder från forskning som klassificeras som långlivat. Lågaktivt avfall kräver varken kylning eller strålskärmad hantering.

Avfallstypen avgör vilka krav som ställs på hantering och förvaring. I praktiken kan dock andra faktorer än innehållet av radionuklider avgöra hur omhändertagandet faktiskt sker. Idag mellanlagras till exempel medelaktivt avfall tillsammans med det högaktiva använda bränslet trots att det inte kräver kylning. I framtiden kan även kortlivat avfall komma att deponeras i förvar godkända för långlivat avfall. Ekonomiska och drifttekniska överväganden kan i dessa fall motivera en från säkerhetssynpunkt överdimensionerad hantering.

Tabell 1-1. Det radioaktiva avfall SKB ansvarar för fördelat på olika kategorier.

	Långlivat	Kortlivat
Högaktivt	Använt kärnbränsle	
Medelaktivt	Reaktordelar (främst styrstavar), Rivningsavfall från kärnkraft (härdkomponenter), Rivningsavfall från mellanlager och inkapslingsanläggning (små mängder)	Driftavfall från kärnkraft, Driftavfall från mellanlager och inkapslingsanläggning, Rivningsavfall från kärnkraft, Rivningsavfall från mellanlager och inkapslingsanläggning (små mängder)
Lågaktivt	Avfall från forskning	Driftavfall från kärnkraft, övrig industri samt sjukvård, Driftavfall från mellanlager och inkapslingsanläggning, Rivningsavfall från kärnkraft Rivningsavfall från mellanlager och inkapslingsanläggning

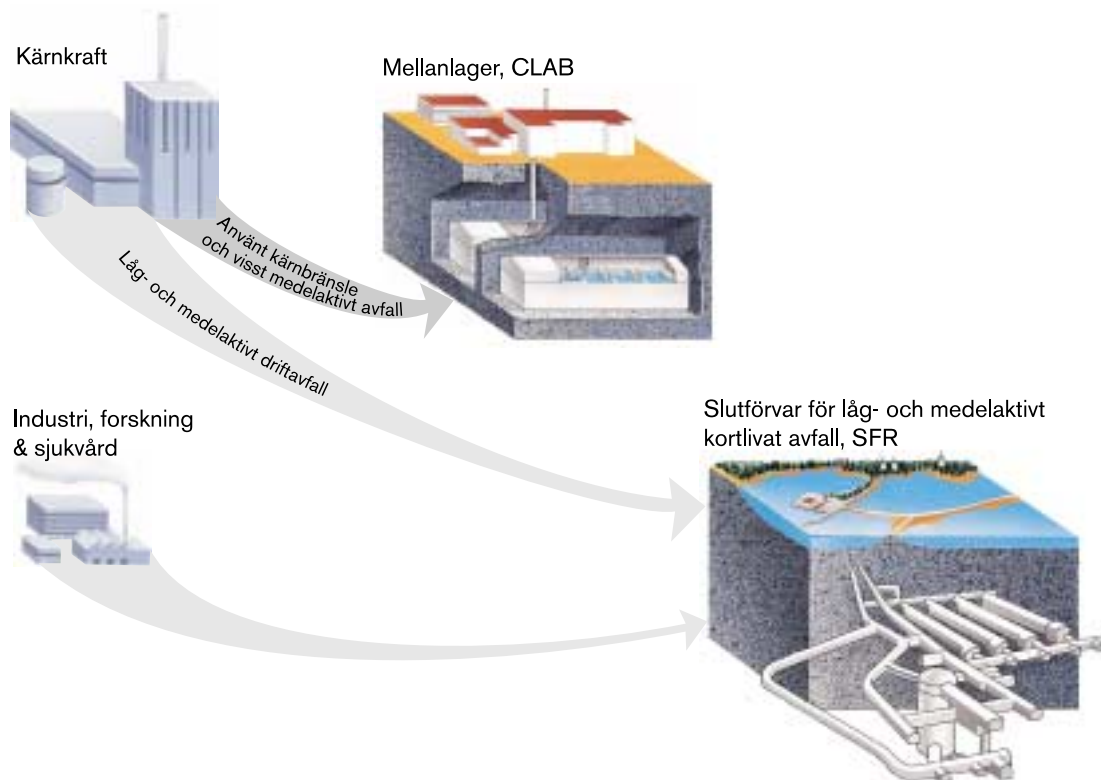
1.4 Det svenska systemet för omhändertagande av radioaktivt avfall

Idag omhändertas det radioaktiva avfallet på följande sätt:

- Låg- och medelaktivt kortlivat driftavfall deponeras omgående efter omhändertagande. Ett slutförvar för låg- och medelaktivt kortlivat avfall, SFR, finns i drift sedan 1988 i anslutning till kärnkraftverket i Forsmark. Avfall med mycket låg aktivitetsnivå markförvaras även vid flera av kärnkraftverken och Studsvik.
- Använt kärnbränsle mellanlagras i vattenfyllda bassänger i berggrum. Ett centralt mellanlager, CLAB, finns i drift sedan 1985 i anslutning till kärnkraftverket utanför Oskarshamn. Här mellanlagras även medelaktivt långlivat driftavfall (främst styrstavar).
- Använt kärnbränsle och låg- och medelaktivt driftavfall transporteras mellan kärnkraftverken och CLAB respektive SFR med fartyget M/S Sigyn som är specialbyggt för ändamålet. Transporter med använt kärnbränsle inleddes 1982.

De befintliga anläggningarna visas i figur 1-2.

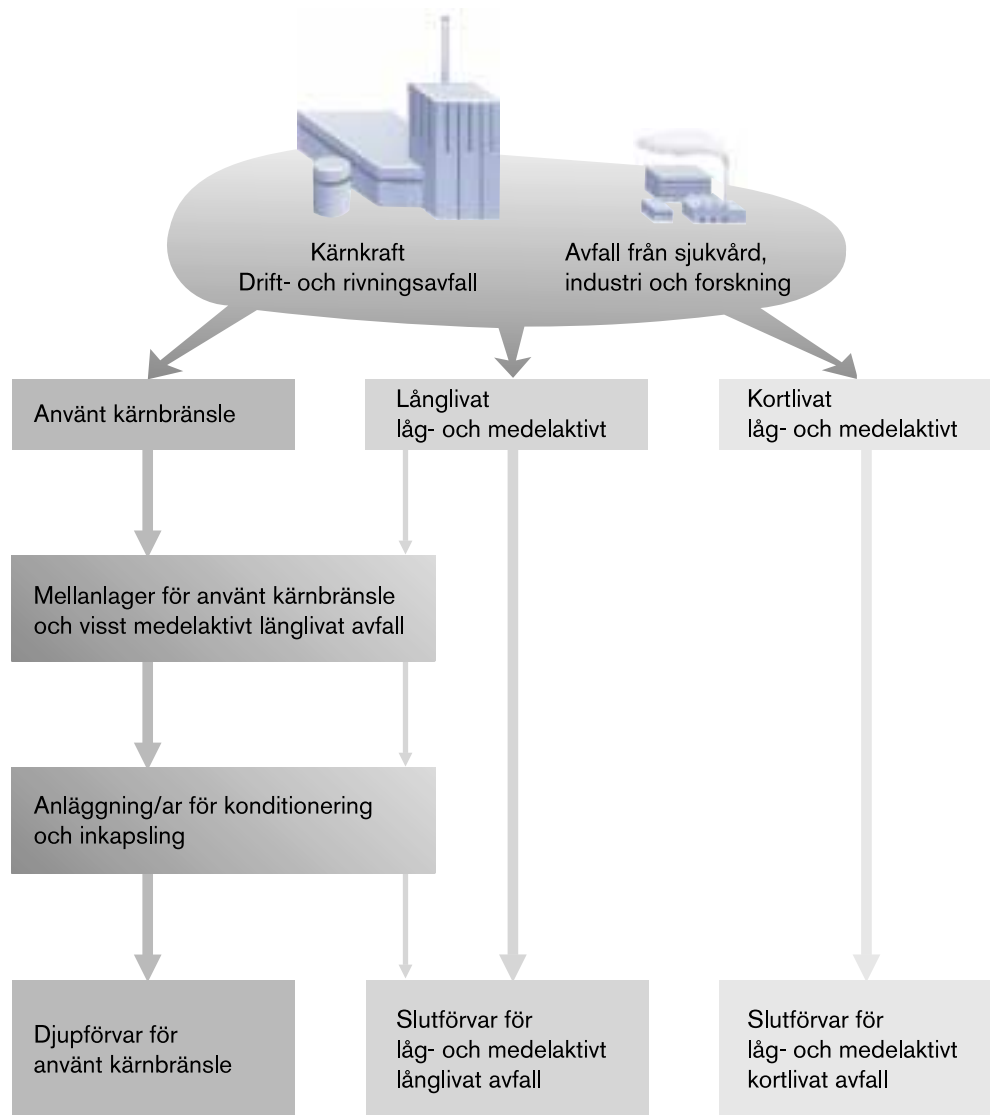
Förutom de befintliga anläggningarna finns det ett framtida behov av anläggningar för ett slutligt omhändertagande av det använda bränslet, samt ett slutförvar för låg- och medelaktivt långlivat avfall. Förvar för låg- och medelaktivt kortlivat avfall måste byggas så att de förutom driftavfall rymmer avfall från rivning av kärnkraftverken, CLAB och inkapslingsanläggningen.



Figur 1-2. Befintliga anläggningar för omhändertagande av radioaktivt avfall.

Det kortlivade rivningsavfallet planeras att deponeras i en utbyggnad av SFR, liknande den befintliga SFR-anläggningen. För det låg- och medelaktiva långlivade avfallet planeras ett djupförvar. Det är i dagsläget ännu inte bestämt var det kommer att lokaliseras. Ett alternativ är en samlokalisering med djupförvaret för använt kärnbränsle, ett annat alternativ är lokalisering vid SFR. SKB:s huvudinriktning är att det använda bränslet ska deponeras i ett geologiskt djupförvar inneslutet i täta kopparkapslar, den så kallade KBS-3-metoden /1-8/. För detta planeras en inkapslingsanläggning och ett djupförvar, samt vid behov en utbyggnad av det befintliga transportsystemet.

Figur 1-3 illustrerar översiktligt de olika typer av radioaktivt avfall SKB ska ta omhand samt de anläggningar som krävs för omhändertagande och slutförvaring. Förutom de redovisade anläggningarna krävs ett transportsystem.



Figur 1-3. Översikt av avfallsströmmar, hantering och slutförvaring av radioaktivt avfall.

1.5 Syfte och omfattning

Myndigheterna har i yttranden över FUD-program 95 och 98 redovisat sin syn på vad en systemanalys bör innehålla /1-7/. Myndigheternas redovisning, samt efterföljande diskussioner, har varit en utgångspunkt för den systemanalys som redovisas i rapporterna "Systemanalys – Val av strategi och metod för omhändertagande av radioaktivt avfall" /1-9/ samt "Systemanalys – Omhändertagande av använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden" (denna rapport).

En systemanalys är en analys av komplexa system som underlag för beslut. Systemanalysen förutsätter att förutsättningar och funktioner för systemet specificerats. Syftet med systemanalysen är att fastställa hur systemutformningen på gynnsammaste sätt ska väljas för att de uppställda målen ska uppnås.

I den jämförande systemanalysen /1-9/ redovisas val av strategi och system för omhändertagandet av använt kärnbränsle. Delar av systemet finns i drift idag och flera val och överväganden är redan gjorda. Därför utgör denna del av systemanalysen delvis en dokumentation av tidigare tagna beslut och överväganden. Resultatet av analysen leder till val av den principiella inriktningen "samla in och förvara åtskilt från människa och miljö" och strategin "geologisk deponering". Efter detta val följer en jämförelse mellan olika system för geologisk deponering. De är system baserade på:

- KBS-3-metoden,
- långa tunnlar,
- djupa borrhål,
- torrt varmt lager (WP-cave).

Av de studerade systemen uppfyller inkapsling i kopparkapslar och deponering på ca 500 m djup, det vill säga KBS-3-metoden, bäst de ställda kraven. I rapporten presenteras motiven för valet av KBS-3 som huvudalternativ för det fortsatta arbetet.

Den här aktuella systemanalysen är avgränsad till systemet för omhändertagande av använt kärnbränsle. Systemdefinitionen och avgränsningen innebär att de delar av programmet som är utanför systemet beskrivs i den omfattning som är nödvändig för att klarlägga kopplingar till det studerade systemet. Det innebär t ex att beskrivningen av ett framtida förvarssystem för låg- och medelaktivt långlivat avfall begränsas till vad som erfordras för att belysa kopplingarna till det nu studerade systemet. En sådan koppling är möjligheten av en framtida samlokalisering av dessa slutförvar.

Det planerade systemet för djupförvaring rymmer möjligheter till tekniska förändringar under de kommande årens detaljeringsarbete. Det ger stor handlingsfrihet beträffande tidsplaner och lokalisering av olika anläggningar ingående i systemet.

Syftet med systemanalysen för använt kärnbränsle är att visa:

- att säkerheten kan uppfyllas i alla delar av systemet,
- att det går att finna en rimlig balans mellan de åtgärder som vidtas och uppnådd säkerhet. Detta gäller balans dels i säkerheten under drift för de olika anläggningarna, dels mellan kortsiktiga och långsiktiga konsekvenser av olika åtgärder,

- de kopplingar som finns mellan olika delar av systemet och leden i genomförandet, samt hur dessa kopplingar påverkar säkerheten. En uppenbar koppling föreligger t ex mellan kvalitetskontrollen vid tillverkning av kapslar, tillförlitligheten vid förslutning av kapslarna, risken för skador i samband med hantering och transport av kapslarna och kapslarnas långsiktiga funktion i djupförvaret. En annan koppling finns mellan kvaliteten vid driften av djupförvaret, d v s deponeringen av enskilda avfallskollin, och den långsiktiga säkerheten,
- den handlingsfrihet som finns för tidsplaner och lokalisering av olika anläggningar ingående i systemet,
- hur olika variationer i systemutformning påverkar säkerheten på kort och lång sikt.

Allt eftersom utbyggnaden av systemet går framåt kommer allt mer detaljerade systemanalyser att presenteras.

1.6 Referenser

- 1-1 Systemredovisning av djupförvaring enligt KBS-3-metoden. SKB rapport R-98-10. September 1998.
- 1-2 Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall. Betänkande av AKA-utredningen. SOU 1967:30 Del 1, SOU 1976:31 Del II, SOU 1976:41 Bilaga.
- 1-3 Villkorlagen 1977:140. Lagen om särskilt tillstånd att tillföra reaktorbränsle.
- 1-4 Program för forskning m m angående kärnkraftavfallens behandling och slutförvaring. Miljödepartementet – Regeringsbeslut 25. Stockholm, 1996-12-19.
- 1-5 FUD-program 98. Kärnkraftavfallens behandling och slutförvaring. Program för forskning och utveckling och demonstration av inkapsling och geologisk förvaring. Kapitel 6. SKB, Stockholm, september 1998.
- 1-6 SKI:s utvärdering av SKB:s FUD-program 98 SKI PM 99:16, Stockholm, april 1999.
- 1-7 SKI:s och SSI:s granskning av SKB:s systemredovisning i FUD-programmet 98 SKB:s systemanalys SKI PM 99:18, Stockholm, april 1999.
- 1-8 Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle – KBS-3. Del I-IV. SKBF/SKB, Stockholm, maj 1983.
- 1-9 Systemanalys – Val av strategi och system för omhändertagande av använt kärnbränsle. SKB Rapport R-00-32.

2 Översikt av KBS-3-systemet

Beskrivningen i denna översikt är avsedd att ge en överblick beträffande:

- systemets uppgift,
- det använda kärnbränslet,
- krav på systemet,
- ingående anläggningar,
- övergripande planering.

2.1 Systemets uppgift och avgränsningar

Den uppgift som ska lösas av det här analyserade systemet avser överföring av använt kärnbränsle lagrat i CLAB till slutförvaring i ett geologiskt djupförvar enligt KBS-3-metoden. Systemet ska utformas på sådant sätt att det kan visas leva upp till alla gällande svenska krav på ett sådant förvar.

2.2 Det använda kärnbränslet

Huvuddelen av de radioaktiva ämnen (ca 99 %), som bildas i ett kärnkraftverk finns i det använda bränslet. När dessa sönderfaller utsänds joniserande strålning. Denna kan vara av olika typ: alfa-, beta-, gamma- och neutronstrålning. De har olika genomtränglighet och skadeverkan:

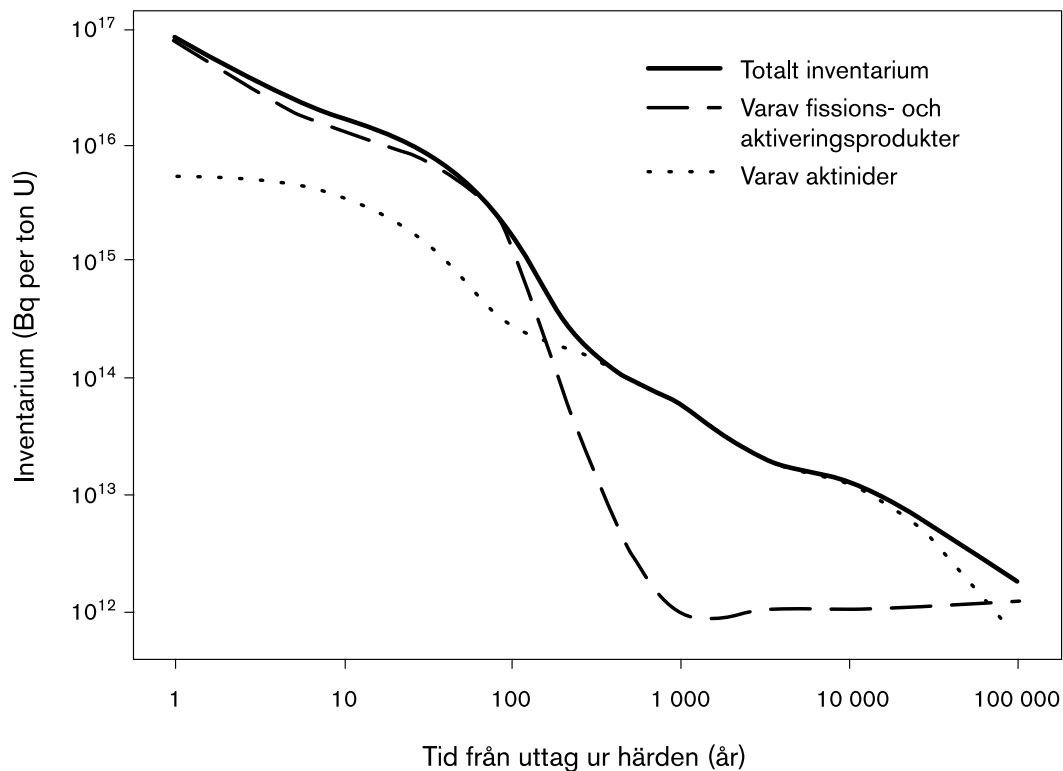
- Alfastrålning har kort räckvidd och bromsas lätt av till exempel ett papper. För att alfastrålningen ska kunna orsaka skada hos en människa måste den komma in i kroppen t ex via föda eller inandning.
- Betastrålning har längre räckvidd än alfastrålning, men kan bromsas av till exempel grova kläder. Betastrålning kan skada ytliga organ som ögon och hud, samt förorsaka inre skador på närliggande vävnad om den kommer in i kroppen.
- Gammastrålning har lång räckvidd i luft, men stoppas av ämnen med hög densitet. Gammastrålning kan tränga långt in i biologisk vävnad och därför ge upphov till skador vid såväl yttre bestrålning som när det gammastrålände ämnet kommer in i kroppen.
- Neutronstrålning har lång räckvidd i luft och bromsas av tyngre ämnen ungefär som gammastrålning men effektivast av lättare ämnen såsom väte. Vatten och plaster rika på väteatomer utgör god skärmning. Neutronstrålning kan tränga långt in i biologisk vävnad och ge upphov till skador vid yttre bestrålning. Den ger även skador om det neutronstrålände ämnet kommer in i kroppen.

Ett kärnbränsleelement används under tre till sju år i reaktorn. Energi har därvid frigjorts genom kärnklyvningar av i bränslet ingående uranatomer och bildade plutonium-atomer. När kärnbränslet tas ut är det starkt radioaktivt och avger värme. Största andelen radioaktivitet finns i klyvningsprodukterna, men även i de så kallade transuranerna, som bildats genom absorption av neutroner i uran. Till transuranerna hör t ex plutonium, americium och curium. Klyvningsprodukterna utgör 3–4 vikts-% av det använda kärnbränslet och transuranerna ca 1 %. Kärnbränslet utgörs dock huvudsakligen av uran, som inte förbrukats och som till största delen består av den lågstrålande men svårklyvbara isotopen ^{238}U .

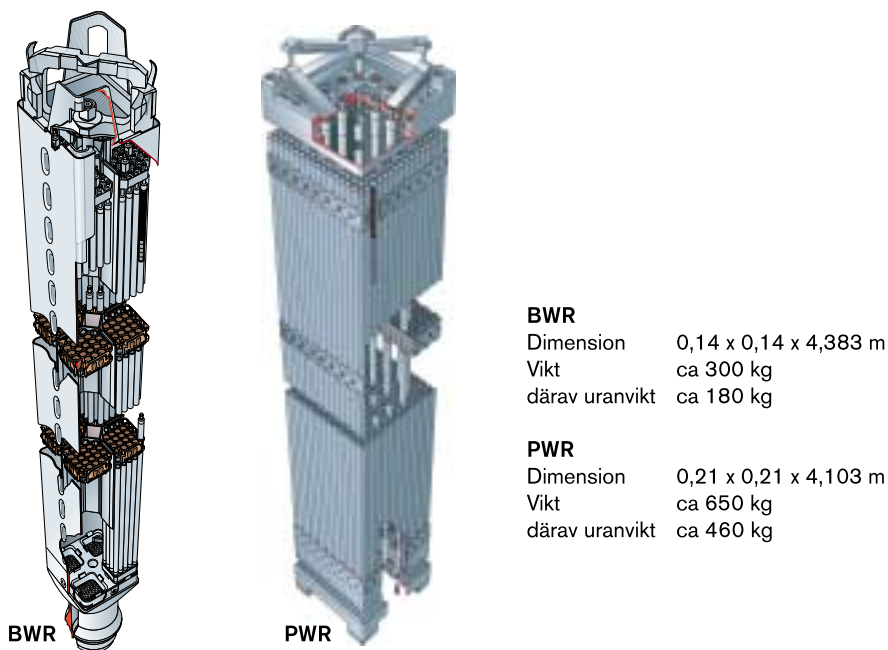
Vid de radioaktiva ämnenas sönderfall avges strålning. Sönderfallet leder också till att mängden kvarvarande radioaktiva ämnen minskar. Även på mycket lång sikt, mer än tusen år, innehåller kärnbränslet emellertid alltjämt stora mängder radioaktiva ämnen, huvudsakligen sådana som är alfastrålande.

Strålningen kräver att det använda bränslet hanteras med strålskärning. Detta sker antingen i bassänger, där vatten ger erforderlig strålskärning och kylning, i kraftiga behållare vid transport eller i slutna celler med tjocka betongväggar. I sådana behållare och celler sker kylningen med luft.

Efter några hundra år i djupförvaret är det främst kärnbränslets innehåll av alfastrålande ämnen, de som är farligast om de kommer in i kroppen, som har betydelse. Kärnbränslet behöver därför omges med barriärer som förhindrar att dessa ämnen kommer ut och i kontakt med människan och naturen.



Figur 2-1. Radioaktivitet i bränsleelement av typen SVEA 96.



Figur 2-2. Bränsleelement för kokvattenreaktor (BWR) och tryckvattenreaktor (PWR).

Det använda kärnbränslet är kemiskt sett sammansatt av ett stort antal grundämnen, av vilka några är tungmetaller. Bränslet har således även en kemisk giftighet. Bränslets radiologiska farlighet dominerar dock över den kemiska under mycket lång tid.

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

Ur hanterings- och djupförvaringssynvinkel är skillnaderna mellan olika bränsletyper för BWR respektive PWR allmänt sett av relativt liten betydelse. Den främsta skillnaden är att bränslet har olika initial anrikning, det vill säga halt av ^{235}U , vilket har betydelse när man beräknar säkerhet mot kriticitet. Hanteringen av bränslet utformas så att denna säkerhet garanteras.

Mängden bränsle som årligen förbrukas i en reaktor räknas ofta i vikten uran, ton U. Den är mellan 15 och 25 ton beroende på reaktorns storlek. Bränsleelementens totalvikt är cirka 50 % större. Totalt beräknas det svenska kärnkraftsprogrammet ge upphov till ca 9 400 ton U använt bränsle, baserat på att reaktorerna beräknas drivas i 40 år /2-2/.

I nuvarande planering för CLAB anges 8 000 ton bränsle motsvara ca 40 000 bränsleelement från BWR och ca 5 000 bränsleelement från PWR. I denna mängd ingår annat bränsle som ska tas om hand i Sverige: ca 20 ton bränsle från Ågesta-reaktorn, ca 23 ton MOX-bränsle med tyskt ursprung och ca 3 ton inkapslade bränslerester från experimentverksamhet i Studsvik. Dessa bränslen kan hanteras på liknande sätt som övrigt bränsle, men kommer att kräva speciell hanteringsutrustning. Tabell 2-1 utgör en sammanställning av mängden använt kärnbränsle och kapselantal vid 40 års reaktordrift.

Tabell 2-1. Mängder använt kärnbränsle och antal kapslar vid 40 års reaktordrift.

Bränsletyp	Antal bränsleelement	Totalvikt, ton U	Antal kapslar
BWR-bränsle	38 400	7 000	3 200
PWR-bränsle	4 900	2 290	1 230
Övriga bränsletyper	641	46	35
Summa	–	9 336	4 465

2.3 Krav på systemet

Systemet ska leva upp till en rad olika krav:

- lagar och förordningar,
- kapacitetskrav,
- säkerhetskrav,
- strålskyddskrav,
- safeguards och fysiskt skydd,
- miljökrav.

Därutöver behöver utformningen av systemet ta hänsyn till en rad olika tekniska och ekonomiska faktorer, och en avvägning eller optimering mellan dessa måste göras.

2.3.1 Lagar och förordningar

Av gällande föreskrifter och förordningar för denna typ av anläggningar är det i första hand följande som ställer krav på systemets utformning:

- Lagen om kärnteknisk verksamhet (SFS 1984:3) /2-3/.
- Strålskyddslagen (SFS 1988:220) /2-4/.
- Föreskrifter kopplade till dessa lagar från tillsynsmyndigheterna SKI och SSI.
- Miljöbalken (SFS 1998:808) /2-5/.
- Allmänna krav på industriell verksamhet t ex arbetarskydd.

Sverige har ratificerat IAEA:s avfallskonvention /2-6/. I januari 2000 hade 40 länder undertecknat och 13 ratificerat konventionen. Den träder i kraft när 25 länder ratificerat konventionen, varav 15 länder ska ha kärnkraftreaktorer. Konventionen innehåller allmänna krav på ett system för omhändertagande av använt kärnbränsle.

IAEA:s avfallskonvention ställer följande krav på utformningen av systemet:

- Ansvaret för omhändertagande av de radioaktiva restprodukterna åligger det land som har producerat avfallet.
- Avfallet ska hanteras på ett sådant sätt att framtida generationer inte utsätts för större risker än vad som accepteras idag. Hanteringen får heller inte medföra orimliga bördor för framtida generationer.

2.3.2 Kapacitetskrav

Den nuvarande planeringen utgår från en årlig inkapslings- och deponeringskapacitet av 200 kapslar per år. Deponeringskapaciteten baseras på att deponeringstakten 1 kapsel per dag har bedömts möjlig och att 200 arbetsdagar per år är rimligt. Den faktiska kapaciteten kommer att bestämmas i ett senare skede när bättre beslutsunderlag föreligger.

2.3.3 Säkerhetskrav

Säkerheten under anläggningarnas drift bygger på principer som redan är etablerade i befintliga anläggningar. Hanteringen i nya anläggningar kommer att följa samma principer. Ett av de viktigare säkerhetskraven är att kriticitet inte ska kunna uppstå i någon del av hanteringen. Det är framför allt bränsle som inte är fullt utbränt som måste beaktas. Alla led i arbetet utformas så att kriticitet inte kan uppstå.

Den långsiktiga säkerheten efter förslutning av djupförvaret aktualiserar nya frågeställningar. Hänsyn måste bland annat tas till att möjligheten att vidta korrigerande åtgärder eller att stänga av verksamheten försvåras med tiden. Statens strålskyddsinstitut, SSI, har publicerat föreskrifter för skydd vid omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall /2-7/. SKI har i juli 2000 utsänt ett förslag till föreskrifter om säkerheten vid slutförvaring av kärnavfall på remiss. Föreskrifterna utgår från att människors hälsa och miljö ska skyddas i enlighet med Statens strålskyddsinstituts föreskrifter, se avsnitt 2.3.4.

De säkerhetskrav som ställs på ett system för omhändertagande av använt kärnbränsle är formulerade utifrån lagen om kärnteknisk verksamhet och föreskrifter kopplade till den och kan sammanfattas enligt följande:

- Säkerheten ska vila på passiva barriärer med flera barriärfunktioner.
- En brist som kan uppkomma i en barriärfunktion får inte påtagligt förändra förvarets säkerhet.
- Händelser eller förhållanden som kan påverka systemets funktion och åtgärder avsedda att förhindra och/eller mildra konsekvenserna av störningar eller haverier ska identifieras. Det ska visas att systemet har acceptabel tålighet om dessa händelser eller förhållanden skulle inträffa.
- Störningar och haverier ska i största möjliga utsträckning förebyggas.
- Det system som används för omhändertagande av använt kärnbränsle ska vara tåligt mot felfunktioner hos ingående delar och ha hög tillförlitlighet.
- En anläggning för slutförvar av använt kärnbränsle ska vara konstruerad så att efter förslutning av förvaret ska barriärerna ge den säkerhet som erfordras utan övervakning och underhåll.
- I första hand ska beprövade konstruktionsprinciper och konstruktionslösningar användas för utformning av ett system för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle. Om detta inte är möjligt eller rimligt, ska en utprovning och utvärdering ske för att verifiera att funktion och beteende hos ingående system och komponenter är inom de antaganden som görs i säkerhetsanalysen.

2.3.4 Strålskyddskrav

Hantering av radioaktivt avfall måste genomföras med hänsyn till etablerade principer för skydd mot joniserande strålning. Kraven på strålskydd för både kärnreaktorer och avfallsanläggningar regleras i strålskyddslagen och i föreskrifter utgivna av SSI. Föreskrifterna grundar sig i huvudsak på internationellt etablerade principer för hur strålskydd ska utformas.

Dessa principer innebär bland annat att en verksamhet som innehåller hantering av radioaktivt material ska vara berättigad (nyttig) för att över huvud taget få förekomma. Dessutom ska strålskyddet vara så starkt som det är ekonomiskt och tekniskt möjligt och rimligt. Individer ska vara garanterade ett skydd genom att hanteringen utformas så att uppställda gränser för doser inte överskrids. Inte bara människan utan också flora och fauna ska skyddas. Skyddet ska vara likvärdigt för dagens och kommande generationer och för individer inom och utom nationsgränsen. Strålskyddet i hantering och långsiktig förvaring ska vara likvärdigt med det som gäller inom annan radiologisk verksamhet, t ex reaktordrift.

Många av de föreskrifter som gäller för kärnkraftverken är tillämpbara även för avfallshanteringssystemet. För kärnkraftverken är den kraftiga energiutvecklingen en väsentlig faktor, men i avfallsanläggningarna finns det sällan några drivande krafter för snabba förlopp, varför kraven för dessa förenklas. Säkerhetsmyndigheterna arbetar med att ta fram specifika föreskrifter för anläggningarna som ingår i avfallshanteringssystemet.

SSI har utfärdat strålskyddsföreskrifter för personal som arbetar vid kärntekniska anläggningar. Föreskrifterna baseras på rekommendationer från den internationella strålskyddskommissionen, ICRP, om högsta tillåtna stråldoser till olika personkategorier. Enligt dessa rekommendationer ska helkroppsdosen för personal inte överskrida 50 mSv under ett enstaka år eller 100 mSv under en femårsperiod. Man förutsätter dock att ambitionen ska vara att den årliga helkroppsdosen inte överstiger 5 mSv/år. Dessutom anger SSI ett maximum för livstidsdosen. I SSI:s föreskrifter betonas vikten av att tillämpa den så kallade BAT-principen (Best Available Technology) som innebär att stråldoserna ska vara så låga som rimligtvis kan uppnås med hänsyn till ekonomiska och sociala faktorer vid planering av strålskyddsarbetet. Vidare krävs strålskyddsutbildning av personal och ett dokumenterat strålskyddsprogram. Kärntekniska anläggningar ska ha en radiologisk föreståndare för strålskyddsverksamheten med uppgifter och befogenheter som regleras av SSI:s föreskrifter.

När det gäller utsläpp till omgivningen vid drift av kärntekniska anläggningar anges begränsningar i föreskrifter från SSI. Begränsningarna gäller för en hel anläggning och inte för enstaka enheter inom anläggningen. Detta innebär att om t ex inkapslingsanläggningen lokaliseras i anslutning till en annan kärnteknisk anläggning kommer utsläppsbegränsningarna att gälla de sammanlagda utsläppen från dessa. Enligt EU-direktiv ska individer ur allmänheten inte utsättas för högre stråldos än 1 mSv per år totalt till följd av all verksamhet med strålning. Utsläppen från en anläggning ska enligt SSI:s föreskrifter inte ge upphov till en dos som överstiger 0,1 mSv per år för en person i kritisk grupp, det vill säga den fiktiva grupp människor som på grund av levnadsvanor och vistelseort får den högsta stråldosen. Ett utsläpp som ger 0,1 mSv per år till kritisk grupp benämns normutsläpp.

Strålskyddskraven återfinns i strålskyddslagen samt föreskrifter kopplade till den /2-4/. De kan ses som ett förtydligande av miljökraven vad gäller skadlig inverkan av strålning.

- Den joniserande strålningens påverkan på människor och miljön ska beräknas och visa sig vara acceptabel, dels för de olika stegen i det slutliga omhändertagandet av använt kärnbränsle och kärnavfall, dels i framtiden.
- Ett slutförvar för använt kärnbränsle och kärnavfall ska utformas så 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. Sannolikheten för skadeverkningar på grund av stråldos ska beräknas med de sannolikhetskoefficienter som redovisas i ICRP publikation Nr 60 1990 /2-8/.
- Slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle eller kärnavfall ska göras så att biologisk mångfald och hållbart utnyttjande av biologiska resurser skyddas mot skadlig verkan av joniserande strålning.
- Vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska optimering ske och hänsyn tas till bästa möjliga teknik. Med ”optimering” och ”bästa möjliga teknik” menas följande:
 - Optimering – begränsning av stråldoser till människor så långt detta rimligen kan göras med hänsyn tagen till såväl ekonomiska som samhällseliga faktorer.
 - Bästa möjliga teknik – den effektivaste åtgärden för att begränsa utsläpp av radioaktiva ämnen och utsläppens skadliga effekter på människors hälsa och miljön, och som inte medför orimliga kostnader.

2.3.5 Safeguards

Sverige har genom internationella överenskommelser, till exempel icke-spridningsavtalet, Euratomfördraget och flera bilaterala avtal, förbundit sig att använda kärnämnen enbart för fredligt bruk, samt åtagit sig att redovisa all hantering av kärnämnen bland annat det använda kärnbränslet. Sverige har också accepterat att allt material av denna typ står under internationell kontroll. Detta kontrollsystem, som administreras av IAEA (International Atomic Energy Agency), kallas på engelska för safeguards.

Icke-spridningsavtalets avsikter är att förhindra spridningen av kärnvapen och kärnvapentechnik, att uppmuntra den fredliga användningen av kärnenergi, och att befrämja målet att uppnå allmän och fullständig avrustning. Avtalet etablerar ett safeguardssystem under IAEA:s ansvar. IAEA spelar också en central roll i avtalet beträffande tekniköverföring för fredlig användning.

Safeguardskontrollen syftar till att kontrollorganen i tid ska upptäcka om material avleds från systemet. Det är därför uppbyggt så att man inom en viss tid upptäcker om en viss kvantitet avleds. Då olika material är olika lättillgängliga för att användas till kärnvapen anges för varje typ av material, t ex natururan, plutonium eller torium, en minsta kvantitet som ska upptäckas och en längsta tid inom vilken upptäckten ska ske.

För hantering av använt bränsle vid kärnkraftverken och CLAB finns ett väl etablerat system för att uppfylla safeguardskraven. Det innefattar dokumentation av alla åtgärder som genomförs och där ingår också frekventa och ibland oanmälda kontroller av Euratom och IAEA. Kontrollen underlättas av att bränslet vid varje tidpunkt är åtkomligt för verifiering och mätning. För inkapslingsanläggningen bedöms huvudsakligen befintligt system kunna användas.

Efter inkapsling försämras möjligheterna till verifiering och mätning. Det ställer nya krav på kontrollfunktionerna. IAEA har givit ut ett utkast till policy för safeguards för djupförvar. Där slås bland annat fast att safeguardskontroll ska upprätthållas även sedan förvaret har återfyllts och förslutits.

2.3.6 Fysiskt skydd

Allmänt

Kravet på fysiskt skydd avser åverkan på eller stöld av kärnämne, och syftar ytterst till att förhindra obehörig åtkomlighet av klyvbart material. Det använda bränslet räknas i detta sammanhang som kärnämne även när det är inkapslat. Tillsynsmyndighet vad gäller fysiskt skydd är SKI. För etableringen av det fysiska skyddet svarar, enligt SKI:s föreskrifter, den organisation som enligt kärntekniklagen har tillstånd att inneha eller transportera materialet.

Målsättning

Det fysiska skyddet utformas för att:

- förhindra stöld och bortförande av behållare med använt kärnbränsle,
- förhindra avsiktlig åverkan på behållare och kapslar, som skulle kunna skada innehållet och /eller medföra fara för omgivningen.

Genom etableringen av ett sådant system uppnås bland annat:

- att annan olyckshändelse eller skadegörelse än som avses ovan kan upptäckas,
- minskad risk att hot om stöld eller skadegörelse får avsedd verkan.

Utförande

All hantering av bränsle är omgärdad av fysiskt skydd. Det fysiska skyddet omfattar den bevakning och andra åtgärder som vidtas för att skydda bränslet från stöld eller åverkan.

Det system för kommunikation och övervakning som tillämpas vid dagens transporter och lagring av använt bränsle och radioaktivt avfall kan tjäna som mall för kommande anläggningar. Det uppfyller dels kraven på fysiskt skydd, dels SKB:s och driftorganisationernas behov av kommunikation och uppföljning under pågående verksamheter. I detta fall är SKB både avsändare, transportör, mottagare och ansvarig för lagring och förvaring. Ansvaret för det praktiska genomförandet regleras genom avtal mellan SKB och dess entreprenörer.

Systemet består av en kombination av tekniska och administrativa åtgärder, som dels fysiskt skyddar godset, dels möjliggör snabb upptäckt och larm, om något onormalt förhållande uppstår.

Det exakta utförandet utgör sekretessbelagd information. Sekretessen, som i sig är säkerhetshöjande, gäller sådant som rapporteringsrutiner, tekniska övervakningssystem och dylikt. Själva transporterna, transporttiderna etc, varken kan eller behöver hemlighållas.

Vid djupförvaret kommer driftområdet att vara inhägnat med staket. Tillträde till området kommer att vara reglerat och kontrollerat som vid dagens kärntekniska anläggningar.

2.3.7 Miljökrav

Systemet för omhändertagande av använt bränsle ska även uppfylla de miljökrav som har formulerats i miljöbalken /2-5/:

- En hållbar utveckling ska främjas som innebär att nuvarande och kommande generationer tillförsäkras en hälsosam och god miljö.
- Människors hälsa och miljön ska skyddas mot föroreningar och annan påverkan.
- Mark, vatten och fysisk miljö i övrigt används så att en från ekologisk, social, kulturell och samhällsekonomisk synpunkt långsiktigt god hushållning tryggas.
- Återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi främjas så att ett kretslopp uppnås.

2.3.8 Avvägning mellan säkerhet på kort och lång sikt

Ett djupförvarssystem består av såväl en aktiv fas med mellanlagring och hantering av använt bränsle som en passiv fas efter förslutning av ett djupförvar. Under hantering och mellanlagring måste krav på säkerhet och dosbegränsning vara uppfyllda för berörd personal och för allmänheten, och mer generella målsättningar om att begränsa dosen till människa så långt det är möjligt måste beaktas. Samtidigt måste den långsiktiga säkerheten efter förslutning av djupförvaret säkerställas. För att kraven under båda faserna ska uppfyllas kan vissa avvägningar behöva göras mellan den långsiktiga och kortsiktiga säkerheten. Exempel på sådana avvägningar är:

- Omfattande hantering av avfall kan ge upphov till dosbelastning och risker under drift av anläggningarna. Målsättningen är att uppnå en hög kvalitet hos det konditionerade avfallet och minskade långsiktiga risker. En rimlig balans måste därför uppnås.
- Lagring i ett övervakat förvar ger god kontroll och säkerhet. Om kontrollen och övervakningen av någon anledning måste upphöra blir emellertid riskerna högre än om avfallet hade placerats i ett slutet förvar. En lämplig tidpunkt för en överföring från ett övervakat till ett slutet djupförvar måste därför bestämmas.
- Bedömningarna av riskerna i de olika stegen av djupförvarssystemet, definierade som sannolikhet för en viss händelse multiplicerad med dess konsekvens, innehåller alltid en osäkerhet som kan vara olika stor för de olika stegen. Generellt sett är dock osäkerheten större när det gäller att bedöma händelser långt in i framtiden. Hänsyn måste tas till dessa aspekter när en avvägning görs mellan långsiktig och kortsiktig säkerhet.
- Kapselns utformning med en gjuten insats av järn ger en enklare och säkrare hanteringsprocess jämfört med alternativen som till exempel fyllning med smält bly som innebär inkapsling under hög temperatur och högt tryck. Samtidigt kan den valda tekniken på mycket lång sikt leda till att det sker en gasutveckling i förvaret som kan komplicera säkerhetsanalysen över långa tider. Bevisbarheten för den långsiktiga säkerheten får vägas mot säkerheten vid hantering som klart förbättras jämfört med hantering av alternativa kapselutformningar.

2.4 KBS-3-systemet

2.4.1 KBS-3-metoden

Systemet är baserat på KBS-3-metoden, som är en metod för inkapsling av använt kärnbränsle i kopparkapslar med deponering i svensk berggrund där kapseln omges av en buffert av högkompakterad bentonitlera.

Bränslet hämtas från CLAB, där det förvarats i 30–40 år, och placeras i täta kopparkapslar med en insats av gjutjärn. Kapslarna transporteras därpå ned till ett djupförvar bestående av ett system av horisontella tunnlar på 400–700 meters djup i berggrunden. Tunnelarna beräknas bli ca 250 m långa och placeras på ca 40 meters avstånd från varandra. I tunnelarnas botten finns deponeringshål med ca 6 meters mellanrum. Kopparkapslarna deponeras i deponeringshålen och omges med en buffert av bentonit. Då deponeringen är klar fylls tunnlar och schakt med en blandning av bergkross och bentonit.

Den täta kopparkapseln håller det använda bränslet helt inneslutet. Bufferten av bentonitlera skyddar kapseln mot korrosionsangrepp och bergrörelser. Om en läckande spricka skulle uppstå i någon kapsel, hindrar bufferten tillsammans med oskadade delar av kapseln vatten att tränga in i kapseln, och även uttransport av radioaktiva ämnen från kapseln hindras. Berget bidrar med en miljö där de tekniska barriärernas funktion bevaras över mycket långa tider. Berget och förvarsdjupet håller det använda bränslet avskilt från människa och miljö. Vid ett eventuellt läckage från en kapsel hålls radionuklider kvar och fördröjs, dels i bentoniten och dels i berget, genom låg vattenomsättning på förvarsdjupet och genom att de radioaktiva ämnena tenderar att fastna på mineralytor i bentonit och berg.

Varianter av KBS-3-systemet karakteriseras av olika detaljutformningar av kapseln, flera kapslar per deponeringshål, vertikala eller horisontella deponeringshål och olika återfyllnadsmaterial i tunnelarna.

2.4.2 Ingående anläggningar i systemet

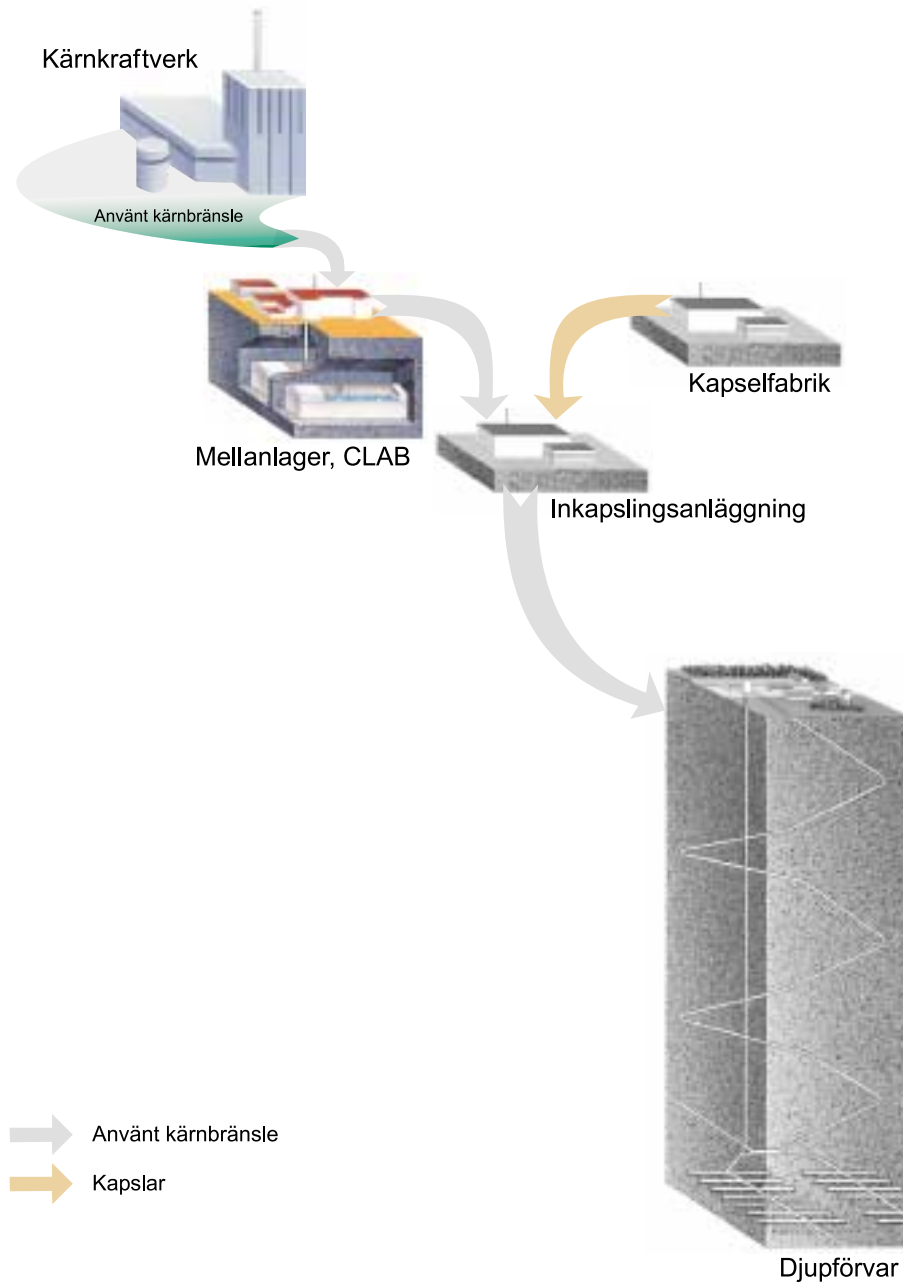
Den praktiska tillämpningen av metoden kräver ett system av samverkande anläggningar och transportsystem. Systemet består av följande delar:

- centralt lager för använt bränsle (CLAB), i drift sedan 1985,
- en kapselfabrik för tillverkning av kopparkapslar med insatser,
- en inkapslingsanläggning för överföring av använt bränsle till kopparkapslar och förslutning av dessa,
- ett djupförvar för deponering av de med använt bränsle fyllda kopparkapslarna,
- ett transportsystem för transport av använt bränsle och de med använt bränsle fyllda kopparkapslarna.

Alla delar i systemet utom kapselfabriken är kärntekniska anläggningar, med vilket här avses att de kommer att hantera använt kärnbränsle och/eller inkapslat använt kärnbränsle. Kapselfabriken skulle kunna exkluderas från systemet eftersom det handlar om en anläggning för att producera en insatsvara i systemet. Eftersom kvalitetskraven på produkten är en viktig parameter i systemets säkerhet och logistik har det bedömts lämpligt att inkludera anläggningen i systemet.

Systemet har en konfiguration som framgår av figur 2-3.

Uppdelningen av systemet i ett flertal anläggningar med skilda funktioner ger stora frihetsgrader beträffande utformningen av varje anläggning med avseende på kapacitet, teknik m m och i lokaliseringen av de olika anläggningarna/systemdelarna, och därmed hur transporterna ordnas. Alternativa lösningar och val av huvudalternativ i dessa avseenden redovisas i följande avsnitt.



Figur 2-3. Systemet för ombändertagande av använt kärnbränsle.

2.5 Kopplingar till andra delar av SKB:s program

Systemet har kopplingar till andra delar av SKB:s program. Ett försök att illustrera detta framgår av figur 2-4 där befintliga anläggningar anges i färg medan framtida anläggningar och förvar är svart/vita för att visa att de ännu befinner sig i olika stadier av utredningar.

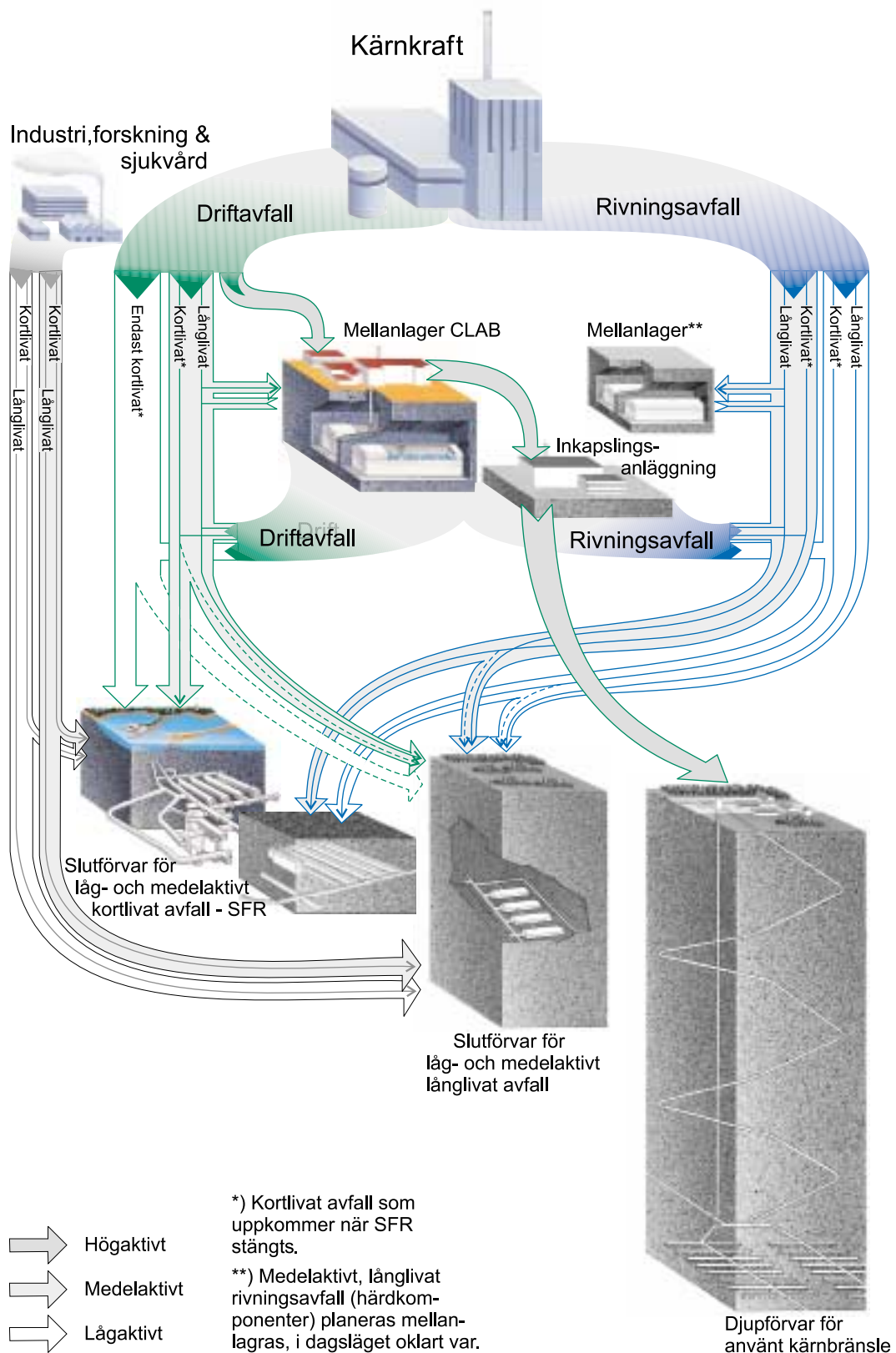
Mellanlagret för hårdkomponenter och interna delar har i figuren visats som en fristående enhet men det skulle till exempel kunna vara lokaliserat i framtida bergrum i SFR i Forsmark.

Slutförvaret för det låg- och medelaktiva långlivade avfallet, är också visad som en fristående anläggning. I SKB:s planering kan detta slutförvar vara lokaliserat i anslutning till djupförvaret för använt kärnbränsle, vid SFR-anläggningen eller på någon annan plats.

Nedanstående tabell 2-2 utgör en sammanställning av de alternativa lokaliseringar som är möjliga och som diskuteras i olika sammanhang och i denna rapport. Endast anläggning 1 till 5 beskrivs och analyseras i denna rapport.

Tabell 2-2. Anläggningar och alternativa lokaliseringar i KBS-3-systemet.

Nr	Anläggning	Lokalisering
1.	Mellanlager för använt kärnbränsle, CLAB, Etapp 1 och 2	Lokaliserat till Simpevarp, inga alternativ
2.	Inkapslingsanläggning	<ul style="list-style-type: none">• CLAB• Djupförvaret för använt kärnbränsle• Annan kärnteknisk anläggning• Annan plats
3.	Kapselabrik	<ul style="list-style-type: none">• Platser med lämplig infrastruktur
4.	Transporter	<ul style="list-style-type: none">• Transporterna anpassas till lokaliseringen av övriga anläggningar
5.	Djupförvar för använt kärnbränsle	<ul style="list-style-type: none">• Kustläge• Inlandsläge
6.	Mellanlager för hårdkomponenter och interna delar	<ul style="list-style-type: none">• Bassänger i CLAB• Torrt i separata bergrum vid till exempel SFR
7.	Slutförvar för låg- och medelaktivt långlivat avfall, så kallat annat avfall	<ul style="list-style-type: none">• Djupförvaret för använt bränsle• SFR i Forsmark• Annan plats
8.	Slutförvar för låg- och medelaktivt kortlivat avfall (huvudsakligen från drift- och rivning av kärnkraftverk)	SFR i Forsmark. Tillstånd finns för driftavfall. Ny ansökan och tillstånd krävs för uppförande av ett slutförvar för rivningsavfall



Figur 2-4. Befintliga och planerade anläggningar inom avfallsprogram.

2.6 Tidsplanering för KBS-3-systemet

Det långsiktiga målet för SKB:s verksamhet är att på ett säkert sätt hantera och slutförvara allt använt kärnbränsle och radioaktivt avfall från de tolv kärnkraftverken, CLAB och inkapslingsanläggningen. Dessutom ska dessa anläggningar rivras och det radioaktiva avfallet från rivningen ska också hanteras och slutförvaras i enlighet med Kärntekniklagen §10–§12.

För styrning av SKB:s verksamhet utarbetas vart tredje år en 6-årsplan (FUD-rapport) i enlighet med krav i Kärntekniklagen. Långtidsplaneringen omfattar dels en 15-årsplan, dels en övergripande ”totalplan” med en längd på ca 50 år. I långtidsplaneringen antas att kärnkraftverken drivs i 40 år vilket ger ca 9 400 tonU använt bränsle. Vid inkapsling medför detta att ca 4 500 kapslar ska slutförvaras.

Nu gällande planering för djupförvaret innebär att den inledande driften inleds omkring 2015 med deponering av de första kapslarna. Inkapslingsanläggningen planeras vara klar något år tidigare. Den inledande driften planeras att omfatta 5 till 10 % av den totala mängden använt kärnbränsle. Detta skulle motsvara ca 200 till 400 kapslar.

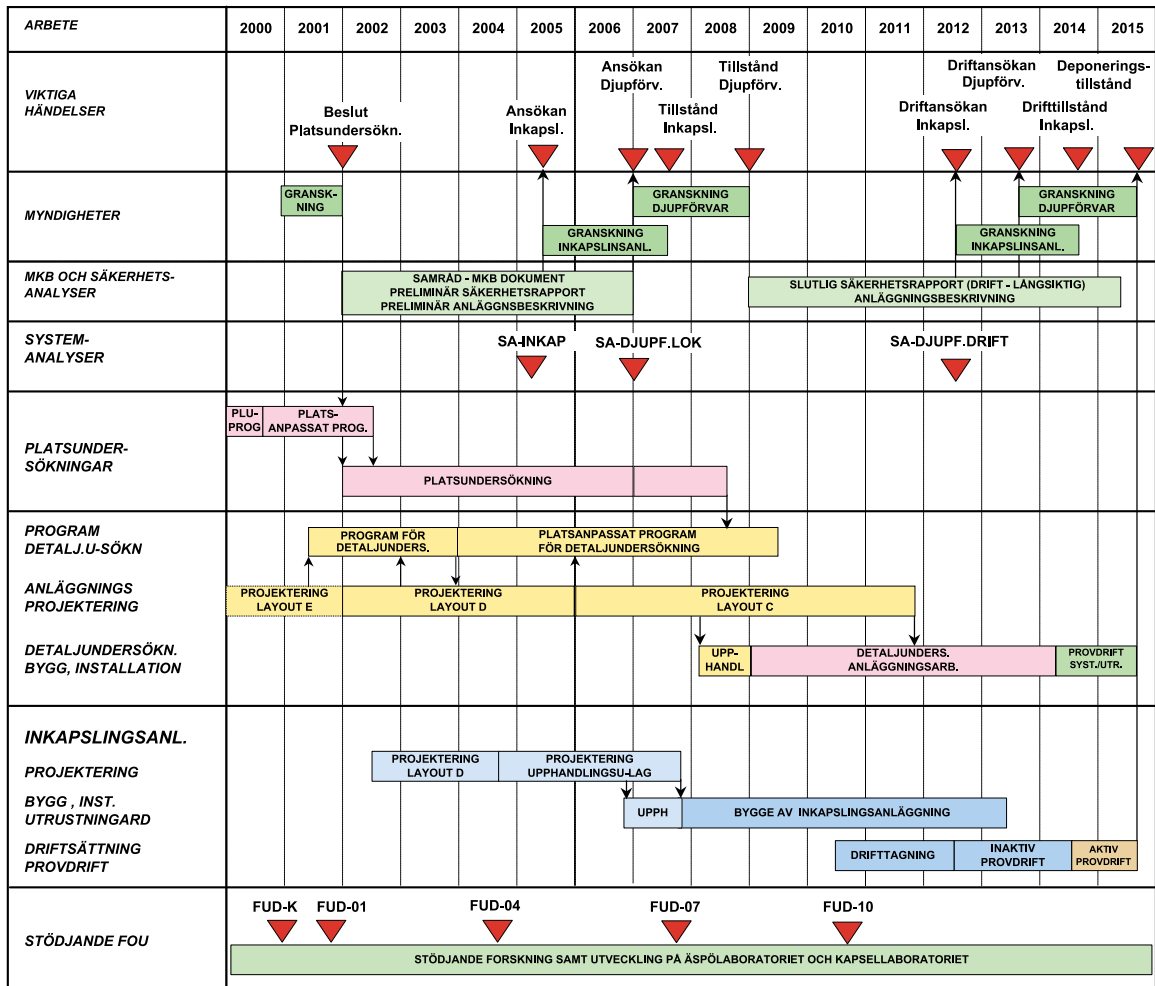
Utvärderingsperioden inför den reguljära driften bör starta så snart som möjligt och pågå parallellt med den inledande driften. Därigenom kan uppehållet mellan inledande drift och reguljär drift minimeras. Tillstånd för reguljär drift antas föreligga senast 2025. Då ska resterande kapslar produceras och deponeras, ca 4 100 till 4 300, under cirka 25 år. Systemet för inkapsling och djupförvaring dimensioneras för en kapacitet på ca 200 kapslar per år. Ovanstående planeringsscenario för djupförvaret innebär att mellanlagring av bränsle i CLAB förutsättes pågå till omkring 2050.

Lagringsutrymmena i CLAB behöver inte utökas om tillstånd för reguljär drift i djupförvaret erhålles enligt ovan. Kompaktkassetter kan dock behöva anskaffas till bergrum 2 i ett senare skede. Beslut om en sådan investering behöver inte tas förrän omkring 2015. En förutsättning är också att bassängutrymmena i CLAB inte belastas med mer hårdkomponenter än nödvändigt. I huvudsak ska det enbart vara styrstavar som mellanlagras i CLAB:s vattenbassänger. SKB studerar därför en ny strategi för hanteringen av hårdkomponenter så att dessa kan mellanlagras på annan plats. Tekniska möjligheter finns till torr mellanlagring av hårdkomponenter i bergsalar vilket skulle avlasta CLAB och förenkla det totala systemet.

Slutförvaret för hårdkomponenter och avfall från driften av CLAB och inkapslingsanläggningen samt långlivat avfall från Studsvik behöver därmed inte vara i drift förrän omkring 2040 då det också är dags att stänga SFR. Slutförvaret för denna typ av avfall kan då lokaliseras antingen till djupförvaret för bränsle eller till SFR, varvid driftperioden förlängs för denna anläggning.

Transporter av radioaktivt avfall samt av använt bränsle till CLAB förutsätts ske med ett sjötransportsystem uppbyggt som dagens system. Om slutförvaret för rivningsavfall lokaliseras till SFR i Forsmark så kommer alltså ett sjötransportsystem att behövas fram till dess att sista kärnkraftverket rivits. Transport av använt bränsle och kapslar till djupförvaret förutses ske till sjöss men transportsättet är beroende av lokaliseringen av inkapslingsanläggningen och djupförvaret.

Baserat på den översiktliga långtidsplanen, kan en mera detaljerad tidsplan för de närmaste 15 åren upprättas. Även denna tidsplanering innehåller osäkerheter eftersom de arbeten och anläggningar som planeras att genomföras kommer att kräva olika former av tillståndsprövning. Med denna reservation har nedanstående planeringstider upprättats för de olika anläggningarna.



Figur 2-5. SKB:s översiktliga plan för de kommande 15 åren. Angivna tider är ungefärliga och kommer att uppdateras successivt.

2.7 Referenser

- 2-1 Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle – KBS-3. Del I–IV. SKBF/SKB, Stockholm, maj 1983.
- 2-2 Kärnkraftens slutsteg. Plan 2000. Kostnaden för kärnkraftens radioaktiva restprodukter. SKB, Stockholm, juni 2000.
- 2-3 Lagen om kärnteknisk verksamhet. SFS 1984:3.
- 2-4 Strålskyddslagen. SFS 1988:220.
- 2-5 Miljöbalken. SFS 1998:808.
- 2-6 Measures to Strengthen International co-operation in Nuclear, Radiation and Waste Safety, GOV/INF/821- GC(41)/INF/12.
- 2-7 SSI:s föreskrifter om skydd av människors hälsa och miljö vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall. SSI FS 1998:1, oktober 1998.
- 2-8 ICRP, Recommendation of the ICRP. ICRP Publication Nr 60, Annuals of the ICRP 21, 1991.

3 Mellanlager för använt kärnbränsle

3.1 Anläggningens uppgift

Mellanlagrets uppgift är att förvara det använda bränslet i 30–40 år och till dess inkapsling genomförs. Under mellanlagringen minskar radioaktiviteten och värmeavgivningen i bränslet med ca 90 %, vilket förenklar hanteringen av bränslet vid inkapslingen, transporten av kapslar med bränsle samt deponeringen i djupförvaret. Slutförvarssystemet kan då utformas på ett effektivare sätt. Det äldsta bränslet som nu lagras i Centralt Lager för Använt Bränsle (CLAB) togs ur de kommersiellt drivna reaktorerna under senare delen av 1970-talet. I CLAB lagras även en mindre mängd använt bränsle från kärnkraftverket i Ågesta vilket togs ur drift 1974. Mellanlagringens utsträckning i tiden kommer att bestämmas av tidsplanen för det fortsatta arbetet med lokalisering, projektering och erhållande av tillstånd för uppförande av inkapslingsanläggningen och djupförvaret för använt kärnbränsle.

Ett centralt mellanlager för allt använt kärnbränsle från de svenska reaktorerna medför att stängning och avveckling av enskilda reaktorer inte är beroende av tidpunkten när inkapsling och slutförvaring av det använda kärnbränslet kommer till stånd.

3.2 Krav och värderingsgrunder

Kravet på mellanlagringen är att den ska vara säker vilket i korthet innebär följande:

- Bränslet får inte lagras på ett sätt som medför risk att en okontrollerad kärnreaktion uppstår.
- Bränslet får inte skadas under lagringstiden då detta skulle kunna försvåra den efterföljande inkapslingen.
- Förvaringsbyggnad med bassänger ska dimensioneras för jordbävning och skyddas mot yttre påverkan och medge ett kvalificerat fysiskt skydd för anläggningen.
- Hanteringen under transport av det använda bränslet till mellanlagret och hanteringen i mellanlagret ska uppfylla högt ställda krav på säkerhet och strålskydd.
- Gemensam central mellanlagring ska kunna ta hand om använt kärnbränsle så att bassänger i kraftverken endast behöver utnyttjas för den initiala avklingningen av bränslet i storleksordningen ett år.
- Vald metod för mellanlagringen ska vara kostnadseffektiv för det svenska avfallsprogrammet.

CLAB-anläggningen har granskats med avseende på de krav som kan ställas enligt svenska lagar och föreskrifter för den avsedda uppgiften. Granskningen har skett i samband med tillståndsprövningen för uppförande och drift av anläggningen. Sedan driftstarten har anläggningen varit föremål för tillsyn av berörda myndigheter. Redovisningen nedan ska betraktas som en beskrivning av CLAB som en del av systemet för djupförvaring av använt kärnbränsle.

3.3 Anläggnings- och processbeskrivning

3.3.1 Inledning

CLAB ligger intill Oskarshamns kärnkraftverk på Simpevarpshalvön. Anläggningen togs i drift 1985 för att kunna avlasta bränslebassängerna vid kärnkraftverken. I CLAB mellanlagras allt använt kärnbränsle från de svenska kärnkraftverken samt även skärdkomponenter som suttit i eller i närheten av reaktorhärden och därigenom blivit kraftigt radioaktiva. Lagringen i CLAB sker i vattenfyllda bassänger. All hantering av bränslet sker också under vatten. Vattnet ger strålskärning och kylning /3-1/.

CLAB dimensionerades ursprungligen för att lagra ca 3 000 ton bränsle. Samtidigt förbereddes anläggningen för att senare kunna byggas ut med ytterligare ett bergrum för förvaringsbassänger så att hela bränslemängden från det svenska kärnkraftprogrammet, ca 8 000 ton, skulle kunna lagras i CLAB. Genom övergång till ny typ av förvaringskassetter i borerat rostfritt stål med gavs tätare packning av bränslet i befintliga bassänger. I CLAB kan nu ca 5 000 ton bränsle lagras i den ursprungliga anläggningen. En utbyggnad till 8 000 ton, CLAB etapp 2, påbörjades under 1999 och den planeras stå färdig 2004. I figur 3-1 visas anläggningen i genomskärning med den pågående utbyggnaden.

3.3.2 Beskrivning av CLAB

CLAB består av en mottagningsdel ovan jord där bränsletransportbehållarna tas emot och bränslet lastas ur i urlastningsbassänger. Själva lagringen sker i förvaringsbassänger i bergrum under jord. Underjordsdelen står i förbindelse med mottagningsdelen genom en bränslehiss. I ovanjordsdelen inryms även utrustning för ventilation, vattenrening och kylning, avfallshantering, elsystem m m jämte utrymmen för administration.

Förvaringsbyggnaden ligger i ett bergrum med 20–30 meters bergtäckning och innehåller fyra förvaringsbassänger och en mittbassäng.

Vid den pågående utbyggnaden av lagringskapaciteten förbereds för en ytterligare utbyggnad med ett tredje bergrum om behovet uppstår i framtiden. Utbyggnaden av bergrum 2 får samma utformning som bergrum 1 med fem bassänger.

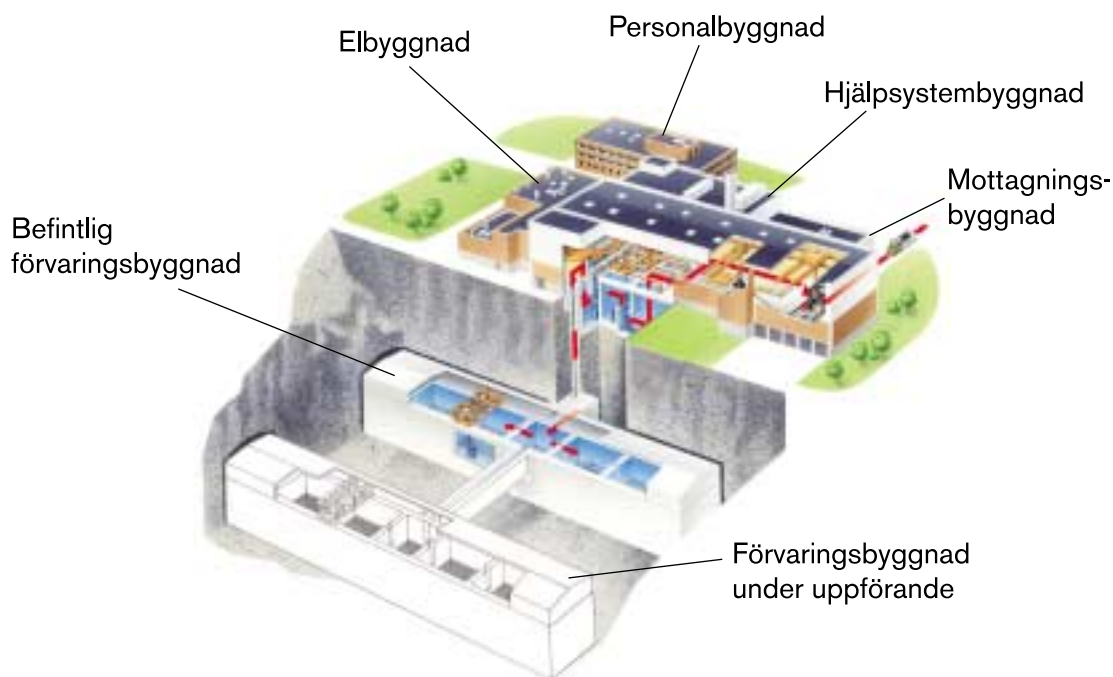
3.3.3 Hantering av bränsle och härdkomponenter

Bränslet transporteras till CLAB från kärnkraftverken i kraftiga, strålskärmande transportbehållare. Transporterna sker sjövägen med SKB:s transportfartyg M/S Sigyn. Innan bränslet transporteras iväg från kärnkraftverket har det lagrats där i bassänger i minst nio månader. Under denna tid avklingar de mest kortlivade radionukliderna och radioaktiviteten och värmeutvecklingen i bränslet avtar snabbt till ca en hundradel av den ursprungliga nivån omedelbart efter avstängningen av reaktorn.

Transportbehållaren förs vid ankomsten till CLAB via en transportsluss in i mottagningsbyggnaden. Efter radiologisk kontroll och kylning flyttas behållaren till bassängerna för urlastning.

Efter verifiering av bränsleelementens identitet lastas de ur och placeras i en lagringskassett. Den fyllda kassetten transporteras därefter med hanteringsmaskinen till bränslehissen, varefter den sänks ned till förvaringsdelen.

I förvaringsdelen förs kassetten till en utvald uppställningsposition med hjälp av en hanteringsmaskin.



Figur 3-1. CLAB med den pågående utbyggnaden.

Härdkomponenter, huvudsakligen utbytta styrtavar, är redan vid transporten från kraftverken till CLAB placerade i en speciell kasset anpassad till transportbehållaren. I CLAB lyfts kassetten ur transportbehållaren och hanteras vidare på samma sätt som kassetter med bränsle.

3.3.4 Urlastning av bränsle och härdkomponenter

CLAB är förberett för uttransport av bränsle på samma sätt som bränslet tagits emot, dvs ilastning i transportbehållare kan ske i urlastningsbassängerna.

Om inkapslingsanläggningen, som planerat, byggs i anslutning till CLAB förenklas uttransporten genom att bränslehissen kommer att stå i direkt kontakt med inkapslingsanläggningen. Kassetterna med bränsle eller härdkomponenter tas då direkt upp till inkapslingsanläggningen med hjälp av bränslehissen.

3.3.5 Långtidsaspekter på lagring

CLAB, som togs i drift 1985, dimensionerades ursprungligen för drift i ca 60 år. Som ett led i studier av olika alternativ för hantering av använt kärnbränsle har SKB också studerat konsekvenserna av fortsatt lagring av bränsle i bassänger i CLAB under lång tid /3-2/. Såväl långtidsegenskaperna hos det lagrade bränslet som den långsiktiga beständigheten av berggrum och bergförstärkningar, byggnadskonstruktioner samt system och installationer har studerats.

Studien visar att lagringstiden i befintligt berggrum torde kunna utsträckas till åtminstone 100 år, under förutsättning att lagringen fortsatt sker under kontrollerade former, dvs med drift och övervakning av anläggningen som idag och med erforderligt underhåll av berggrum, byggnader och installationer. Grundläggande är att kvaliteten i drift och under-



Figur 3-2. Foto från bassänghallen med bränslehanteringsmaskinen i bakgrunden.

håll upprätthålls, så att vattenkvalitet och miljö i lagringsdelen uppfyller gällande specifikationer, samt att infrastrukturen runt CLAB med el- och vattenförsörjning, avfallshantering och kompetens finns tillgänglig.

Bränslet och övriga lagrade härdkomponenter bedöms ha goda förutsättningar för långtidslagring i minst 100 år utan skadlig degradering. Vissa installationer i förvaringsbassängerna kan utsättas för korrosion och behöva bytas.

Processinstallationer och hanteringsutrustning har i olika grad begränsad livslängd, men är tillgängliga för utbyte och modernisering. Detta gäller även el- och kontrollutrustning.

Byggnadskonstruktionerna inom lagringsdelen bedöms i huvudsak ha en livslängd om 100 år; dock erfordras ett uppföljningsprogram som kan visa behov av reparation och förnyelse i vissa delar.

Bergförstärkningarna kan inte med dagens kunskap förutsägas ha en livslängd om 100 år. Detsamma gäller infästningsbultar för innertak och installationer. Här behövs ett uppföljningsprogram och utbyte av vissa delar förutses. Detta kan t ex genomföras medan det ännu finns utrymme i CLAB etapp 2 att placera om bränsle så att ett halvt bergrum kan åtgärdas åt gången.

3.4 Alternativ och varianter

3.4.1 Metod för mellanlagring

CLAB är en anläggning som visat sig väl ägnad att lösa uppgiften att på ett säkert sätt mellanlagra det använda kärnbränslet. Det kan dock vara av intresse inom ramen för denna systemanalys att rekapitulera motiven för utformningen av CLAB när anläggningen byggdes och kommentera utvecklingen därefter.

Våt mellanlagring innebär att vatten utgör såväl kylmedel som strålskärm för bränslet. Vattnet är ett effektivt kylmedel som gör att bränsletemperaturen kan hållas låg. En hög vattenkvalitet gör att bränslet kan lagras i denna miljö under mycket lång tid utan att påverkas av korrosion. Vattenkvaliteten och kylningen upprätthålls av att vattnet cirkuleras genom renings- och jonbytarfilter samt kylare. För att upprätthålla anläggningens säkerhet krävs alltså övervakning och elkraftförsörjning.

Våt mellanlagring var den ursprungliga metoden som användes för mellanlagring av använt kärnbränsle vid kärnkraftverken som från början försågs med bassänger med kapacitet för lagring av bränsle för åtminstone fem års drift. Lagringskapaciteten vid kärnkraftverken möjliggör tömning av en hel reaktorhård om behov skulle uppstå under driften av reaktorn. Metoden med våt lagring var väl beprövad och utgjorde därför ett naturligt val när det centrala mellanlagret CLAB planerades. Teknik och kostnader för att bygga lokala bränslelager på varje reaktoranläggningen studerades översiktligt före beslutet om att uppföra ett centralt lager. Lokala lager skulle totalt sett blivit betydligt dyrare plus att utvecklingen av denna typ av mellanlager blir beroende på tillgänglighet av en inkapslingsanläggning och ett djupförvar.

Den lagringsmetod som därför valdes för CLAB är i väsentliga delar densamma som redan tillämpades för använt bränsle vid kärnkraftverken. Dessutom fanns det vid den tiden inte några principiellt annorlunda metoder som var tillräckligt utvecklade för en licensiering.

Senare har metoder för torr lagring utvecklats internationellt. Torr mellanlagring tillämpas främst för sådana typer av använt bränsle som har lägre resteffekt än använt kärnbränsle från lättvattenreaktorer (LWR) och som därför inte har samma krav på kylning.

Våt lagring är internationellt sett det vanligaste sättet att mellanlagra använt kärnbränsle och är helt dominerande för bränsle från lättvattenreaktorer. En betydande andel av den totala mängden använt bränsle från lättvattenreaktorer finns för närvarande i bassänger vid kärnkraftverken eller vid uppberedningsanläggningar och i bl a Frankrike och USA utgör detta den vanligaste metoden för mellanlagring.

I samband med tillståndsansökan för den pågående utbyggnaden av CLAB har frågor kring olika typer av mellanlagring av använt kärnbränsle tagits upp. Med anledning av detta har en utredning gjorts kring principerna för torr och våt mellanlagring. Den belyser de tekniska, säkerhetsmässiga, miljömässiga och ekonomiska skillnaderna mellan de två metoderna /3-2/. Denna utredning visade att det inte fanns några säkerhetsmässiga, tekniska eller ekonomiska motiv för att byta metod för mellanlagring av bränsle vid CLAB i samband med utbyggnaden.

3.4.2 Lagringskapacitet

Lagringskapaciteten för använt bränsle i CLAB kan utökas genom att kompaktkassetter införs för de nya bassängerna i Etapp 2. Denna typ av kassett tillverkas i neutron-absorberande material. Lagringskapaciteten per kassett ökar då från 16 till 25 bränslelement för BWR. Avsikten är dock att i första hand använda befintliga BWR-kassetter och att sedan successivt göra en övergång till kompaktkassetter. För PWR sker ingen återanvändning av gamla kassetter utan kompaktkassetter anskaffas successivt efter behov. Lagringskapaciteten för använt bränsle i CLABs bassänger kan också utökas om mellanlagring av hårdkomponenter och interna delar görs på annat ställe. Möjligheten att mellanlagra denna typ av avfall i behållare i bergrum kommer därför att studeras av SKB under de närmaste åren.

Det finns också tekniska möjligheter att utöka anläggningen med ett tredje bergrum med samma kapacitet som det under utbyggnad.

3.4.3 Långtidslagring

Långtidslagring av använt bränsle i bassänger är föremål för internationell forskning, bland annat inom ramen för IAEA:s forskningsprogram. Forskningen och de erfarenheter som finns från ca 30 års mellanlagring visar inte på några egentliga begränsningar vad gäller möjlig lagringstid. SKB bedömer att långtidslagring kan ske i CLAB under mycket lång tid, mer än 100 år, så länge lagringen sker under kontrollerade former/3-3/.

Ett beslut om fortsatt mellanlagring under mycket lång tid eller ett återtag av deponerat och inkapslat bränsle från djupförvaret skulle kunna göra torr mellanlagring aktuell. Goda erfarenheter finns internationellt från både torr och våt mellanlagring, och det är svårt att generellt rekommendera någon av metoderna som säkerhetsmässigt eller miljömässigt mer fördelaktigt än den andra. Omständigheter som lagrets storlek, det använda bränslets ålder, etc måste därvid utgöra en grund för ställningstagande om metod för mellanlagring. En generell skillnad mellan de två teknikerna är torrlagrens lägre drifts- och anläggningskostnader vid nyanläggning. Stora bränslemängder medför dock att våt mellanlagring normalt är ekonomiskt fördelaktigt som i fallet för CLAB.

3.5 Säkerhet och strålskydd

Lagring under vatten medför att bränslet hålls väl kylt och strålskärmat. Den låga temperaturen gör att bränslets kapsling inte löper risk att skadas på grund av temperaturpåverkan. Vidare är bränslet hela tiden tillgängligt för inspektion och tillsyn. En förutsättning för bibehållen säkerhet i en anläggning för våt lagring är att den övervakas så att vattnets nivå, kylning och kvalitet upprätthålls.

De höga kraven på vattenkvalitet och vattenrening innebär att radioaktivt avfall i form av jonbyttmassor och filter uppkommer vid drift av anläggningen. Dessa omhändertas på samma sätt som låg- och medelaktivt avfall från kärnkraftverken.

Den lösning som valts för CLAB, att lägga förvaringsbassänger dimensionerade för jordbävningar i ett bergrum, skyddar lagret mot yttre påverkan och ger ett högt fysiskt skydd för anläggningen.

3.5.1 Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter

Hantering och lagring av bränsle är den huvudsakliga verksamheten i CLAB och denna ägnas därför särskild uppmärksamhet. De viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekterna för CLAB är främst kopplade till att bränslet ska hanteras och lagras på ett sådant sätt att omgivningen skyddas, att dosbelastningen till personalen minimeras, samt att bränslet kyls. Vidare ska risken för aktivitetsspridning hållas låg genom rening av vattnet i hanterings- och förvaringsbassängerna, samt genom att hanteringsutrustning för bränsle utformas så att risken för att tappa bränsle är låg. Bränslekonfigurationerna i CLAB ska alltid vara säkert underkritiska.

Strålskyddet i CLAB är utformat enligt samma principer som används för kärnkraftverken. CLAB har dimensionerats från strålskyddssynpunkt så att den genomsnittliga individdosen till personalen inte ska överstiga 5 mSv per år. Bränsle och hårdkomponenter utgör de primära strålkällorna i CLAB. Sekundära strålkällor är korrosionsprodukter och crud samt driftavfall. För att minimera dosbelastningen till personalen sker all hantering antingen med bränslet och hårdkomponenterna inneslutna i transportbehållare eller under vatten som ger strålskärning. Vid lagring av bränsle i vatten frigörs en del aktivitet från cruden och från läckande bränsle till bassängvattnet och vidare till olika system där den kan deponera på ytor och ge upphov till strålkällor. Dessa system och komponenter placeras i strålskärnade utrymmen så att doserna till personalen ska hållas mycket låga under drift. Utformningen är sådan att även i samband med att utrymmena beträds för underhåll blir doserna låga.

För att hålla aktivitetskoncentrationen låg i bassäng- och processvatten renas vattnet kontinuerligt med jonbytare och mekaniska filter. När dessa förbrukats gjuts de in i betong och hanteras som radioaktivt avfall.

Utsläppen till omgivningen begränsas genom att allt kontaminerat vatten filtreras innan det släpps ut. Huvuddelen av processvattnet återanvänds i anläggningen efter rening. Utsläpp av luft från radiologiskt zonindelade områden sker via ventilationsskorstenen. Luften från utrymmen med potential för luftburen aktivitet, t ex nedkylningscellerna och bränslehisschaktet, filtreras innan den leds till skorstenen.

För att garantera att bränslet under hantering och lagring är underkritisk har CLAB och transportbehållaren dimensionerats så att marginal finns till kriticitet även om bränslet skulle vara oanvänt eller i sitt mest reaktiva tillstånd. I verkligheten är allt bränsle som kommer till CLAB använt och har således en mycket lägre reaktivitet än färskt bränsle. Kriticitetssäkerheten åstadkoms genom att bränsleelementen placeras med visst avstånd sinsemellan eller genom att materialet i kassetterna är neutronabsorberande (kompakt-kassetter). Vid hantering av kassetterna är hanteringsmaskinen utrustad med ett fallskydd så att man inte ska kunna tappa en kassett. En tappad kassett med bränsle kan i extremfallet leda till en geometri som skulle kunna ge upphov till kriticitet.

3.5.2 Konsekvenser vid normal drift

Strålskydd och stråldos till personal

Dosbelastningen till personalen i CLAB härrör från en mängd olika typer av arbeten, såsom mottagning av transportbehållare, urlastning och hantering av bränsle och hårdkomponenter, övervakning av anläggningens system samt underhåll. Erfarenheterna från 15 års drift har varit mycket goda beträffande dosbelastningen. Den erhållna kollektivdosen till personal och entreprenörer har i genomsnitt varit lägre än 100 mmanSv per år, vilket är ca en tredjedel av vad som beräknades innan anläggningen togs i drift. Även

individdoserna har varit låga, och den genomsnittliga årsdosen för berörd personal har klart understigit 5 mSv/år. Den personal som erhåller de högsta individuella stråldoserna utgörs främst av dem som arbetar med mottagning och preparering av transportbehållare samt hantering av bränsle. Insatser i form av ändrade rutiner och ombyggnad av utrustning görs fortlöpande i syfte att minska det individuella dosupptaget för denna personalgrupp.

Med hänsyn till att doserna till personalen överlag är mycket låga slår lätt arbetet utanför ”normal drift” igenom i årsstatistiken. Det gäller till exempel de ombyggnadsarbeten som genomförts för hantering av kompaktkassetter och för omhändertagande av anläggningens egna driftavfall.

Utsläpp från anläggningen och omgivningspåverkan

Utsläppen av radioaktiva ämnen via vatten och ventilationsluft är mycket små. Utsläppen via ventilationsluften mäts kontinuerligt. Aktiviteten härrör främst från crud som frigörs till processventilationen i tankar etc. Denna aktivitet domineras av ^{60}Co . Om skadat bränsle anländer till CLAB kan den gasformiga klyvningsprodukten ^{85}Kr sugas bort vid mottagningen och släppas ut via skorstenen. Utsläppen till luft under de senaste femton årens drift har uppgått till ca 10^{-5} normutsläpp, det vill säga någon eller några hundratusendelar av vad som tillåts från en kärnteknisk anläggning, figur 3-3.

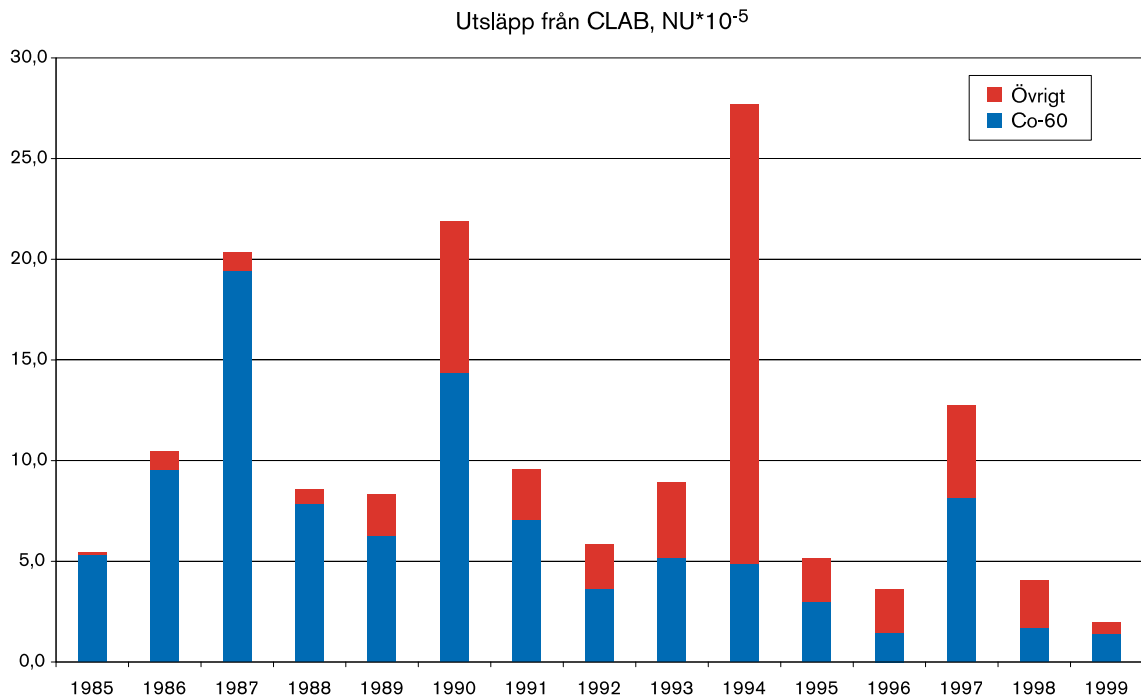
Kontaminerat vatten filtreras och kontrolleras innan det pumpas ut från uppsamlings-tankar och blandas med kylvattnet från anläggningen. Vattnet förs till den utsläppstunnel som främst betjänar Oskarshamn block 1. Efter filtreringen innehåller vattnet endast begränsade mängder aktivitet och i första hand ^{60}Co .

Avfall från CLAB

Det avfall som produceras i CLAB är framför allt använda filter och jonbytarmassor. Dessa blandas med cement och gjuts in i betongkokiller. Annat fast aktivt avfall, t ex filterpatroner och utbytta komponenter, gjuts in i stålfat eller i betongkokiller. Aktivitetsinnehållet i avfallet är likvärt det som kommer från ett kärnkraftverk. Volymen är dock mindre, några tiotal kubikmeter per år. Avfallet transporteras till slutförvaring i SFR.

3.5.3 Missödesanalys

Olika slag av störningar och missöden kan inträffa i anläggningen under dess drift. Man skiljer mellan störningar vilka kan väntas ske under anläggningens livstid, om än sällan, och missöden vilka bedöms vara ”mycket osannolika”.



Figur 3-3. Utsläpp av radioaktiva ämnen till luft och vatten från CLAB.

Störningar

Följande störningar har beaktats i analysen:

- komponentfel i kyl- och reningskretsar,
- fel i bränslehanteringssystemet,
- operatörsfel,
- vattenläckage och inre översvämning,
- aktivitetsläckage,
- bortfall av yttre elnät,
- tryckluftsbortfall,
- datorbortfall,
- begränsad brand,
- bränsleskada som uppstått under transport.

För var och en av dessa störningar har händelseförloppet analyserats. Analysen visar att CLAB:s system väl kan ta hand om dessa störningar utan påtagliga konsekvenser. Den stora mängden aktivitet finns i CLAB:s bassänger och väsentligt är att bränslet kyls genom en god vattentäckning. En viktig faktor är därvid den stora vattenmängden i CLAB:s bassänger och den relativt låga resteffekten i bränslet. Det medför att alla uppvärmningsförlopp går mycket långsamt och att tidsfristen till åtgärd oftast blir flera dygn. Detta framgår av säkerhetsrapporten för CLAB /3-1/.

Beträffande vattenläckage konstateras att inga genomföringar för rörledningar till bassängerna finns på en nivå under den lägsta bassängvattennivå som kan tillåtas med hänsyn till säker kylning och erforderlig strålskärmning. Rörläckor kan därför inte ge oacceptabla stråldoser eller leda till utebliven kylning. Om flödet av kylvatten blir avbrutet kan följden av avdunstning eller avkokning motverkas genom att bränslets vattentäckning bibehålls med hjälp av vattentillförsel.

För att undvika säkerhetsksekvenser av en begränsad brand har CLAB utformats så att de funktioner som berörs av branden antingen kan undvaras under reparationstiden eller också kan funktionen övertas av komponenter och systemdelar som inte berörs av branden.

Missöden

Följande missöden har analyserats:

- brand,
- hanteringsmissöden,
- nedfallande bergblock,
- långvarig förlust av bassängkylning och spädmatning,
- yttre påverkan och jordbävning.

Brand

En mera omfattande brand skulle kunna tänkas slå ut all utrustning i en brandcell. Sannolikheten för detta är låg på grund av utformningen av anläggningens brandförsvår. De värsta konsekvenserna av en sådan brand skulle vara att de ordinarie kylsystemen slutar att fungera. Provisorisk kylning och spädmatning kan då arrangeras. Tidsmarginalerna härför är stora, flera dygn.

Hanteringsmissöden

De hanteringsmissöden som kan tänkas i CLAB är att man tappar ett bränsleelement, en bränslekassett, eller en transportbehållare eller att bränslehisskorgen faller ned. För att minimera risken för tappat bränsleelement eller kassett har griparna givits speciella utformningar och olika automatiska förreglingar införts på hanteringsmaskinerna. På samma sätt har hissen konstruerats med tanke på att hålla sannolikheten låg för att tappa hisskorgen. Hisskorgen är dessutom utformad med en konisk botten som ger en hydrodynamisk dämpning vid fall för att minska konsekvenserna för bränslet och transportkanalen om hisskorgen skulle falla. Vidare finns det en mekanisk stötdämpare under hisschaktet.

Om ett bränsleelement eller en kassett tappas eller bränslehisskorgen faller är det ändå troligt att bränslet inte skadas. Beräkningar visar att bränslet klarar de aktuella påkänningarna. Erfarenheter från tappade bränsleelement vid kärnkraftverken styrker detta. Om man trots det antar att bränslet skadas innebär det att gasformigt ^{85}Kr släpps ut till luften i mottagningshallen eller förvaringsbyggnaden och vidare ut till omgivningen via ventilationsskorstenen. Dessutom frigörs en del ^{134}Cs och ^{137}Cs till bassängvattnet, där det sedan fångas upp i reningsjonbytarna. Det värsta fallet är när man tappar en kassett på en annan uppställd kassett. Dosen i hallen till följd av ^{85}Kr blir då som högst 0,7 mSv och dosen till kritisk grupp utanför anläggningen mindre än 1 μSv .

Dosen vid bassängkanten på grund av att cesium löser sig i bassängvattnet blir initialt 2–20 mSv/h. Denna avtar efterhand som vattnet renas från cesium. Sannolikheten för att tappa en kassett har beräknats till $2 \cdot 10^{-5}/\text{år}$ /3-1/.

Under transporten från nedkylningscell till mottagningsbassäng är transportbehållarens lock låst mot behållaren med låspinnar som frigörs först när transportbehållaren står nere i bassängen. Skulle behållaren tappas vid transporten kan det möjligen läcka ut radioaktivitet eftersom man inte kan garantera att locket sitter så tätt att läckage förhindras. Man kan då få utsläpp av krypton och cesium på samma sätt som vid tappat bränsle. Konsekvenserna är dock lägre. Med de låga lyfthöjder som tillämpas klarar byggnaden en fallande transportbehållare.

En försluten transportbehållare klarar ett fall på upp till 9 m mot ett helt stumt underlag med bara ytliga skador. Bränslet är alltså skyddat. Lyften i CLAB är lägre än 9 m.

Långvarig förlust av bassängkylning och spädmatning

Vid förlust av ordinarie kylning och spädmatning kan bränslets kylning och vattentäckning ordnas på olika sätt. Ett bortfall av dessa funktioner i veckoskala måste därför anses som mycket osannolikt. Temperaturhöjningen i förvaringsbassängerna går mycket långsamt. Det tar flera dagar innan temperaturen når 90–95 °C. Om ingen spädmatning sker sjunker vattennivån på grund av avdunstning. Efter drygt 25 dygn skulle nivån nå bränslekassetternas överkant. Med tanke på den långa tidsfristen, redundant övervakning och möjligheten att tillföra vatten på olika sätt, i sista hand brandvatten, är sannolikheten för att bränslet friläggs försumbar.

Yttre påverkan och jordbävning

Förvaringsbyggnaden med sina förvaringsbassänger har dimensionerats för att klara de belastningar som kan uppstå vid en jordbävning utan att det lagrade bränslet skadas. Hanteringsmaskiner och traverser faller inte ned i bassängerna och skadar bränslet. De markförlagda byggnaderna är inte dimensionerade mot jordbävning eftersom mängden bränsle i dem är liten.

Sammanfattning beträffande missödesanalysen

Sammanfattningsvis kan man konstatera att inga störningar eller missöden i CLAB kan leda till stora konsekvenser i anläggningen eller till omgivningen. De största konsekvenserna får man om man tappar en bränslekassett eller om ett bergblock skulle falla ner i samband med utsprängning av ett nytt bergrum. Sannolikheten för sådana händelser är låg och konsekvenserna måttliga.

3.6 Safeguards

Vid utformningen av ett system som ska uppfylla IAEA:s safeguardskontroll söker man uppnå en balans mellan kraven på övervakning och möjligheterna att verifiera inventariet. Sålunda krävs ingen övervakning vid transporter till CLAB, eftersom det är möjligt att genom mätningar fastställa innehållet av klyvbara ämnen i bränslet i CLAB.

För reaktorerna och CLAB finns ett etablerat system för att uppfylla safeguardskraven.

Vid transport till och mellanlagring i CLAB och vid överföring till inkapsling hanteras bränsleelementen som enheter. Under denna tid kan varje element identifieras och det är möjligt att med fullt tillräcklig precision detektera om några stavar saknas, samt att bestämma innehållet av klyvbart material i bränslet.

Dokumentation

All hantering av bränsleelement, inkapsling och förflyttning av kapslar, samt deponering dokumenteras noggrant i safeguardsredovisningen. Uppgifter om innehållet av klyvbart material baseras till övervägande delen på uppgifter som lämnats från reaktordriften.

Speciell uppmärksamhet ägnas i redovisningen åt att dokumentera om någon demontering av bränsleelementen sker eller om stavar tas bort.

Mätningar

Med hjälp av olika mätmetoder kan de övervakande myndigheterna kontrollera att inventariet överensstämmer med vad som uppgivits i dokumentationen.

3.7 Miljöpåverkan

3.7.1 Markanvändning och landskapsbild

De anläggningar inom KBS-3-systemet som ligger ovan jord ger en påverkan på landskapsbild och markanvändningen vid den aktuella anläggningen. CLAB som ligger vid Oskarshamns kärnkraftverk på Simpevarps-halvön, är lokaliserad till ett område med befintlig industriell verksamhet och ger därför en liten påverkan på markanvändning och landskapsbild.

3.7.2 Luft och vatten

Till CLAB sker ett antal transporter av använt kärnbränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall i transportbehållare. Till detta kommer transporter av personal som arbetar vid anläggningarna och gods i mindre volymer.

Vid CLAB sker en lokal avsänkning av grundvatten under byggande och drift. Avsänkningen vid CLAB påverkar inte närliggande fastigheter.

Driften av CLAB medför utsläpp av kylvatten till Östersjön. Utsläppen sker tillsammans med utsläppen från Oskarshamn I, och utgör några tusendelar av kärnkraftverkets kylvattenutsläpp.

Pågående utbyggnad av CLAB innefattar sprängningsarbeten under ca 2 år. Detta leder till påverkan på omgivande luft och vatten på grund av utsläpp av gödande och förorenande kväveoxider. Omfattningen, som beror på vilka mängder och typer av sprängmedel som används, finns redovisade i tillståndsansökan för utbyggnaden.

3.8 Sammanfattning och utvärdering

CLAB uppfyller väl ställda krav på ett för landet centralt mellanlager för använt kärnbränsle. Lagringskapaciteten är sedan 1999 under utbyggnad med ytterligare ett bergtrum med samma lagringskapacitet som nuvarande bergtrum med bassänger. Utbyggnaden planeras att tas i drift under 2004. Kapaciteten kommer efter utbyggnaden att utökas från ca 5 000 ton till ca 8 000 ton använt kärnbränsle (avser vikten uran). Den totala lagringskapaciteten för använt kärnbränsle kommer att vara beroende av i vilken omfattning hårdkomponenter kommer att mellanlagras i CLAB:s bassänger i framtiden.

Den stora volymen hårdkomponenter och interna delar uppstår i samband med rivning och avveckling av kärnkraftverkens reaktorer. Detta avfall kan placeras i behållare som kan mellanlagras torrt i bergtrum. Eventuell konditionering och inplacering i slutförvarsbehållare kan ske efter cirka 30 år när en avsevärd reduktion av stråldosen från avfallet skett. Detta alternativ ingår i SKB:s långsiktiga planering för omhändertagandet av annat långlivat avfall. Byte av styrstavar i BWR-reaktorer sker redan nu efter viss tids drift och de utbytta styrstavarna transporteras till CLAB för mellanlagring och detta torde även ske i framtiden. För styrstavar finns det möjlighet att reducera lagringsvolymen genom demontering.

Med hänsyn till att mellanlagring i dag utförs som våt lagring och att en utbyggnad av CLAB pågår finns det i dagsläget inga tekniska eller ekonomiska motiv för att överväga byte till någon annan metod för mellanlagring. Detta ställningstagande motiveras också av hittills goda driftserfarenheter med hög säkerhetsnivå vid CLAB.

CLAB uppfyller också kraven på mellanlagring under lång tid. Om planerna på inkapslingsanläggning och djupförvar skulle senareläggas finns det goda tidsmarginaler för att besluta om alternativa åtgärder ur säkerhetsmässig, teknisk och ekonomisk synvinkel.

Sammanfattningsvis föreligger inga motiv för att inom en överskådlig tid ändra inriktningen beträffande vald metod för mellanlagring av det använda kärnbränslet från våra kärnkraftverk. Erfarenheterna från driften sedan 1985 är mycket goda och det finns inget som indikerar att detta skulle ändras i framtiden.

3.9 Referenser

- 3-1 CLAB, Centralt mellanlager för använt bränsle. Slutlig säkerhetsrapport, SKB PM 95-09, Stockholm, februari 1995.
- 3-2 Söderman E. Kontrollerad långtidslagring i CLAB. SKB rapport R-98-17, Stockholm, oktober 1997.
- 3-3 Vad händer om det inte byggs något djupförvar? Nollalternativet – Förlängd mellanlagring i CLAB SKB rapport R-00-31, Stockholm, augusti 2000.

4 Inkapslingsanläggning

4.1 Anläggningens uppgift

Inkapslingsanläggningens uppgift är att kapsla in det använda kärnbränslet i behållare med sådana egenskaper att bränslet isoleras från omgivningen och spridning av radioaktiva ämnen förhindras under mycket lång tid. Behållaren utgörs av ett kopparhölje med en insats av segjärn.

I framtiden kan det också bli aktuellt att i inkapslingsanläggningen innesluta hårdkomponenter och vissa interndelar från reaktorerna så att hantering och slutförvaring kan ske på avsett sätt. Detta kan även komma att utföras på annan plats än vid inkapslingsanläggningen.

4.2 Krav och värderingsgrunder

De övergripande kraven på anläggningen är:

- Förslutningen av behållarlocket ska kunna genomföras med högt ställda krav på fogen mellan mantel och lock. Svetsfogen ska kunna kontrolleras med oförstörande provning för att verifiera att den inte innehåller oacceptabla diskontinuiteter.
- Det ska också vara möjligt att öppna en försluten kapsel om det visar sig att svetsfogen inte uppfyller ställda krav och att den inte går att åtgärda genom omsvetsning. Att öppna förslutna kapslar kan också bli aktuellt om deponerade kapslar av någon anledning måste återtagas från djupförvaret.
- Anläggningens kapacitet ska vara ca 200 kapslar per år, det vill säga i genomsnitt en kapsel per arbetsdag.
- Överföring av det använda kärnbränslet mellan förvaringsbassängerna i CLAB och inkapslingsanläggningen ska kunna ske på ett säkert sätt.
- Överföring av inkapslat bränsle till djupförvaret ska kunna ske på ett säkert sätt.

4.3 Anläggnings- och processbeskrivning

4.3.1 Inledning

Använt kärnbränsle överförs efter 30–40 års mellanlagring i CLAB till en anläggning för inkapsling i täta kopparkapslar före djupförvaring. Enligt huvudalternativet kommer inkapslingsanläggningen att förläggas i direkt anslutning till CLAB /4-1/ och denna beskrivning baserar sig på denna placering. Detta leder till att det använda bränslet kan föras mellan de två anläggningarna utan externa transporter. I anläggningen hanteras också hårdkomponenter, som ska placeras i kokiller för vidare transport till djupförvaret.

Kapseln som ska användas för inneslutning av använt bränsle utgörs av en cylindrisk behållare med ett hölje av koppar och en gjuten insats av järn. Till insatsen hör ett

stållock som skruvas fast. Insatsen som placerats i kopparhöljet innan kapseln levererats till anläggningen är försedd med kanaler för placering av bränsleelement. Kapselns kopparlock levereras separat och svetsas på plats i inkapslingsanläggningen när kapseln fyllts med bränsle. Färdigtillverkade kapslar med bränsle kan mellanlagras i transportbehållare vid anläggningen i avvaktan på transport till ett slutförvar.

4.3.2 Beskrivning av inkapslingsanläggningen

Inkapslingsanläggningen består enligt huvudalternativet av en inkapslingsbyggnad i direkt anslutning till CLAB:s mottagnings- och elbyggnader och av förråd för fyllda transportbehållare, figur 4-1. Inkapslingsbyggnaden innehåller bassänger för överföring av bränsle från CLAB:s bränslehiss och för omlastning av bränsleelement till transportkassetter.

Via en transportramp förs bränslet upp ur vattnet och in i en hanteringscell för torkning och placering i kapslar. Ett lock svetsas på kapseln varefter den placeras i en transportbehållare. På liknande sätt överförs hårdkomponenter från CLAB till kokiller i inkapslingsanläggningen.

Bassänger

Inkapslingsanläggningens bassänger utgörs av en förbindelsebassäng, en hanteringsbassäng samt en anslutningsbassäng. Samtliga bassänger är utförda i armerad betong och inklädda med rostfri plåt.

Förbindelsebassängen är utrustad med en vagn för transport av hissorg med lagringskassett under vatten.

Hanteringsbassängen innehåller 14 kassettpositioner för temporär förvaring av kassetter och har mätutrustning för verifiering av bränslets utbränning, resteffekt m m. En bränslehanteringsmaskin används för lyft av bränsle och kassetter. Transportkassetter har plats för tolv BWR-element eller fyra PWR-element, det vill säga lika många som antalet positioner för bränsleelement i kapslarna. Kassetterna är av samma grundläggande konstruktion som lagringskassetterna i CLAB.



Figur 4-1. Den planerade inkapslingsanläggningen vid CLAB.

Anslutningsbassängen innehåller en transportramp med en spårbunden vagn. Bassängen är även försedd med två positioner för uppställning av kassetter.

Hanteringsmaskinen som används för hantering av kassetter med bränsle och av enskilda bränsleelement under vatten har samma principiella utförande som hanteringsmaskinerna i CLAB:s mottagningsdel. Ett separat utrymme finns med utrustning för underhåll av hanteringsmaskinen.

Varje bassäng kan isoleras från de övriga med hjälp av portar. Detta medger tömning av enskild bassäng om arbete ska utföras som kräver bassängtömning. Den utrustning som är installerad i bassängerna kan normalt lyftas upp och därmed vara tillgänglig för inspektion och service utan att bassängerna behöver tömmas.

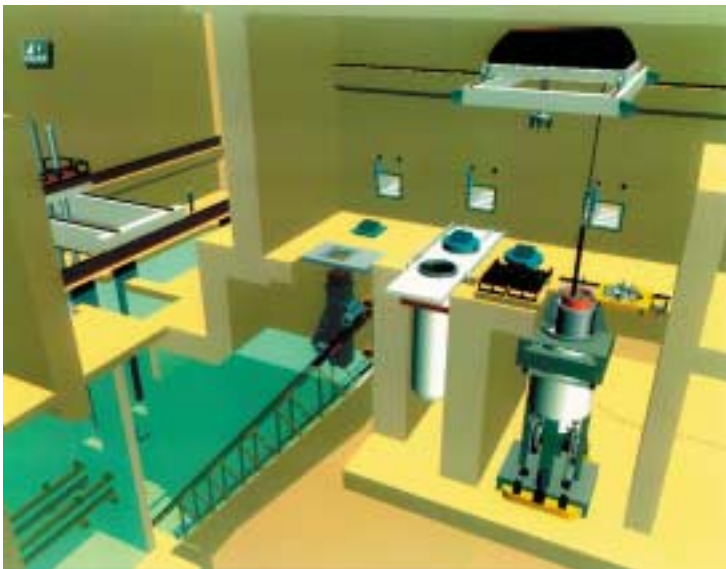
Hanteringscell

Den strålskärmade hanteringscellen, figur 4-2, är försedd med blyglasfönster och manipulatorer. I hanteringscellens golv finns anslutning till transportrampen från anslutningsbassängen, till positioner för torkning av bränsle, till en position för dockning underifrån av en tom kopparkapsel samt till en position för dockning av kokill. Dessutom finns utrustning för hantering av kapselinsatsens stållock.

En hanteringsmaskin bestående av en specialutformad travers finns i cellen för lyft av kassetter, bränsleelement och utrustning.

Arbetsstationer för locksvetsning, oförstörande provning och maskinbearbetning

De tre arbetsstationerna består samtliga av strålskärmade utrymmen, en för täthetstest av insatsens stållock, en för svetsning av kopparlock, figur 4-3, samt en för bearbetning och oförstörande provning av svetsen, figur 4-4. I varje arbetsstations golv finns det en dockningsposition för kapseln. Kapseln förflyttas mellan dockningspositionerna i en strålskärmad lastbärare med hjälp av en luftkuddetruck.



Figur 4-2. Tvärsnitt genom ramp och hanteringscell.



Figur 4-3. Bild från kapsellaboratoriet, insidan av svetskammaren med svetspositionen till höger.



Figur 4-4. Bild från kapsellaboratoriet. Station för röntgenundersökning av kapsellokets förslutningssvets.

I svetsstationen finns utom svetsutrustning en robot för hantering av lock, temperaturgivare för kapselns temperatur samt utrustning för värmning av kopparlocket till samma temperatur som kopparmanteln.

Maskinbearbetningen av fogen efter svetsning i den tredje arbetsstationen görs med en fräsmaskin. Fräsmaskinen kan även användas för att skära upp kopparlocket på kapslar med underkända fogar. Den oförstörande provningen av svetsfogen görs också i den tredje arbetsstationen och består av röntgen- och ultraljudsprovning, samt induktiv provning.

Utrustning för transport av kapslar mellan arbetsstationerna är i drift i kapsellaboratoriet. Figur 4-5 är en bild av utrustningen när den har dockat en kapsel till arbetsstationen för svetsning av kapsellock.

Utrustning för hantering av fyllda kapslar

Utrustning för mätning av den färdiga kapselns ytkontaminering och för eventuell dekontaminering finns i ett strålskärmat utrymme som nås av en kapselhanteringsmaskin.

För att förflytta kapslar mellan uttransporthallen, lastbäraren och stationen för mätning och dekontaminering används en kapselhanteringsmaskin. Maskinen är ringformad och kan vridas så att lyftutrustningen når kapslarna i respektive utrymme. Kapselhanteringsmaskinen är strålskärmad, vilket medför att man kan göra service på den även när fyllda kapslar hanteras.

I uttransporthallen finns en travers för förflyttning av den fyllda transportbehållaren och för att lyfta in tomma kapslar i anläggningen.



Figur 4-5. Bild från kapsellaboratoriet. Utrustning för förflyttning av kapslar mellan arbetsstationerna.

Förråd för fyllda transportbehållare

Fyllda och förslutna kapslar förvaras i transportbehållare i förråd innanför anläggningsstaketet i avvaktan på transport till djupförvaret. Storleken på förrådet kommer att bestämmas senare när transportlogistiken för djupförvaret kan upprättas. I dagsläget planeras för ett antal förrådsmoduler som vardera innehåller upp till tio behållare.

4.3.3 Hanteringsgång vid inkapsling

Överföring av bränsle från CLAB

Lagringskassetter med bränsle förs en och en från CLAB:s förvaringsbassänger till den vattenfyllda hiss-korgen i bränslehissen. Hisskorgen hissas upp, vrids 90 ° med en vridskiva, och sänks ner i en transportvagn i inkapslingsanläggningens förbindelsebassäng. Därifrån förs transportvagnen till en position varifrån kassetten kan lyftas över till hanteringsbassängen med hjälp av bränslehanteringsmaskinen. Denna hantering sker på motsvarande sätt som transporten av kassetter mellan mottagningsdelen och lagringsdelen i CLAB.

Intransport av tomma kapslar

När kopparkapseln levereras till inkapslingsanläggningen är den gjutna insatsen placerad i kopparhöljet och försedd med ett stållock. Kopparlocket levereras separat, men hör ihop med en specifik kapsel. Kapseln tas emot i inkapslingsanläggningens transportsluss. Därifrån lyfts den över till uttransporthallen där den noggrant kontrolleras och riktas upp. Med hjälp av en kapselhanteringsmaskin lyfts kapseln över till en strålskärmad bärare. Denna används sedan för transport av kapseln mellan olika stationer i anläggningen. Med en luftkuddetruck som används för förflyttning av kapseln i lastbäraren förs denna först till dockningspositionen under hanteringscellens golv. Kapselns kopparlock förs med truck till svetsstationen.

Överföring av bränsle till hanteringscell och placering i kapslar

I hanteringsbassängen verifieras bränsleelementens identitet med en TV-kamera. Ett bränsleelement lyfts med bränslehanteringsmaskinen upp ur lagringskassetten. Efter mätning, som görs för att verifiera bränslets utbränning och resteffekt, placeras bränsleelementet i en transportkasset. Det lagrade bränslet i CLAB har mycket varierande värden på utbränning och resteffekt. Eftersom detta är faktorer som styr kopparkapslarnas värmeutveckling i djupförvaret, görs ett urval av bränsleelement för varje kapsel så att en optimering sker med avseende på resteffekt. Detta medför att en kapsel kommer att innehålla bränsleelement från flera olika lagringskassetter från CLAB.

När en transportkasset är fylld förs den med bränslehanteringsmaskinen till en transportvagn i anslutningsbassängen. Där förs vagnen med kassetten upp ur vattnet, uppför en lutande transportramp som mynnar direkt under hanteringscellen. När kassetten nått över vattenytan, rinner vattnet ur och kassetten lyfts därefter över i hanteringscellen med den fjärrstyrda hanteringsmaskinen. I hanteringscellen placeras den i en av två torkpositioner där torkning sker med cirkulerande varm luft.

När bränslet är torrt lyfts bränsleelementen ur, ett i taget, och placeras i kapseln som är dockad till en position i golvet i cellen. Dockningen är utförd så att kapselns yta skyddas mot radioaktiv kontaminering. Toppen av kapseln är även försedd med skydd och instyrningsanordning så att inplaceringen av bränsleelementen i insatsen underlättas.

Förslutning av kapslar

När en kapsel fyllts bultas insatsens stållock fast fjärrstyrt. Kapseln överförs därefter till en dockningsposition i en separat arbetsstation där stållockets täthet kontrolleras och fogytan på kopparkapseln inspekteras. Därefter förs kapseln vidare till en dockningsposition i nästa arbetsstation för svetsning av kopparlock.

Svetsningen av kopparlock sker i en vakuumkanmare. Kammaren liksom utrymmet mellan insats och kopparhölje vakuumpumpas. Kopparlocket värms till samma temperatur som kapseln. Locket placeras på kopparkapseln och försluts med elektronstråle-svetsning. Elektronstrålen smälter kopparn samtidigt som kapseln roterar så att svetsfogen går runt hela locket.

I en separat station sker bearbetning och oförstörande provning av svetsen. Dessa moment inleds med en visuell inspektion via TV, följd av maskinbearbetning för att jämna ut fogen. Därefter utförs oförstörande provning med röntgen och ultraljud. Vid godkänd svets görs en slutlig maskinbearbetning.

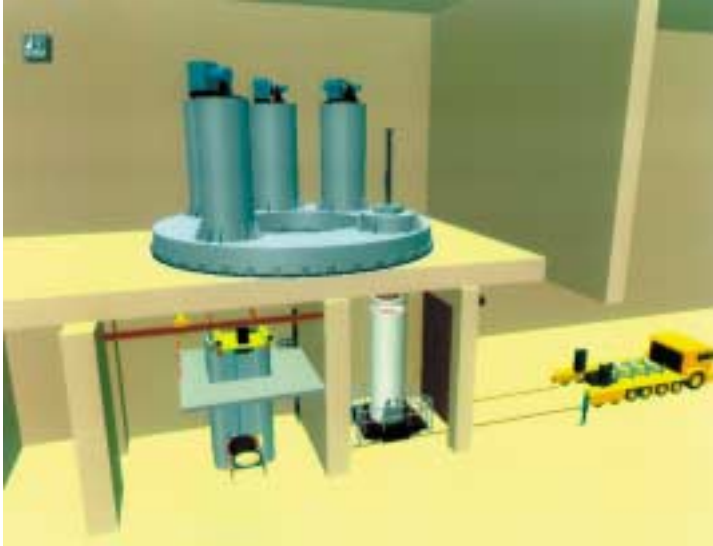
Om svetsen underkänns, men innehåller defekter som kan repareras, förs kapseln tillbaka till svetsstationen för omsvetsning. I de fall svetsen inte går att åtgärda skärs kopparlocket upp och lyfts av. Kapseln förs till hanteringscellen och bränsleelementen återförs till transportkassetten. Efter dekontaminering av den tomma kapseln förs insatsen tillbaka för återanvändning i ett nytt kopparhölje, medan kopparn skickas till återvinning efter kontroll av eventuell kontamination.

Hantering av förslutna kapslar

Den förslutna kapseln förs på lastbäraren till en position i transportkorridoren. Därifrån lyfts den med kapselhanteringsmaskinen till en station för mätning av ytdosraten och kontroll av att kapselns yta är fri från radioaktivitet. Vid behov dekontamineras kapseln med högtrycksvatten.

Kapseln förs därefter med kapselhanteringsmaskinen till en lastningsposition i uttransporthallen för ilastning i transportbehållare. Kapseln sänks ner i den vertikalt placerade behållaren, som därefter förses med ett lock med hjälp av kapselhanteringsmaskinen. Transportbehållaren, som står på en rälsbunden vagn, förflyttas till en plattform där locket säkras manuellt.

Behållaren lyfts med huvudtraversen till en lastbärare i transportslussen. Samtidigt som behållaren sänks ner på lastbäraren vrids den till horisontellt läge. Stötdämpare monteras på behållaren och ett fordon kör den till förrådet för mellanlagring eller till fartyg/tåg för vidare transport till djupförvaret.



Figur 4-6. Hanteringsmaskin för fyllda kapslar.

4.4 Kapselutformning

4.4.1 Konstruktionsförutsättningar för kapseln

Kapseln är utformad för att uppfylla kraven att långsiktigt isolera radionukliderna i förvaret, samtidigt som driften ska kunna ske med upprätthållande av säkerheten. Ett antal utformningar av kapseln har studerats och utgående från de krav som ställs har en kapsel med ett 5 cm tjockt hölje av koppar och en gjuten insats av järn valts som huvudalternativ.

Den grundläggande funktionen för kapseln är att isolera det använda bränslet i djupförvaret. Isoleringen ska bestå under lång tid. Kapseln ska dessutom inte skada de övriga barriärerna i förvaret. Vid utformningen ska hänsyn tas till att kapseln ska kunna tillverkas, fyllas och förslutas på ett tillförlitligt sätt, samt att den ska kunna transporteras och deponeras så att det inkapslade bränslet eller kapseln inte skadas.

Kapselns utformning måste medge att den på ett säkert sätt ska kunna återtas från djupförvaret om så erfordras.

Den grundläggande isolerande funktionen uppnås genom att kapseln:

- är tät vid deponeringen,
- har en kemisk beständighet (korrosionsbeständig) i den miljö som förväntas i djupförvaret,
- har en mekanisk hållfasthet som tål de belastningar som den utsätts för i djupförvaret.

För att kapseln inte ska skada de övriga barriärerna ska:

- materialet i kapseln inte påverka buffert och berg negativt,
- värmeavgivningen och stråldosen från kapseln vara tillräckligt låg,
- bottentrycket från kapseln mot bentoniten inte leda till att bentonit under kapselns botten trycks upp vid dess väggar.

För att kapseln ska kunna hanteras säkert, ska den kunna:

- hanteras så att de missöden som kan förutses inte leder till att omgivning och personal utsätts för oacceptabla stråldoser eller till utsläpp av radioaktivt material,
- transporteras till djupförvaret och deponeras på ett säkert sätt,
- återtå från djupförvaret på ett säkert sätt om så skulle kråvas.

Kapslarna ska dårtill kunna tillverkas och förslutas i en takt av ca 200 kapslar per år.

En detaljerad genomgång av konstruktionsförutsåttningarna för kapseln ges i /4-2/. Utifrån dessa konstruktionsförutsåttningarna kan man bestämma:

- storlek och utformning av kapseln,
- material och vägg tjocklek,
- metod för att tillverka tomma kapslar,
- teknik för att försluta kapseln och att kontrollera att kapseln är tät,
- teknik för att hantera, transportera och deponera kapslarna.

I det pågående arbetet har SKB valt en referenskapsel bestående av en inre insats i gjutjärn med kanaler för brånsleelementen och ett yttre hölje av 5 cm tjock koppar. Kapseln rymmer tolv BWR-element eller fyra PWR-element.

I det fortsatta arbetet kommer andra utformningar av kapseln att studeras. Handlingsfriheten är alltjämt betydande och den slutliga utformningen av kapseln behöver inte fastläggas förrän en ansökan lämnas om att få bygga en inkapslingsanläggning. Med hänsyn till den långa tid som inkapsling och deponering av brånsle kommer att pågå är det dessutom möjligt att detaljer i kapselns utformning kommer att förändras på grund av erfarenheter från det pågående arbetet.

4.4.2 Kapselstorlek

Kapselns storlek bestäms i första hand av en kombination av vilken värmeavgivning som man kan acceptera från kapseln och vilken resteffekt som avges från brånslet. Den senare är beroende av hur länge brånslet har lagrats efter uttag ur reaktorn och dess utbråning. Andra faktorer som påverkar kapselstorleken är hur kapseln ska deponeras, och vilken vikt som kan accepteras.

I de svenska studierna har kapslar som tar mellan 4 och 24 BWR-element studerats. De mindre kapslarna var avsedda för deponering i djupa borrhål, medan de större avsåg deponering i långa tunnlar /4-3/. För deponering enligt huvudalternativet har kapslar med mellan 9 och 16 BWR-element studerats. Med den planerade tidsplanen för deponering bedöms den största effektiviteten erhållas om kapslar med tolv BWR-element (eller fyra PWR-element) används. Senareläggs deponeringen avsevärt minskar resteffekten så att användning av större kapslar skulle vara tänkbar.



Beräknad vikt (kg):	
Kopparkapsel	7 600
Insats	13 900
Bränsleelement (BWR)	3 600
Totalt	25 100

Figur 4-7. Kopparkapselns dimensioner och vikter.

4.4.3 Material och materialtjocklek på kapselhölje och insats

Yttre kapsel i koppar

Sedan 1976 har ett flertal olika kapselmaterier studerats, såväl keramiska som metalliska. Flera av dessa har visat sig ha mycket god korrosionsbeständighet, som t ex koppar, aluminiumoxid, glaskeramik och titan. För de keramiska materialen identifierades tidigt fördröjt brott som en möjlig och svårförutsägbar brottsmekanism. De fortsatta studierna i Sverige har därefter koncentrerats på metalliska material, främst koppar och stål. Detaljerade studier av titan har skett t ex i Kanada.

Korrosionsegenskaperna hos koppar är väl utredda. En sammanfattande bedömning av kunskapsläget ges i /4-4/. Slutsatserna är att det är mycket osannolikt att allmän eller lokal korrosion ska vara begränsande för kapselns livslängd i djupförvaret. Motsvarande slutsatser har inte kunnat dragas med samma grad av tillförlitlighet för några alternativa material, med undantag för keramer.

Utifrån korrosionsegenskaper har därför koppar rankats som lämpligaste material i den yttre kapseln.

Från korrosionssynpunkt bör ren syrefri (< 5 ppm) koppar användas. Samtidigt ställer funktionen i djupförvaret krav på att materialet har tillräcklig seghet. För att uppnå detta har en kopparkvalitet med 40–60 ppm fosfor valts som referensmaterial. Andra kopparkvaliteter kan också bli aktuella.

Vägg tjockleken för kopparkapseln väljs i första hand med hänsyn till korrosionstiden. I referenskapseln är vägg tjockleken 50 mm. Ur korrosionssynpunkt beräknas koppark tjockleken kunna minskas med bibehållen säkerhet. Med en tunnare kopparvägg finns enklare teknik att tillgå för att svetsa på locket och för att kontrollera svetsen. Samtidigt kan inte kopparväggen göras så tunn att den inte ger tillräcklig hållfasthet vid tillverkning och hantering. För närvarande studeras även 30 mm vägg tjocklek.

Kapselinsats

För att få tillräcklig hållfasthet mot yttre tryck mot kapseln behövs det en styv inre kapsel till kopparkapseln, eller att kopparkapseln är fylld med ett fyllnadsmaterial. Tidigare har bland annat en helt blyfylld kopparkapsel studerats. Referenskapseln innehåller nu en gjuten insats i segjärn. Även gjutstål har studerats, liksom en konstruktion i form av ett stålrör. Genom övergång till en järninsats i kapseln har inkapslingsprocessen kunnat förenklas. För den blyfyllda kapseln krävdes hög temperatur för hantering av smält bly. Med nuvarande kapselutformning kan en "kall" inkapslingsprocess användas, vilket reducerar riskerna i samband med inkapsling. Detta har varit avgörande vid valet av kapsel då den långsiktiga säkerheten är likvärdig för dessa kapselalternativ.

4.4.4 Tillverkningsteknik för kapselhölje och insats

Flera olika metoder för tillverkning av kopparkapseln har identifierats. Under senare år har provtillverkning gjorts, dels genom valsning av kopparplåt som bockas till rörhalvor som därefter svetsas ihop med elektronstrålesvetsning, dels via extrudering och dornpressning av kopparrör i ett stycke. Botten har svetsats fast med samma teknik som använts för locksvetsning, det vill säga med elektronstrålesvetsning. Andra metoder som het isostatisk pressning, elektrodeponering och sprayformning har också övervägts. En viktig del i det fortsatta arbetet med olika metoder är att utvärdera vilken materialkvalitet som kan uppnås, t ex beträffande renhet, duktilitet etc Vidare kommer metoderna och systemet för kvalitetssäkring av kapseln att utvecklas.

Valet av tillverkningsteknik kommer i slutänden att bestämmas av vilken kvalitet som kan uppnås med de olika metoderna, samt kostnaden för tillverkningen och möjligheterna att finna flera tillverkare. Efterhand som tekniken utvecklas är det inte otroligt att olika tillverkningsmetoder kommer att tillämpas över tiden. För tillverkning av insatsen testas för närvarande olika gjuttekniker.



Figur 4-8. Foto av tillverkade kapslar och insatser.

4.4.5 Förslutning av kapsellock

Stora krav ställs på förslutningen av kopparkapseln. Svetsen ska vara tät och inte ha ytbrytande defekter, dessutom ska antalet inneslutna defekter vara så lågt som möjligt. Arbete pågår med att ta fram acceptanskriterier för tillåtna diskontinuiteter i svetsfogarna. Svetsen ska vidare kunna kontrolleras med oförstörande provning. Kontrollen av svetsen försvåras av strålningen från bränslet i kapseln och att åtkomst bara är möjlig till den ena sidan av svetsen.

För referenskapseln har tekniken för förslutning av kopparlock med elektronstrålesvetsning utvecklats vid TWI i Cambridge /4-5/. Denna svetsteknik prövas nu och ska vidare utvecklas för industriell tillämpning i Kapsellaboratoriet i Oskarshamn. Parallellt testas ultraljuds- och röntgenmetoder för oförstörande provning. Som en kompletterande metod för detektering av små ytnära diskontinuiteter utreds för närvarande möjligheten att använda induktiv provning.

Som alternativ eller kompletterande metod till elektronstrålesvetsning studeras bland annat friktionssvetsning.

Det slutliga valet av svetsteknik behöver inte göras förrän i ett relativt sent skede, och kommer att bli beroende av utvecklingsläget, samt av det slutliga valet av kapselutformning, väggtjocklek etc.

4.5 Lokalisering av inkapslingsanläggning

Faktorer som påverkar lokaliseringen

Fyra olika lokaliseringar av inkapslingsanläggningen har diskuterats:

- vid CLAB,
- vid djupförvaret,
- vid annan kärnteknisk anläggning,
- annan plats.

SKB:s huvudalternativ för lokalisering av inkapslingsanläggningen är att den förläggs i anslutning till CLAB vid Oskarshamns kärnkraftverk. Inför det slutliga ställningstagandet om lokalisering måste ett antal aspekter beaktas, som:

- möjlighet till samordning med befintlig verksamhet,
- tillgång till kompetens och erfarenhet av radiologisk verksamhet,
- transporter av använt kärnbränsle,
- resursutnyttjande,
- miljöpåverkan,
- samhällsaspekter.

Lokalisering vid CLAB

Lokalisering av inkapslingsanläggningen vid CLAB innebär att en anläggning förläggs i omedelbar anslutning till CLAB:s mottagningsbyggnad. Anläggningen utgörs då huvudsakligen av en inkapslingsbyggnad och förråd för transportbehållare med kapslar.

Anläggningen i dess planerade utformning ryms inom CLAB:s industriområde, varför inga nya markområden behöver tas i anspråk. Befintliga försörjningssystem vid CLAB byggs ut för att även täcka behoven vid inkapslingsanläggningen. Detta gäller till exempel system för kylning, vattenrening och el. Det är också möjligt att utnyttja den befintliga organisationen vid CLAB.

Det använda bränslet förs i sina lagringskassetter under vatten från förvaringsbassängerna i CLAB, via CLAB:s bränslehis till inkapslingsanläggningens förbindelsebassäng. Det krävs därmed inga externa transporter för överföring av bränsle från CLAB till inkapslingsanläggningen.

Huvuddelen av driften av anläggningen sker under dagtid. Den övervakning som krävs av anläggningen nattetid kommer att utföras från det centrala kontrollrummet i CLAB, vilket medför att personalresurserna kan samordnas.

Lokalisering vid djupförvaret

En lokalisering av inkapslingsanläggningen vid djupförvaret innebär att bränslet lastas i transportbehållare i CLAB. Denna process är i princip den omvända mot urlastningen vid mottagning av bränsle i CLAB. Urlastning av bränsle vid inkapslingsanläggningen sker i en mottagningsbyggnad. Utformningen av själva inkapslingsbyggnaden blir till stora delar densamma som i fallet med en lokalisering vid CLAB men inga lagringsbassänger behöver byggas. Behovet av mellanlager för inkapslat bränsle blir mindre vid en lokalisering i anslutning till djupförvaret, eftersom kapslarna med använt bränsle kan föras från inkapslingsanläggningen direkt ner i djupförvaret. Av logistiskäl krävs dock ett mellanlager för ej inkapslat bränsle.

Personalresurserna kan till viss del samordnas med djupförvaret.

Utformningen av inkapslingsanläggningen lokaliserad vid djupförvaret finns redovisad i en separat rapport /4-6/.

En lokalisering vid djupförvaret medför att uppförandet måste samordnas med övrig verksamhet på platsen för djupförvaret. Hanteringen av bränslet och inkapslingen kommer att medföra produktion av aktivt avfall samt utsläpp till luft och vattenreceptient. Dessa utsläpp kan eventuellt störa den långsiktiga radiologiska övervakningen av djupförvarsplatsen.

Lokalisering vid annan kärnteknisk anläggning

Lokalisering vid en annan kärnteknisk anläggning medför, liksom en lokalisering till djupförvaret, transporter av använt kärnbränsle från CLAB till inkapslingsanläggningen. Efter mottagning och inkapsling krävs sedan ytterligare transporter för att föra det inkapslade bränslet till djupförvaret.

Vid en lokalisering till en annan kärnteknisk anläggning kan viss samordning med befintlig verksamhet förekomma. Erfarenhet från radiologisk verksamhet och infrastruktur finns t ex på platsen. Samordningsvinsterna upphör emellertid med tiden vid lokalisering vid ett kärnkraftverk, eftersom inkapslingsanläggningen kommer att vara i drift efter det att kärnkraftverket avvecklats.

Lokalisering vid en helt ny plats

Lokalisering av inkapslingsanläggningen till en helt ny plats innebär att kärnteknisk verksamhet måste etableras på en ny plats i Sverige.

Detta leder i sin tur till att alla funktioner som finns vid en kärnteknisk anläggning måste inrättas på denna plats. Detta gäller program och system för kontroll av radioaktivitet i omgivningen, samt upprättande av beredskapsplaner för kringboende. Det innebär också att kompetens för radiologisk verksamhet behöver byggas upp på den aktuella platsen.

Transporter av använt kärnbränsle från CLAB till inkapslingsanläggningen, och av inkapslat bränsle från anläggningen till ett djupförvar medför att det krävs tillgång till hamn, alternativt järnvägsförbindelse, på platsen. I övrigt gäller samma förhållanden som beskrivits ovan för lokalisering till annan kärnteknisk anläggning.

Lokaliseringens påverkan på systemet – säkerhets- och miljöaspekter

En förläggning vid CLAB utgör SKB:s huvudalternativ för lokalisering av inkapslingsanläggningen. Vid lokalisering i anslutning till CLAB kan befintliga system användas efter eventuell utbyggnad och modifiering. En sådan lokalisering innebär också att bränslet överförs från CLAB via bränslehissen till inkapslingsanläggningen helt internt.

En lokalisering skild från CLAB medför andra rutiner för utförelse av bränsle från CLAB. Processen för lastning av bränsle i transportbehållare i CLAB är i princip den omvända jämfört med den hantering som sker idag vid mottagning av bränsle från kärnkraftverken. Den leder därför inte till någon principiell förändring av säkerheten i anläggningen. Vid en lokalisering till djupförvaret blir behovet av förrådsutrymme för inkapslat bränsle något mindre än vid en lokalisering vid CLAB.

Anläggningens säkerhet påverkas marginellt av en lokalisering skild från CLAB. Den utökade hanteringen kan leda till något större stråldoser till personal vid normal drift. Möjliga störningar och missöden vid den utvidgade hanteringen i samband med lastning av bränsle i transportbehållare i CLAB och urlastning vid inkapslingsanläggningen är av samma typ som vid mottagning av bränsle vid CLAB. En skillnad är dock att bränslet lagrats i ca 30 år i CLAB och att radioaktiviteten i bränslet därför är lägre än när använt bränsle mottas vid CLAB. Konsekvenserna i form av stråldoser till personal och allmänhet vid eventuella störningar och missöden blir därmed lägre än vid mottagning av använt bränsle vid CLAB.

Transportbehovet påverkas av vald lokalisering. Vid en lokalisering till djupförvaret sker transporter av använt bränsle på samma sätt som transporter av använt bränsle från kärnkraftverken till CLAB. De använda behållarna rymmer fler bränsleelement än kapseln, vilket gör att antalet transporter blir mindre vid en lokalisering av inkapslingsanläggningen till djupförvaret än vid en lokalisering till CLAB. Det totala transportarbetet är dock litet, ca 200 behållare per år för CLAB-alternativet och ca 150 behållare per år eller mindre beroende på om dagens storlek på transportbehållare eller större behållare används för djupförvarsalternativet. Vid lokalisering av inkapslingsanläggningen vid en annan kärnteknisk anläggning eller på annan ort ökar transportbehovet eftersom transporter av såväl icke inkapslat som inkapslat bränsle då ska ske.

Sammanfattning av huvudalternativ för lokalisering inkapslingsanläggningen

I detta avsnitt redovisades fyra olika lokaliseringsalternativ för inkapslingsanläggningen; vid CLAB, vid djupförvaret, vid annan kärnteknisk anläggning eller på annan ort. SKB:s huvudalternativ och som används vid planeringen är en lokalisering vid CLAB med ett antal fördelar jämfört med en annan lokalisering enligt följande:

- Befintliga system och anläggningsdelar i CLAB kan till en del användas i inkapslingsprocessen.
- Tillgången till erfarenhet av bränslehantering, samt drift och underhåll av service-system är stor hos personalen vid CLAB.
- Tillgången till annan kärnteknisk infrastruktur är god vid CLAB.
- CLAB och Inkapslingsanläggningen kommer att ha en mycket lång drifttid och när allt bränsle är inkapslat kan både CLAB och Inkapslingsanläggningen avvecklas under samma tidsperiod och senare än andra kärntekniska anläggningar i Sverige.
- Transporterna till djupförvaret kan genomföras med ett enklare behållarsystem eftersom bränslet är inkapslat. Antalet transporter ökar dock, eftersom antalet bränsleelement per behållare blir färre i en kapsel än i en bränsletransportbehållare.
- Inkapslingsanläggningen ryms inom SKB:s fastighet för CLAB. Ny mark behöver inte tas i anspråk och det krävs inga nya vägar eller kylvattenanläggningar.
- I den händelse att platsen för djupförvaret måste lämnas i ett sent skede av detaljundersökningen kommer inkapslingsanläggningen att vara uppförd på en plats som inte ger några fördelar utan enbart nackdelar eftersom inga samordningseffekter med driften av djupförvaret då erhålles.

Den mer omfattande hanteringen som en lokalisering skild från CLAB innebär ger dock endast en marginell påverkan på säkerheten. En detaljerad redovisning av vad olika lokaliseringsalternativ innebär när det gäller omgivningspåverkan kommer att ges i en miljökonsekvensbeskrivning (MKB) för inkapslingsanläggningen.

En lokalisering av inkapslingsanläggningen i anslutning till djupförvaret medför att djupförvarets lokalisering bestämmer tidpunkt för uppförandet av inkapslingsanläggningen. Detta leder till att tillståndsprocesser etc måste samordnas fullt ut för de två anläggningarna.

4.6 Kapselabrik

För närvarande undersöks tre metoder för *tillverkning av kopparkapselns rörformade del*:

- Valsning/rullformning av rörhalvor som svetsas samman med längsgående svets sömmar.
- Extrudering av rör.
- Dornpressning av rör.

Möjligheten att tillverka kopparrören genom Hot Isostatisk pressning (HIP), sprayformning och elektrodeponering har diskuterats men inga fullskaleförsök har gjorts.

Extruderingen är en metod för tillverkning av heldragna rör utan långsgående svets-sömmar. Dornpressning är ett alternativ till på extrudering där pressning och dragning över dornar sker till önskad diameter.

Tillverkning av lock och bottenar i koppar sker genom maskinbearbetning av ämnen som förformats genom smide. Längdsvetsningen av rörhalvorna och fastsvetsning av bottenar vid tillverkningen av kapslar sker genom elektronstrålesvetsning (EB-svetsning). Detta utförs för närvarande hos The Welding Institute, TWI, i England.

Förslutning av kapsellocket sker också med EB-svetsning vilket provas i SKB:s kapsel-laboratorium i Oskarshamn.

Tillverkningen av insatser i segjärn kan ske hos ett flertal gjuterier i de nordiska länderna. Provtillverkning av kopparkapslar med gjutna insatser finns beskrivet i en separat rapport /4-7/.

Enligt planeringen för kapselfabriken ska ämnesmaterial i form av valsad kopparplåt eller extruderade rör samt smidda ämnen till lock och bottenar levereras till kapselfabriken från externa leverantörer. Insatserna av segjärn levereras gjutna och grovbearbetade till fabriken för färdigbearbetning. Ämnen till insatslocken är tillverkade ur valsad stålplåt och färdigställs i fabriken.

Kapslarna färdigställs i en fabrik som byggs speciellt för detta ändamål, se figur 4-9. Tillverkningen av kapslar är en icke-radiologisk verksamhet och det finns därför inget behov av att lokalisera en sådan anläggning till ett område med kärnteknisk verksamhet. Tillverkningen av kapslar sker som slutbearbetning av i förväg gjutna, smidda eller valsade ämnen. Störningarna från en sådan anläggning blir därför mycket små. Råmaterial till kapselfabriken levereras troligen från Europa när det gäller kopparhöljet, och från Skandinavien när det gäller insatsen. Transporter av råmaterial har därmed ingen avgörande betydelse när det gäller lokalisering av kapselfabriken.

En trolig lokalisering av kapselfabriken är till samma region som inkapslingsanläggningen, dock inte inom området med kärnteknisk verksamhet. Alternativt kan den lokaliseras till någon befintlig metallindustri. Frågor som måste beaktas vid en lokalisering är avståndet för transporter av kapslar mellan kapselfabrik och inkapslingsanläggning, och tillgången till industriell kapacitet.



Figur 4-9. Fabrik för tillverkning av kapslar.

4.7 Säkerhet och strålskydd

4.7.1 Påverkan på driftsäkerheten

Huvuddelen av de förändringar som är möjliga för kapseln har relativt liten inverkan på driftsäkerheten, men de är i första hand av betydelse för den långsiktiga säkerheten och kostnaderna. De förändringar som kan påverka driftsäkerheten är kapselstorlek och förslutningsteknik. Kapselstorleken påverkar kapselns vikt och därmed den utrustning som behövs för att hantera kapseln. Även den största kapsel som har studerats bedöms dock kunna hanteras med tillfredsställande säkerhet, även om utformningen av hanteringsutrustningen kan bli något annorlunda.

Elektronstrålesvetsning är i sig en stark strålkälla som kräver omfattande strålskärning vid arbetsstationen. För att ett bra svetsresultat ska erhållas erfordras god kontroll på styrningen av elektronstrålen. Erfarenhetsmässigt leder förenklad utrustning till ökad säkerhet och inte minst till ökad tillgänglighet.

Oförstörande provning med röntgen av svetsfogen utgör också en kraftig strålkälla varför denna arbetsstation måste vara strålskärnad på samma sätt som den för elektrostrålsvetsen.

Förändringar i kapselns utförande och främst i kopparväggens tjocklek kommer inte att påverka strålningsnivån kring kapseln eftersom diametern kan ökas på insatsen och därigenom kompensera bortfallet av strålskärning från kopparmanteln.

4.7.2 Påverkan på långsiktig funktion och säkerhet

Viktigast för den långsiktiga säkerheten är kapselns täthet och korrosionsegenskaper, samt kopparkapselns krypduktilitet och kapselns hållfasthet mot yttre påkänningar. Av de möjliga förändringar som diskuterats ovan är det i första hand materialvalet och kopparnas väggdjocklek som har betydelse för den långsiktiga säkerheten.

En övergång till en koppartjocklek på 30 mm istället för, som för referenskapseln, 50 mm utreds för närvarande. Genomförda studier visar att säkerhetsmarginalerna är mycket stora även vid 30 mm /4-4/. Med en tunnare kopparkapsel kan kontrollmöjligheterna med oförstörande provning förbättras, vilket minskar risken för upptäckta defekter i kapseln och svetsfogarna. Då en kapsel med initial kapselskada säkerhetsmässigt ger de största konsekvenserna, finns det potential för att öka säkerhetsmarginalerna med minskad väggdjocklek.

4.7.3 Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter vid inkapsling

Verksamheten vid inkapslingsanläggningen utgörs huvudsakligen av inkapsling av använt kärnbränsle i kopparkapslar. Hantering av hårdkomponenter i anläggningen berörs därför inte närmare i detta avsnitt. Den totala aktivitetsmängden i inkapslingsanläggningen är tämligen liten i jämförelse med den i kärnkraftverken och CLAB, och den övervägande delen av aktiviteten är fast bunden i bränslet. Innan det använda bränslet överförs till inkapslingsanläggningen har det avklingat i ca 30 år. Under denna tid har radioaktiviteten i bränslet minskat avsevärt och de flesta flyktiga klyvningsprodukterna har avklingat.

Vid en lokalisering av inkapslingsanläggningen vid CLAB sker de inledande momenten av hanteringen i inkapslingsanläggningen under vatten vilket ger strålskydd vid verifiering av bränslets identitet och omlastning till transportkassetter. Vid separat lokalisering

av inkapslingsanläggningen förutsätts torr hantering och transportbehållare med använt kärnbränsle dockas direkt till inkapslingsanläggningens hanteringscell. Övrig hantering i båda anläggningsalternativen sker fjärrmanövrerat med bränslet placerat i strålskärmande celler med egen filtrerad ventilation. Även efter inkapsling är strålningsnivån på kapseln så hög att normal hantering sker fjärrstyrt. Först sedan kapseln placerats i en strålskärmande transportbehållare är strålningsnivån sådan att rutinmässig hantering kan ske utan ytterligare skärmning.

Strålskyddet i inkapslingsanläggningen är, liksom i CLAB, utformat enligt de principer som används vid kärnkraftverken. Detta innebär att anläggningen är dimensionerad så att individdosen till personal inte ska överstiga 5 mSv/år.

Aktivitetskoncentrationerna i bassängernas vatten hålls på en låg nivå genom rening med jonbytare och mekaniska filter. När dessa förbrukats omhändertas de vid CLAB tillsammans med avfall från verksamheten vid CLAB.

Luftburen aktivitet i anläggningen kan förekomma som aerosol, partiklar eller i gasform. Luft från vissa utrymmen filtreras genom partikelfilter för att mängden luftburen aktivitet ska minimeras. All frånluft passerar genom ventilationskorstenen, där aktivitetsinnehållet mäts kontinuerligt.

För att garantera att hanteringen av bränsle är säker utformas anläggningen, transportkassetterna och kapseln på ett sådant sätt att samma krav på kriticitetssäkerhet uppfylls som i CLAB. Detta säkerställs bl a genom att transportkassetterna är utformade på samma sätt som lagringskassetter i CLAB, trots att de har plats för färre bränsleelement. Man kan välja mellan de två principer som används i CLAB, avstånd mellan bränsleelementen eller borerad plåt. Kriticitetssäkerheten ska vara uppfylld med marginal även vid onormala händelser som att kassetter med bränsle tappas eller välter vid hantering, eller att bränsleelement placeras i fel typ av kassett. För kriticitetssäkerheten i kapseln kan det bli aktuellt att tillgodoräkna sig att bränslet har en viss utbränning och därmed är mindre reaktivt för det fall att kapseln vattenfylles.

4.7.4 Konsekvenser vid normal drift i inkapslingsanläggningen

Strålskydd och stråldos till personal

Dosbelastningen till personal i inkapslingsanläggningen härrör från hantering, övervakning och underhåll i samband med inkapsling. Den totala kollektivdosen till personalen beräknas högst uppgå till ca 20 mmanSv/år vilket motsvarar en individdos på i genomsnitt < 1 mSv/år.

Utsläpp från anläggningen

Utsläppen av radioaktiva ämnen till vatten och ventilationsluft beräknas bli mycket små. Eftersom det främst är omlastning av bränsle som ger upphov till dessa utsläpp beräknas de uppgå till samma nivåer som utsläppen från hanteringen i CLAB, dvs några tiotusendelar av normutsläpp.

Utsläppen med ventilationsluften till omgivningen mäts kontinuerligt.

Avfallsvatten från anläggningen förs ut till omgivningen via CLAB. Vattnet kontrolleras med avseende på aktivitetsinnehåll innan det från uppsamlingstankar pumpas ut och blandas med kylvatten från anläggningen. Därefter förs vattnet till den utsläppstunnel för kylvatten som främst betjänar Oskarshamns block 1.

Avfallsproduktion

I inkapslingsanläggningen uppkommer i huvudsak samma typer av låg- och medelaktivt avfall som vid CLAB. Huvuddelen av avfallet från inkapslingsanläggningen förs till CLAB och hanteras där, tillsammans med avfall från verksamheten i CLAB.

4.7.5 Missödesanalys

Olika slag av händelser kan inträffa i inkapslingsanläggningen under dess drift. Störningar kan tänkas inträffa under anläggningens livstid, även om vissa av dessa händelser förväntas ske mycket sällan. Missöden beräknas däremot vara mycket osannolika.

Störningar

Följande störningar har identifierats:

- komponentfel i kyl- och reningssystem,
- fel i hanteringssystem,
- operatörsfel,
- vattenläckage och inre översvämning,
- aktivitetsläckage,
- bortfall av yttre nät,
- tryckluftsbortfall,
- datorbortfall,
- begränsad brand.

De störningar som nämns ovan har analyserats med avseende på deras konsekvenser och behov av åtgärder. Störningarna leder inte till några skador på bränslet i anläggningen eller till några konsekvenser för omgivningen. Konsekvenserna i anläggningen varierar från inga alls till kortare eller längre driftavbrott i berörda system eller utrymmen, beroende på störningens omfattning. Anläggningen är utformad så att väsentliga funktioner som berörs av störningar kan övertas av andra system eller systemdelar, alternativt avvaras helt under viss tid. Brandskyddet är utformat för att bli förhindra att en ”begränsad brand” utvecklas till en ”större brand”.

Missöden

Identifierade missöden i samband med drift av inkapslingsanläggningen är:

- brand,
- hanteringsmissöde,
- yttre påverkan.

Brand

En större brand i ett ställverk eller en kabelkulvert kan slå ut elmatningen till ett stort antal komponenter. Om den yttre matningen förloras kan viktiga funktioner upprätthållas genom att dieselgeneratorer kopplas in. Kylning av bassängerna upphör dock vid en sådan händelse. Om det är risk att den maximalt tillåtna temperaturen överskrids kan uppställt bränsle föras tillbaka till CLAB via bränslehissen och bränslehanteringsmaskinen, som båda kraftmatas från dieselsäkrat nät.

Hanteringsmissöden

De hanteringsmissöden som studerats är att man tappar bränslehisskorg, bränsleelement, bränslekassett, kapsel eller transportbehållare, eller att vagnen i transporttrampen skenar. Riskerna för att sådana händelser ska kunna inträffa har minimerats genom gripverktygens utformningar och förreglingar hos hanteringsmaskinerna. Konsekvenserna av en tappad bränslehisskorg och åtgärder som vidtagits för att minimera dessa redovisas nedan.

Om ett bränsleelement eller en kassett med bränsle tappas i en bassäng uppkommer troligen inga skador på bränslet, eftersom fallhöjderna är begränsade och kassetterna har konstruerats så att de fungerar stötpuffande vid en sådan händelse. Skulle skador på bränslet ändå uppkomma frigörs ^{85}Kr som gasformig aktivitet till luften i hanteringshallen och vidare ut till omgivningen via ventilationsskorstenen. I bassängvattnet frigörs aktivitet i form av ^{137}Cs . Genom rening av vattnet med filter och jonbytare sjunker aktiviteten kontinuerligt. För att påskynda reningsprocessen i den aktuella bassängen finns möjlighet att leda hela reningsflödet till denna bassäng. Den största skadan uppkommer om en kassett tappas på en annan kassett. Stråldoserna och utsläppen av aktivitet blir dock lägre än för motsvarande händelse i CLAB eftersom allt bränsle som förs till inkapslingsanläggningen har klingat av i ca 30 år och aktivitetsinnehållet därmed reducerats avsevärt.

Om ett bränsleelement eller en kassett med bränsle tappas i hanteringscellen kan en skada på bränslet inte uteslutas. Liksom vid skadat bränsle i en bassäng, frigörs ^{85}Kr och förs via ventilationsskorstenen ut till omgivningen. Ventilationssystemet förhindrar att den luftburna aktiviteten sprids till andra utrymmen i anläggningen. Konsekvenserna blir dock lindrigare än ett fall då en kapsel med bränsle krossas i samband med ett hypotetiskt transportmissöde.

Om vagnen i transporttrampen skenar förväntas inga bränsleskador uppkomma. Vattenmotståndet gör att vagnens hastighet blir låg och stötdämpare i nedre änden på rampen gör att påfrestningarna minskas.

För att förhindra allvarliga konsekvenser om en kapsel med bränsle tappas finns stötdämpande utrustning vid samtliga positioner där kapseln lyfts. Stöd finns också installerade för att förhindra att kapseln välter.

Om transportbehållaren tappas i anläggningen uppkommer inga skador som kan leda till radioaktiva utsläpp.

Yttre påverkan

Tillslutna transportbehållare förväntas behålla sin integritet vid de belastningar som uppkommer vid en jordbävning. Vissa delar av inkapslingsanläggningen, till exempel utrustningen i hanteringscellen, kan komma att jordbävningssäkras.

Sammanfattning

Den mängd bränsle som förekommer i anläggningen är liten jämfört med mängderna i CLAB och kärnkraftverken. Konsekvenserna för anläggningen och dess omgivningar vid störningar och missöden är små. Det bränsle som finns i inkapslingsanläggningen kan vid ett missöde återföras till CLAB, vilket gör att doserna till personal begränsas vid eventuella återställningsarbeten.

4.8 Safeguards

I CLABs bassänger och före inkapsling är det tämligen enkelt att identifiera enskilda bränsleelement och därigenom verifiera inventariet. Efter inkapsling av bränslet blir det avsevärt svårare att mäta hur mycket klyvbart material som finns i kapseln. Här ökar således kraven på övervakning, så att man är säker på att man har en kontinuerlig kunskap om materialet och att övervakningen inte bryts. Det kan ske genom TV-kameror, strålningsmätare, larm etc och genom att sätta sigill på transportbehållarna. Kraven på övervakning underbyggs genom att kapseln förses med en unik märkning, som ska kunna återverifieras om märkningen av någon anledning skadas. Möjligheten att utnyttja locksvetsen i kapseln som "fingeravtryck" har diskuterats för sådan återverifiering.

Efter inkapsling är kapseln redovisningsenhet. Från denna tidpunkt är det mycket svårt att mäta om det saknas stavar i bränslet, samt att fastställa det klyvbara innehållet. Kapselns unika märkning utgör en viktig länk i safeguardkontrollen.

Dokumentation

All hantering av bränsleelement, inkapsling och förflyttning av kapslar dokumenteras noggrant i safeguardsredovisningen. Uppgifter om innehållet av klyvbart material baseras till övervägande delen på uppgifter som lämnats från reaktordriften och från inkapslingen.

Speciell uppmärksamhet ägnas i redovisningen åt att dokumentera om någon demontering av bränsleelementen sker eller om stavar tas bort.

Mätningar

Så sent som möjligt innan bränslet placeras i en kapsel görs en verifierande mätning av bränsleelementen. Denna syftar till att visa att signifikanta kvantiteter av bränsle inte har avletts. Mätningen görs lämpligen i inkapslingsanläggningen i samband med att bränslet sätts ner i kapseln eller i samband med att bränsle lastas om i hanteringsbassängen. Om bränslet har demonterats kan en noggrannare mätning krävas för att verifiera att endast uppgivet antal stavar har tagits bort.

Sedan bränslet placerats i kapseln tas ett foto av kapseln uppifrån där bränsleelementens och kapselns identitet framgår.

Övervakning

Efter att denna mätning och fotodokumentation gjorts krävs det att kontinuiteten bevaras beträffande kunskapen om vad som händer med bränslet eller kapslarna. Detta sker genom att all hantering övervakas med TV-kameror, samt att förflyttningar övervakas

med t ex strålningsmätare. Vidare monteras övervakningsutrustning på alla troliga vägar där man skulle kunna ta ut bränsle ur anläggningen.

När kapseln placeras i en transportbehållare kan sigill sättas på behållaren. Dessa öppnas först när kapseln lastas ur i djupförvaret innan den förs över till deponeringsmaskinen.

4.9 Miljöpåverkan

Miljökonsekvenserna på grund av uppförande och drift av de olika anläggningarna i systemet beror på lokala förhållanden och på vilka hänsynskrävande arter och objekt som finns i det aktuella området. Enligt huvudalternativet är inkapslingsanläggningen planerad till CLAB på Simpevarpshalvön.

4.9.1 Markanvändning och landskapsbild

Inkapslingsanläggningen ligger ovan jord och ger en påverkan på landskapsbilden och markanvändningen. Vid en placering vid CLAB ligger anläggningen inom ett etablerat industriområde och inverkan på landskapsbilden är försumbar. Samma förhållande gäller vid lokalisering vid djupförvaret eller annan kärnteknisk anläggning. Etablering på en helt ny plats medför att landskapsbilden ändras.

Kapsel fabriken lokaliseras troligen till ett befintligt industriområde. Detta gör att dessa anläggningar lokaliseras till områden med befintlig industriell verksamhet och de ger därför en liten påverkan på markanvändning och landskapsbild.

4.9.2 Luft och vatten

Brytning och förädling av koppar till kapslarna är sannolikt den verksamhet i samband med djupförvarssystemet som förorsakar den största miljöpåverkan i form av utsläpp till vatten och luft. I kapsel fabriken sker endast en slutbearbetning av metaller, vilket gör att utsläpp till vatten och luft blir små från denna anläggning.

Sprängningsarbeten görs eventuellt när inkapslingsanläggningen byggs. Detta leder till påverkan på omgivande luft och vatten på grund av utsläpp av gödande och försurande kväveoxider. Omfattningen beror på vilka mängder och typer av sprängmedel som används.

4.9.3 Förbrukning av naturresurser

Totalt beräknas en förbrukning av koppar på ca 35 000 ton till de ca 4 500 kapslarna. Detta utgör i sig inte någon stor andel av kopparförbrukningen i världen. Den årliga förbrukningen vid full drift beräknas till knappt 1,5 % av den totala förbrukningen av koppar i Sverige och till ca 0,013 % av den mängd som årligen produceras i världen. Det utgör inte heller någon stor förbrukning räknat per megawattimme producerad el jämfört med andra typer av elproduktion. Det bör dock noteras att den koppar som används till kapslar förs ut ur kretsloppet utan möjlighet till återvinning.

4.9.4 Sammanfattning av miljöpåverkan

Den icke radiologiska miljöpåverkan från inkapslingsanläggningen och kapseltillverkningen har begränsad omfattning. Brytning och förädling av koppar för framställning av kopparkapslar är sannolikt den enstaka företeelse som förorsakar den största miljöpåverkan.

Inkapslingsanläggningen och troligen också kapselfabriken lokaliseras till befintliga industriområden vilket gör att anläggningarnas påverkan på landskapsbild och markanvändning blir liten.

4.10 Sammanfattning och utvärdering

Ett omfattande arbete pågår beträffande klarställande av krav och förutsättningar för kopparkapslar samt insats vilket framgår av bland annat FUD 98-programmet och SR 97. Metoder att tillverka kopparkapslar och insatser utvecklas också inom ramen för programmet med provkapslar till SKB:s kapsellaboratorium i Oskarshamn och för de stora injektorsexperimenten med Återtag och Prototypförvar i Äspö.

Planerat program med svetsning av kapsellock och genomförande av oförstörande provning med röntgen och ultraljud kommer också att tillföra värdefulla kunskaper och är ett led att kvalificera dessa metoder till användning i den framtida inkapslingsanläggningen.

Hanteringscellen i kapsellaboratoriet kommer att utnyttjas för utveckling av teknik och utrustning för hantering och inplacering av bränsleelementen i kapslarnas insatser och för förslutning av ställocket. Kapsellaboratoriet ger också framtida möjligheter att testa alternativa utformningar av svetsfogen för kapsellocket och även nya förslutningsmetoder.

Ur planeringssynpunkt kan dessa arbeten pågå ytterligare 3–4 år. Under den senare delen av denna period planeras en uppdatering av allt processunderlag och anläggningslayout för den framtida inkapslingsanläggningen.

Arbetet med studier beträffande omhändertagandet av annat långlivat avfall ska till denna tidpunkt ha kommit till ett beslut om fortsatt arbetsinriktning. Ett alternativ är att endast vissa avfallstyper, till exempel styrstavar, ska konditioneras i inkapslingsanläggningen medan övrigt långlivat avfall som uppstår vid rivningen av kärnkraftverkens reaktorer mellanlagas torrt i bergrum och konditioneras i en separat anläggning i anslutning till mellanlagret. Lokaliseringen av detta mellanlager kommer att väljas med hänsyn till övrig verksamhet och behov av de utbyggnader som ändå behöver ske.

Fram till denna tidpunkt bör även diskussionerna om inkapslingsanläggningens lokalisering ha kommit så långt att endast ett alternativ till lokalisering behöver utarbetas.

4.11 Referenser

- 4-1 Gillin K. Säkerhet vid drift av inkapslingsanläggningen. SKB Rapport R-98-12, Stockholm, september 1998.
- 4-2 Werme L. Konstruktionsförutsättningar för kapsel för använt kärnbränsle. SKB rapport R-98-08, Stockholm, juli 1998.
- 4-3 Projekt AlternativStudier för Slutförvar (PASS). Slutrapport. SKB, Stockholm, september 1992.
- 4-4 Wersin P, Spahiu K, Bruno J. Kinetic Modelling of Bentonite-Canister Interaction. Long Term Predictions of Copper Canister Corrosion under Oxidic and Anoxic Conditions. SKB Technical Report TR 94-25, Stockholm, September 1994.
- 4-5 Nightingale K R, Sanderson A, Kjell J M, Ripton C N, Day A B. Electron beam welding of copper canister lids in reduced demonstration facility. SKB projekt Inkapsling, projektrapport PR 96-01, Stockholm, 1995.
- 4-6 Havel R. FRINK Projektrapport Inkapslingsanläggning placerad vid djupförvaret. SKB rapport R-00-16, mars 2000.
- 4-7 Andersson C-G. Provtillverkning av kopparkapslar med gjutna insatser under 1996 och 1997. SKB Rapport R-99-09, Stockholm, augusti 1998.

5 Transportsystem för radioaktivt avfall

5.1 Transportsystemets uppgift

Transportsystemet har för närvarande till uppgift att transportera radioaktivt avfall från kärnkraftverken och Studsvik till CLAB i Oskarshamn och slutlagret för driftavfall, SFR, i Forsmark. Till CLAB transporteras använt kärnbränsle och hårdkomponenter i anpassade transportbehållare (TB) och till SFR transporteras konditionerat låg- och medelaktivt driftavfall i efter avfallskollit anpassade transportbehållare (ATB).

Transportsystemets uppgift kommer att utökas för att också på ett säkert sätt transportera det inkapslade bränslet från inkapslingsanläggningen till djupförvaret. I den händelse att inkapslingsanläggningen ligger skild från CLAB tillkommer även transport av icke inkapslat bränsle på samma sätt som för närvarande sker från kraftverken till CLAB. Transportsystemet kommer i framtiden också att utökas med behållare för transport av rivningsavfall och låg- och medelaktivt långlivat avfall.

I dagens transportsystem sker huvudsakligen transportererna med båt mellan de olika anläggningarna och endast kortare transporter av avfallskollin utförs med speciellt utformade terminalfordon. I det framtida transportsystemet kan det bli aktuellt att genomföra avfallstransporter även på järnväg eller längre transporter på allmänna landsvägar.

SKB har sedan 1985 ett fungerande system för transporter av använt kärnbränsle från kärnkraftverken till CLAB. 1987 kompletterades transportsystemet med nya transportbehållare för låg- och medelaktivt driftavfall till SFR i Forsmark. I transportsystemets sjötransporter används fartyget M/S Sigyn. Erfarenheterna från genomförda transporter utgör en mycket god grund att bygga på vid utformningen av ett transportsystem för inkapslat bränsle, rivningsavfall och långlivat låg- och medelaktivt avfall.

Beroende på lokalisering av i systemet ingående anläggningar kan transport med järnväg bli aktuell. Samutnyttjande av delar av transportsystemet kan då bli lämplig för till exempel transport av buffertmaterial i järnvägsvagnar från omlastningshamn till djupförvarsanläggningen. Även andra typer av transporter kan inkluderas.

5.2 Krav och värderingsgrunder

Transporterna av radioaktivt avfall inklusive inkapslat bränsle ska ske inom ramen för nationella och internationella lagar och bestämmelser. Sådana bestämmelser har utfärdats av svenska myndigheter, SSI och SKI, och av IAEA.

Transporterna ska utföras i den takt som bestäms av djupförvarets kapacitet för deponering. Dimensionerande kapacitet är 200 kapslar per år. Kapaciteten för övriga avfallskategorier kommer att studeras i ett senare skede.

5.3 Anläggnings- och processbeskrivning

5.3.1 Inledning

Transport av inkapslat bränsle från inkapslingsanläggningen till djupförvaret kan komma att ske till sjöss, på järnväg eller landsväg beroende på djupförvarets lokalisering.

Transporter på fartyg och/eller järnväg utgör dock huvudalternativ i denna studie. Vid en lokalisering på stort avstånd från inkapslingsanläggningen kan det bli aktuellt att först transportera avfallet till sjöss. Efter omlastning vid lämplig hamn transporteras godset med järnväg och eventuellt också på allmän väg till djupförvaret. Varje fartygs- och järnvägstransport beräknas bestå av ca tio kapslar med bränsle, och årligen överförs ca 200 transportbehållare med inkapslat bränsle. Till detta kommer transporter av långlivat låg- och medelaktivt avfall från olika anläggningar. Det totala antalet transportbehållare med radioaktivt material under reguljär drift beräknas bli drygt 300 per år.

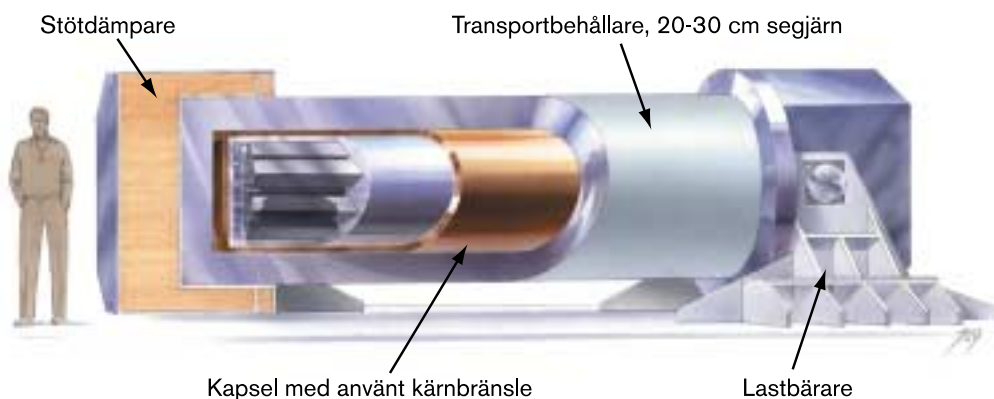
5.3.2 Beskrivning av transportsystemet

Transportsystemets uppgift i huvudalternativet är att förflytta det inkapslade bränslet från inkapslingsanläggningen till djupförvaret. För detta ändamål används speciellt tillverkade strålskärmande transportbehållare för kapslar. Fartyg, järnvägsvagnar och/eller landsvägsfordon används vid transporter av dessa transportbehållare. Terminalfordon, lyftutrustningar och uppställningsplatser behövs vid anläggningarna och vid en eventuell omlastningshamn.

Transportbehållare, lastbärare och terminalfordon

Transportbehållarens funktion är att utgöra strålskärm för det inkapslade bränslet. Den ska vidare uppfylla krav på hållfasthet och värmetålighet, samt ha förmåga att leda bort den värme som alstras i bränslet. Behållaren licensieras som en typ B-behållare enligt IAEA:s rekommendation.

Behållaren tillverkas vanligen i gjutjärn med en godstjocklek som bestäms av strålskärningsbehovet. Dess mantel förses med kanaler fyllda med ett plastmaterial som dämpar strålningen från neutroner. Dess vikt är ca 40 ton, vilket ger en total vikt på ca 65 ton med last av inkapslat bränsle. I transportbehållarens lock och botten finns en neutronabsorberande matta av trä eller plast, som också fungerar som stötskydd för kapseln i behållaren. I topp och botten monteras stötdämpare inför transporten.



Figur 5-1. Transportbehållare för inkapslat bränsle.

Transportbehållaren placeras på en lastbärare för hantering med terminalfordon och för surring vid ett fartygsdäck. Lastbäraren är en plattform med ben, med en vikt på ca 17 ton.

Terminalfordon används för transport från inkapslingsanläggningen till fartyg, och vid en eventuell omlastning från fartyg till järnväg eller landsvägsfordon. Fordonets högsta hastighet med last är ca 10 km/h och det kan ha en maximal last på 120 ton. Det körs in i fartygets lastrum via dess akterramp. Fordonet kan vid behov följa med på fartyget.

Fartyg

M/S Sigyn eller liknande fartyg kan antas komma till användning för sjötransporter av inkapslat bränsle till djupförvaret. M/S Sigyn är byggd speciellt för transport av radioaktivt gods med bland annat dubbelt skrov och botten. Även framdrivningsmaskineriet är dubblerat. Fartyget är av svensk-finsk isklass 1A och kan själv bryta is som är ca 30 cm tjock. Hon har 10 positioner för transportbehållare och en lastförmåga på ca 1 400 ton. M/S Sigyn är ett kombinerat roll-on/roll-off, lift-on/lift-off fartyg. M/S Sigyn används i dag både för transporter av använt bränsle från kärnkraftverken till CLAB och av driftavfall från kraftverken, CLAB och Studsvik till SFR i Forsmark.

Järnvägsvagnar

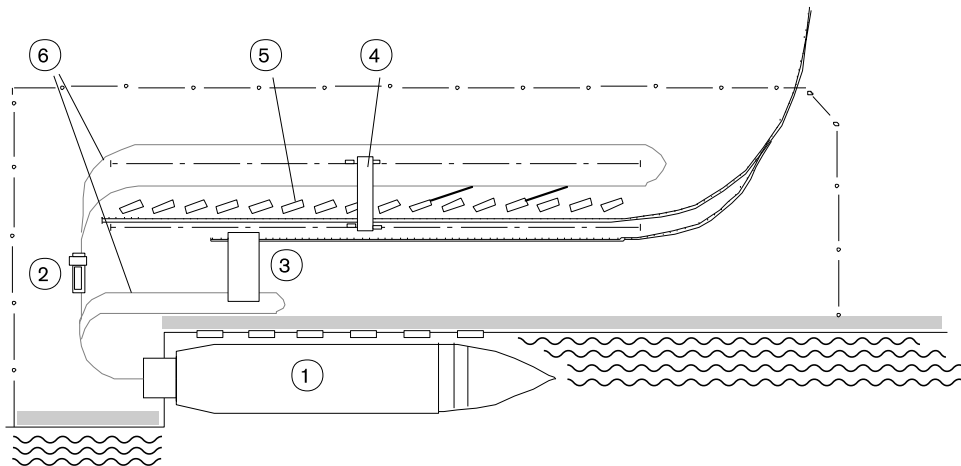
Järnvägsvagnar speciellt avsedda för detta ändamål lastas med en transportbehållare per vagn. Ett tågsätt utgörs av tio vagnar. Vagnarna anpassas så att terminalfordon och övre delen av lastbärare kan användas vid lasthantering. Vagnarna är försedda med låsbara skjuttak och med fasta fästen för upplagsplattan för transportbehållarna.

Landsvägsfordon

Landsvägstransporter utgör inget huvudalternativ, men är en möjlig lösning om transportsträckorna är korta eller om bra järnvägsförbindelser saknas. Flera typer av såväl dragfordon som trailrar finns som kan bära vikten av en transportbehållare. Fordonet med last blir mycket tungt vilket innebär att det framförs med låg hastighet. Det svenska vägnätet är generellt sett inte dimensionerat för så tunga fordon som det blir frågan om här. Tyngre laster än 60 ton kan tillåtas efter dispens. Förstärkningsarbeten kan också bli aktuella för vissa vägsträckor och broar. Detta finns beskrivet i förstudierapporterna.

Omlastningshamn

Omlastningshamnen kan utgöras av en hamn som byggs speciellt för detta ändamål eller av en speciellt avdelad terminal vid en befintlig hamn. Lyftutrustning används vid omlastning från fartyg till järnvägsvagn eller landsvägsfordon. Inhägnade uppställningsplatser för fyllda och tomma transportbehållare finns i omlastningshamnen och vid anläggningarna enligt figur 5-2.



1. Sigyn eller liknande fartyg
2. Terminalfordon med transportbehållare
3. Bentonitförråd, personalkontor
4. Bockkran för behållare
5. Uppställningsplatser för lastbärare med behållare
6. Körslingor för terminalfordon

Figur 5-2. Omlastningshamn.

5.3.3 Genomförande av transporter

Inför en transport av inkapslat bränsle utfärdar SKB ett förhandsbesked med data om transporten till alla medverkande enheter och till berörda myndigheter.

Lastning på fartyg

Vid inkapslingsanläggningen hämtas fyllda transportbehållare. Behållarna är tillslutna och kontrollerade med avseende på märkning, strålning och renhet. I huvudalternativet ligger inkapslingsanläggningen vid CLAB och terminalfordon för behållarna till Simpevarps hamn. Vid lastning på fartyget körs lasten normalt in i lastrummet över akterrampen, men den kan vid behov även lyftas ombord med kranar. Behållaren på lastbäraren surras mot lastrumsdäcket vid en av de tio positioner som finns för detta ändamål.

Sjötransport

Sjötransporterna av inkapslat bränsle skiljer sig inte principiellt från andra sjötransporter med fartyg i samma storlek. Någon närmare beskrivning av transportrutterna kan inte lämnas förrän djupförvarets lokalisering är känd. Lots ska vara ombord på fartyget när det angör hamn.

Omlastning till järnväg eller landsvägsfordon

När fartyget anländer till hamn krävs omlastning till järnväg eller landsvägsfordon om djupförvaret lokaliserats till inlandet. När fartyget har lagt till körs behållarna i land med ett terminalfordon och placeras i position invid järnvägsvagnar eller landsvägsfordon. Behållarna lossas från lastbärarna och lyfts ombord. Vagnarna stängs och låses före avgång från omlastningshamnen.

Järnvägstransport

Järnvägsvagnarna dras med elektriska eller dieseldrivna lok utan krav på speciell anpassning. Vagnarna kan transporteras i åtminstone 90–100 km/h utan restriktioner. Transporterna sker normalt utan väntetider eller stopp längs med linjen. Järnvägsnätets bärighet medför normalt inte några restriktioner vid val av rutt för transporterna. Detta undersöks emellertid närmare i samband med lokaliseringsstudierna för djupförvaret.

Mottagning vid djupförvaret

Vid djupförvaret körs inkommande tåg till en bangård på området. Vid en lossningsposition som är placerad inomhus eller under tak, finns lyftutrustning för lossning av behållarna och utrymme för temporär uppställning av dessa beroende på transportlogistiken.

Returtransport av transportbehållare

Transporter av tomma transportbehållare från djupförvaret till inkapslingsanläggningen kan planeras så att dessa förs med järnvägsvagnarna vid deras återresa till omlastningshamnen. Där kan behållarna lagras i avvaktan på att fartyget återkommer.

5.4 Alternativ och varianter

Erforderliga transportbehållare för förekommande avfallstyper måste uppfylla internationella och nationella krav på denna typ av transporter.

Utformningen av transportsystemet för transport av inkapslat bränsle och annat långlivat avfall kommer till viss del att vara beroende på lokaliseringen och förhållandena vid dessa platser. De varianter som föreligger är till exempel beroende på om transportbehållarna skall anpassas enbart för transport med terminalfordon eller en kombination av både terminalfordon och järnväg. Lokala transporter vid djupförvaret kan också medföra konstruktionsstyrande krav och förutsättningar för transportsystemet.

Översiktliga studier av transportsystemet kommer att ske inom ramen för de arbeten som kommer att genomföras i samband med platsundersökningarna vid de områden som kan vara aktuella för lokaliseringen av djupförvaret. Under denna tidsrymd kommer alternativ och varianter av transportsystemet att studeras. Ur tidssynpunkt finns ingen komponent eller utrustning som är tidsstyrande. I samband med modernisering av transportsystemet de närmaste 5–10 åren kommer framtida krav på transportsystemet att beaktas.

5.5 Säkerhet och strålskydd

5.5.1 Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter

Transportsystemets huvudsakliga uppgift är att transportera inkapslat bränsle från inkapslingsanläggningen till djupförvaret. Till detta kommer transporter av långlivat låg- och medelaktivt avfall från inkapslingsanläggningen, CLAB och Studsvik till djupförvaret. Transporterna, som enligt huvudalternativet kommer att ske med fartyg

och/eller järnväg (landsväg), görs med transportbehållare som är speciellt avsedda för ändamålet. Behållarnas funktion är att utgöra strålskärm för personal och omgivning, och att säkerställa att ingen radioaktivitet frigörs i händelse av en transportolycka. Vidare är behållaren konstruerad så att den avgivna restvärmen i bränslet leds bort, så att varken kapseln eller behållarens yta får för hög temperatur.

Transportsystemet är uppbyggt efter de erfarenheter som finns av sjötransporter med M/S Sigyn av använt kärnbränsle från kärnkraftverken till CLAB och radioaktivt driftavfall till SFR. När det gäller transporter av behållare med radioaktivt material på järnväg och landsväg finns erfarenheter från andra europeiska länder.

Strålskyddet vid transportererna är utformat så att inget moment i hanteringen ska medföra att individdoserna till personalen överstiger 5 mSv/år. I praktiken har doserna legat på väsentligt lägre nivåer.

Eftersom kapslar med bränsle och kokiller med långlivat låg- och medelaktivt avfall har kontrollerats med avseende på täthet och kontamination, finns ingen fri aktivitet i transportbehållarna och därmed sker inga utsläpp av radioaktivitet till omgivningen vid normal drift. Transportbehållarnas utsida är därmed också fria från kontamination och radioaktivt avfall uppkommer därför inte heller vid hanteringen.

Någon risk för att kriticitet ska uppstå i en kapsel under transport föreligger inte, bl a eftersom bränslet är torrt och dessutom utbränt. Vid dimensioneringen av kapseln ställs kravet att kriticitet inte ska kunna uppstå, även om kapseln vattenfylls.

Kravet på fysiskt skydd avser här åverkan på eller stöld av inkapslat bränslet under transporter.

Det system för kommunikation och övervakning som tillämpas vid dagens transporter av använt bränsle och radioaktivt avfall kan tjäna som mall för transporter av inkapslat bränsle. Det uppfyller dels kraven på fysiskt skydd, dels SKB:s och driftorganisationernas behov av kommunikation och uppföljning under pågående transporter.

Systemet består av en kombination av tekniska och administrativa åtgärder, som dels fysiskt skyddar godset, dels möjliggör snabb upptäckt och larm, om något onormalt förhållande uppstår.

En mer detaljerad redovisning av säkerhet och strålskydd vid transporter ges i /5-1/.

5.5.2 Normal drift

Strålskydd och stråldos till personal

En av transportbehållarnas funktioner är att utgöra strålskärm för personal och omgivning. Behållarna är därför dimensionerade så att den högsta dosraten på behållarens yta alltid understiger 2 mSv/h och på 2 m avstånd från ytan 0,1 mSv/h. Detta medför att arbeten kan utföras intill behållarna utan ytterligare skyddsåtgärder. De angivna gränserna överensstämmer med bestämmelserna för transport av radioaktivt material.

Hantering av transportbehållare sker i samband med lastning och lossning på fordon vid inkapslingsanläggningen, CLAB, Studsvik, djupförvaret och eventuell omlastningshamn. Arbetet med de olika hanteringsmomenten kommer inte att klassificeras som arbete där risken för doser över 5 mSv/år föreligger och ses därför inte som radiologiskt arbete. Detta innebär att samma regler gäller för personal som ombesörjer dessa transporter,

som för anställda på vanliga handelsfartyg, hamnar, etc. I enlighet med tidigare praxis kommer emellertid personalen att kontrolleras på samma sätt som personal inne i de kärntekniska anläggningarna, innebärande att SSI:s föreskrifter för personstrålskydd tillämpas.

Utsläpp från transportsystemet och omgivningspåverkan

Kapslar med använt bränsle och kokiller med långlivat låg- och medelaktivt avfall har innan de placerats i transportbehållare kontrollerats med avseende på kontamination och täthet. Någon kontamination i eller på transportbehållarna förekommer inte och därmed inte heller några utsläpp av radioaktivitet till omgivningen.

Avfallsproduktion

Eftersom ingen fri aktivitet förekommer vid hanteringen, uppkommer inte heller något radioaktivt avfall i samband med transportererna.

5.5.3 Missödesanalys

Olika typer av händelser och olyckor kan inträffa i samband med transporter till djupförvaret. Transportsystemet är uppbyggt på ett sådant sätt att sannolikheten för olyckor ska vara låg. Transportbehållaren är dessutom dimensionerad för att klara av påkänningar i samband med olyckor vid transport. Ett antal händelser har analyserats för såväl sjötransporter som landtransporter.

Sjötransporter

Händelser under en sjötransport som skulle kunna påverka transportbehållarna innefattar:

- Olyckor i samband med lastning och lossning (fordon och/eller behållare överbord).
- Grundstötning av fartyg.
- Fartygskollision.

Grundstötningar är relativt vanliga, men kan inte ge upphov till sådana krafter att behållarna i lastrummet påverkas. En grundstötning ger således inga skador på lasten.

Fartygskollisioner är inte heller helt ovanliga. Sådana ger skador på fartyget, men sannolikheten för att den dubbla bordläggningen ska penetreras är låg. Ett antal händelseförlopp med allvarliga fartygsolyckor har dock analyserats enligt följande:

- kraftig fartygskollision som leder till mekanisk påverkan på last i lastrummet,
- fartygsolycka som leder till att fartyget sjunker,
- fartygsolycka som leder till att behållare faller överbord och sjunker,
- långvarig och omfattande brand på fartyget.

Mekanisk påverkan på behållare i lastrummet

En allvarlig kollision, som medför att ett annat fartyg tränger in i lastrummet, innebär att transportbehållaren kan skadas. Den täta kapseln ska dock säkerställa att bränsle-

elementen inte kommer i kontakt med omgivningen. Skulle påverkan vara av en sådan omfattning att både behållare och kapsel skadas allvarligt kan emellertid även bränsleelementen inuti kapseln bli skadade. Detta leder i sin tur till en frigörelse av gasformigt ^{85}Kr , vilket vid ogynnsamma väderleksförhållanden kan leda till att en person på 5 km avstånd under hela olycksförloppet utsätts för en stråldos på 5×10^{-6} mSv vilket är mindre än en tiotusendel av årsdosen från den naturliga bakgrundsstrålningen /5-1/.

Behållare faller överbord och sjunker, eller fartyg med behållare sjunker

En transportbehållare som faller till havets botten kan skadas vid slaget mot botten, så att vatten tränger in. Kapseln inuti behållaren förväntas vara tät och förbli så tills en bärgning kan företas. Om kapseln och bränslet skadas påbörjas en långsam utlakning av bränslematerial som fortgår tills bärgning sker. Utlakningen innebär att gasformig ^{85}Kr avgår till vattnet efter tryckutjämning och därifrån vidare till luften. Dessutom kan en långsam utlakning av cesium äga rum. Utspädningen i havsvattnet leder till att koncentrationerna av dessa ämnen blir mycket låga.

Om fartyg med behållare sjunker blir skadorna på behållarna inte värre än i det ovan beskrivna fallet.

Långvarig och omfattande brand på fartyget

En kollision med ett fartyg lastat med brandfarligt material, t ex ett tankfartyg, kan leda till en långvarig och häftig brand ombord på båda fartygen om de inte kan separeras efter kollisionen.

En brand ger i sig inte upphov till utsläpp av radioaktivitet, eftersom kapseln tål upphettning. Dessutom stiger temperaturen inuti transportbehållaren långsamt, på grund av dess stora massa som gör att det tar lång tid att värma upp materialet.

Händelsen får en radiologisk konsekvens endast om en behållare blivit skadad till följd av kollisionen och att den därefter utsätts för en långvarig brand.

Konsekvenserna, utöver de som beskrivits ovan för mekaniskt skadad behållare, är att cesium kan frigöras vid temperaturer upp mot $600\text{ }^\circ\text{C}$. Detta kan i så fall leda till att individdosen på 5 km avstånd och vid ogynnsamma väderleksförhållanden uppgår till 3×10^{-4} mSv vilket är mindre än en tusendel av årsdosen från den naturliga bakgrundsstrålningen.

Landtransporter

Landtransporter förekommer dels vid hantering med terminalfordon, dels vid transporter med järnväg (eller på landsväg). Följande olyckor har analyserats:

- fall av behållare under pågående lyftoperation,
- fall av behållare från fordon eller järnvägsvagn,
- kollision med vägfordon,
- kollision med tåg,
- urspårning av tåg,
- fall av föremål ovanpå behållare.

Ingen av dessa olyckor leder till några radioaktiva utsläpp.

Händelser som kan leda till konsekvenser i form av frigörelse av radioaktivitet utgör:

- Extrema olyckor som ger mycket höga mekaniska påkänningar på behållaren.
- Extrema olyckor som ger upphov till brand som påverkar behållaren under lång tid.

Beroende på förloppet av och omständigheterna kring dessa extrema olyckor blir förutsättningarna för att dessa ska leda till frigörelse av radioaktivitet olika.

Mekanisk påverkan på transportbehållare och kapsel

De flesta typer av olyckor med mekanisk påverkan på transportbehållare medför inte att dess täthet påverkas. Detta är till exempel fallet vid urspårning, kollision med stillastående föremål eller om ekipaget kör i diket eller välter. Inte heller om ekipaget kolliderar med mötande eller korsande trafik och behållaren lossnar på grund av belastningen, blir påverkan sådan att dess täthet påverkas. Behållaren tål kollision med största tänkbara fordon utan att bli otät. Som ett ytterligare skydd finns dessutom kapselns täthet som säkerställer att bränslet inte avger några radioaktiva ämnen vid sådana händelser.

Ett hypotetiskt fall då både behållare och kapsel krossas har studerats, även om någon sådan händelse inte har identifierats. Ett sådant förlopp, skulle för en person på 1 km avstånd och vid ogynnsamma väderleksförhållanden ge en individdos på ca 5×10^{-5} mSv.

Långvarig brand

En brand ger, liksom i fallet med sjötransporter, i sig inte upphov till utsläpp av radioaktivitet, utan måste kombineras med mekaniska skador på behållare och kapsel. Med samma antaganden som i det hypotetiska händelsen ovan skulle beräkningsmässigt en frigörelse av ^{85}Kr och ^{137}Cs till omgivningen kunna leda till en individdos på maximalt 2×10^{-4} mSv.

Sammanfattning

Sammanfattningsvis kan man konstatera att det krävs extrema olyckor vid såväl sjö- som landtransporter för att transportbehållare och kapsel ska skadas på ett sådant sätt att aktivitet kan frigöras. Sannolikheten för sådana typer av olyckor bedöms som mycket låg. En sådan frigörelse av radioaktivitet leder dessutom till mycket begränsad påverkan på personer i omgivningen. Individdoserna vid sådana olyckor uppgår maximalt till samma nivåer som erhålls under någon eller några timmar från normal bakgrundsstrålning. Erfarenheter från 15 års transporter visar att inga utsläpp på grund av olyckor har skett.

5.6 Safeguards

I transportsystemet utgör kapseln en redovisningsenhet. Varje kapsel har en unik beteckning som noteras och dess innehåll dokumenteras i inkapslingsanläggningen.

Det är möjligt att strålningen från det inkapslade bränslet vid behov skulle kunna användas som ett komplement för identifiering av en kapsel. Även möjligheten att använda locksvetsen i kapseln som "fingeravtryck" har diskuterats.

Övervakning

När kapseln placeras i en transportbehållare kan ett sigill sättas på behållaren. Detta öppnas först när kapseln lastas ur i djupförvaret innan den förs över till deponeringsmaskinen.

Dokumentation

Förflyttningen av kapslar dokumenteras noggrant i safeguardsredovisningen. Uppgifter om innehållet av klyvbart material baseras på uppgifter från inkapslingsanläggningen. I dokumentationen ingår innehållet av bränsleelement i varje kapsel.

I samband med transporten redovisas bränslet som en inventarieminskning i inkapslingsanläggningen och vid ankomsten till djupförvaret redovisas motsvarande inventarieökning. Varje förändring identifieras med ett transaktionsnummer som upptar kapselns beteckning och transportens identitet.

Märkning

Kapseln har en unik beteckning redan från tillverkningen. Beteckningen är avläsbar från kapselns översida. Beteckning kontrolleras när kapseln lyfts upp ur transportbehållaren i djupförvaret.

Om man på något sätt tappar kontinuiteten i kunskapen om hur kapslarna har hanterats, till exempel om ett sigill har brutits, måste det finnas möjlighet att återställa den. För detta används den unika märkningen på kapslarna, möjligen kompletterat av ett "fingeravtryck", som nämnts ovan.

5.7 Miljöpåverkan

5.7.1 Markanvändning och landskapsbild

Uppförande och drift av djupförvaret och inkapslingsanläggningen kan beroende på anläggningarnas lokalisering medföra behov av nyanlagda vägar och/eller järnvägar där nya markområden tas i anspråk.

5.7.2 Luft och vatten

Inom systemet sker ett antal transporter, dels av använt kärnbränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall i transportbehållare, dels av större kvantiteter bentonit, eventuell bergmassor till och från djupförvaret. Till detta kommer transporter av personal som arbetar vid anläggningarna och gods i mindre volymer. Enligt huvudalternativet ska transporter av inkapslat bränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall ske per båt och/eller järnväg (landsväg) till djupförvaret. Ca 200 transportbehållare med bränsle förs till djupförvaret per år när detta är i reguljär drift. När anläggningarnas lokalisering bestämts kan utsläpp från trafik i form av kväveoxider, svavelföreningar, partiklar och kolväten bedömas.

5.7.3 Annan miljöpåverkan

Trafiken och speciellt de tunga transporterna ger upphov till buller i omgivningen. Påverkan på omgivningen beror på vilka transportmedel som används och om transporterna går genom störningskänsliga områden.

5.8 Sammanfattning och utvärdering

Den slutliga utformning av transportsystemet för framtida transportbehov av inkapslat bränsle och andra avfallskategorier kan ske först när lokaliseringen av inkapslingsanläggningen, djupförvaret för använt kärnbränsle samt förvaret för låg- och medelaktivt långlivat avfall är bestämd.

Det framtida transportsystemet kommer att baseras på de goda erfarenheter som redan finns med dagens transportsystem som varit i drift i över 15 år.

Systemet kommer att behöva kompletteras med transportbehållare för kapslar och för avfallsbehållare för övriga framtida avfallstyper. I den händelse att inkapslingsstationen inte kommer att lokaliseras vid CLAB kommer troligen dagens transportbehållare för bränsle att bytas ut till en ny typ med större lastkapacitet.

Transportsystemet kommer också att genom åren moderniseras och vitala delar kan komma att bytas ut och då avses i första hand M/S Sigyn och dagens terminalfordon. För närvarande pågår för övrigt en modernisering av terminalfordonen med bland annat utbyte av de luftkylda dieselmotorerna till nya vattenkylda dieselmotorer. Även fartyget, M/S Sigyn, underhålls och moderniseras kontinuerligt genom utbyte av system och utrustningar.

5.9 Referenser

- 5-1 Ekendahl A-M, Pettersson S. Säkerhet vid transport av inkapslat bränsle. SKB rapport R-98-14, Stockholm, september 1998

6 Djupförvar

6.1 Djupförvarets uppgift

Djupförvarets uppgift är att isolera kapslarna med det använda kärnbränslet från biosfären samt, om isoleringen skulle brytas, fördröja transporten av radionuklider från bränslet till biosfären.

Förvaret ska utformas så att det medger hantering och inplacering av kapslarna på avsedd plats med beaktande av strålskyddssäkerheten för personal och omgivning och skydd mot hanteringsolyckor m m.

Förvaret ska konstrueras med hänsyn till pågående landhöjning, framtida klimatscenarier inklusive framtida istider, jordbävningar, mänskligt intrång och förekomsten av enstaka initialt defekta kapslar.

I planeringen av djupförvarets utformning och lokalisering ingår även att i framtiden kunna uppföra ett slutförvar för låg- och medelaktivt långlivat avfall, så kallat annat avfall, i anslutning till djupförvaret. Detta förutsätter att kraven på långsiktig säkerhet och övriga förutsättningar för lokaliseringen uppfylls för både använt kärnbränsle och för annat långlivat avfall.

6.2 Krav och värderingsgrunder

Djupförvaret ska uppfylla de krav som ställts i ett stort antal dokument, sammanställda i bland annat SKB:s FUD-program och SR 97.

Förvarets primära funktion – isolering

I första hand är djupförvarets funktion att isolera avfallet från människa och miljö. Detta åstadkoms direkt av kopparkapseln. Bufferten bidrar indirekt till isoleringsfunktionen genom att den håller kapseln på plats och hindrar korroderande ämnen att nå fram till kapseln, se figur 6-9.

Även berget bidrar till isoleringen genom att det erbjuder en stabil kemisk och mekanisk miljö för kapslarna och bufferten. Den kemiska miljön bestäms framför allt av grundvattnets sammansättning. Det är också viktigt att grundvattenflödet kring förvaret är lågt. Mekaniskt erbjuder det svenska urberget en långsiktigt stabil miljö för ett djupförvar.

Förvaret är konstruerat så att kapseln ska kunna behålla sin isolerande förmåga under mycket lång tid. Målet är att isoleringen ska kunna motstå den påverkan som erhålls från korrosion, buffertsvällning och hydrostatiskt tryck under de ca 100 000 år som erfordras tills det använda bränslets farlighet kommit i nivå med den hos naturligt uran.

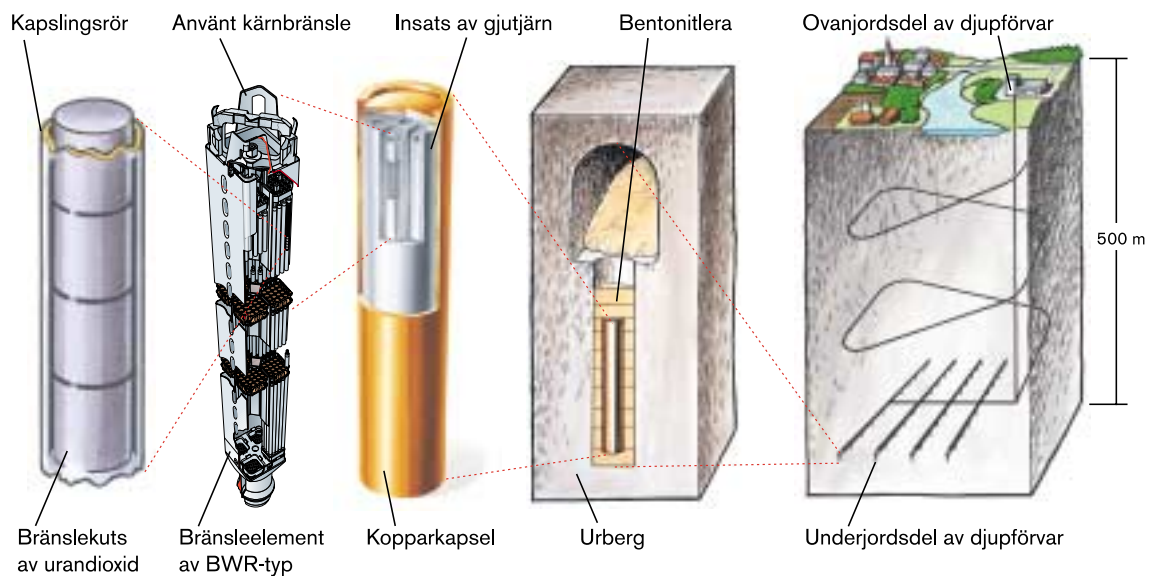
Även om kopparkapseln svarar för den direkta isoleringen är de övriga delarna av förvaret erforderliga för att isoleringen ska upprätthållas om skador på kapseln skulle uppstå. Isoleringsfunktionen är därmed ett resultat av en samverkan mellan dessa olika delar.

Förvarets sekundära funktion – fördröjning

Om isoleringen av någon anledning skulle brytas, eller om någon kapsel skulle ha en initial defekt vid deponering har förvaret i andra hand en fördröjande funktion. Detta innebär att transporttiden för radionuklider från förvaret till biosfären görs så lång att radioaktiviteten och därmed farligheten hinner avta väsentligt innan nukliderna når människa och hennes miljö.

Samtliga barriärer medverkar till förvarets fördröjande funktion. Även en delvis skadad kopparkapsel kan effektivt bidra till fördröjningen genom att vattenflödet genom skadan blir litet. Därigenom försvåras inflödet av vatten till kapselns inre och uttransporten av eventuellt frigjorda radionuklider blir begränsat. Bränslet har i sig en fördröjande funktion genom att det består av ett beständigt material som försvårar frigörelsen av radionuklider. Om radionuklider ändå frigörs på grund av att bränslet vittrar sönder begränsas transporten av de långlivade aktiniderna av deras låga löslighet i vatten. Bentonitbufferten bidrar till fördröjningen genom sorption av radionuklider på lerpartiklarna. Andra faktorer som är viktiga för fördröjningen är långa transporttider för grundvattnet från förvaret till markytan, samt att radionuklider i stor utsträckning fastnar på bergets sprickytor och därmed får en avsevärt längre transporttid än grundvattnet.

Djupförvaret ska dimensioneras för deponering av cirka 4 500 kapslar med en deponeringskapacitet på 200 kapslar per år. Totala antalet kapslar kommer att bestämmas av den slutliga mängden använt kärnbränsle och den årliga deponeringstakten kommer att basera sig på optimeringsstudier för hela systemet när förutsättningar för detta föreligger.



Figur 6-1. KBS-3-systemets barriärer.

6.3 Anläggnings- och processbeskrivning

6.3.1 Övergripande beskrivning av djupförvarsanläggningen

6.3.1.1 Allmänt

Djupförvaret är ännu inte lokaliserat till någon bestämd plats. Dess slutliga utformning kommer att anpassas till lokala förhållanden och kan därför inte förutsägas i denna rapport. Därför ges endast en generell beskrivning av huvudalternativet för utformning av djupförvaret och hanteringsgången vid deponering.

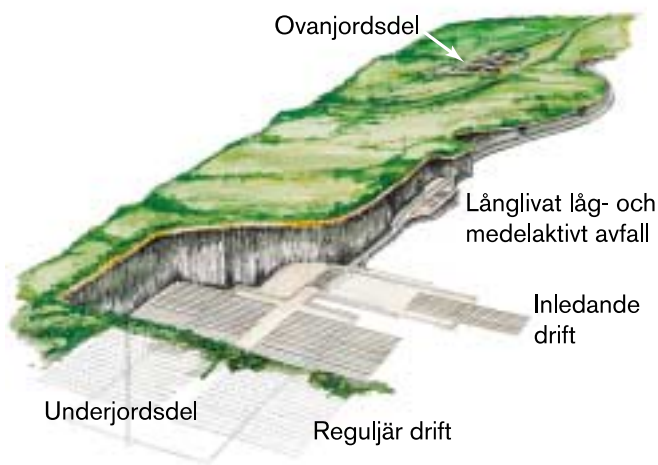
Anläggningen för djupförvaring av använt bränsle består av en ovanjordsdel och en underjordsdel som är förbundna med varandra med ramp och schakt, se figur 6-2. Under jord finns ett centralområde, ett område för deponering av bränsle för inledande drift och ett deponeringsområde för reguljär drift.

Djupförvaret kan beskrivas som en större berganläggning, sammansatt av ett stort antal tunnlar samt ett mindre antal schakt och andra bergutrymmen. Huvuddelen av tunnlar är deponeringstunnlar, fördelade på ett mindre deponeringsområde för en inledande driftfas och ett antal större områden för den reguljära driften. Personalbehovet för den inledande driften har bedömts till ca 150 personer och för den reguljära driften ca 220 personer.

Ovanjordsanläggningen omfattar en area på 0,1–0,3 km². Till detta kommer eventuellt deponeringsområde (ett eller flera) för bergmassor på ca 300 m x 400 m.

Lokaliseringen av ovanjordsanläggningen kommer att väljas med hänsynstagande till tekniska krav på markförhållanden, konkurrerande markanvändning, befintlig infrastruktur, miljöpåverkan etc samtidigt som underjordsdelens förläggning bestäms ur säkerhetssynpunkt.

Med hänsyn till lokala förhållanden kan ovanjordsanläggningen vara separerad i sidled från underjordsanläggningen inom ett avstånd på flera kilometer genom att nerfarten utformas som en "rak" ramp. Om rampen utformas som en spiral kan ovanjordsanläggningen ligga över djupförvarets deponeringsområden. Dessa variationsmöjligheter innebär att stor hänsyn kan tas till lokala förhållanden och intressen vid lokaliseringen.



Figur 6-2. Illustration av djupförvaret med rak ramp.

Om ovan- och underjordsanläggningen placeras frångående kommer det att erfordras ytterligare ett driftsområde ovan jord för anläggande av schakt ner till underjordsanläggningen för försörjning och personaltransporter.

Nerfarten till deponeringsområdet sker i huvudalternativet via en ramp från markytan. Det finns även flera schakt för försörjningssystem och personaltransport. Urlastning av transportbehållare med kapslar sker i djupförvarets centralområde. I centralområdet finns även serviceutrymmen och utrymmen för tekniska installationer. Kapslarna sätts ned i deponeringshålen i deponeringstunnlarna som därefter återfylls med en blandning av bergkross och bentonit. När samtliga kapslar med använt kärnbränsle är deponerade återfylls även transporttunnlar, stamtunnlar, bergrum, schakt och ramp med en liknande blandning och anläggningen försluts.

Djupförvarsprojektet kommer att genomföras i flera steg:

1. Platsundersökning.
2. Detaljundersökning och utbyggnad för inledande drift.
3. Inledande drift.
4. Kompletterande utbyggnad till reguljär drift.
5. Reguljär drift.
6. Avveckling.
7. Eventuell fortsatt verksamhet av annat slag på platsen.

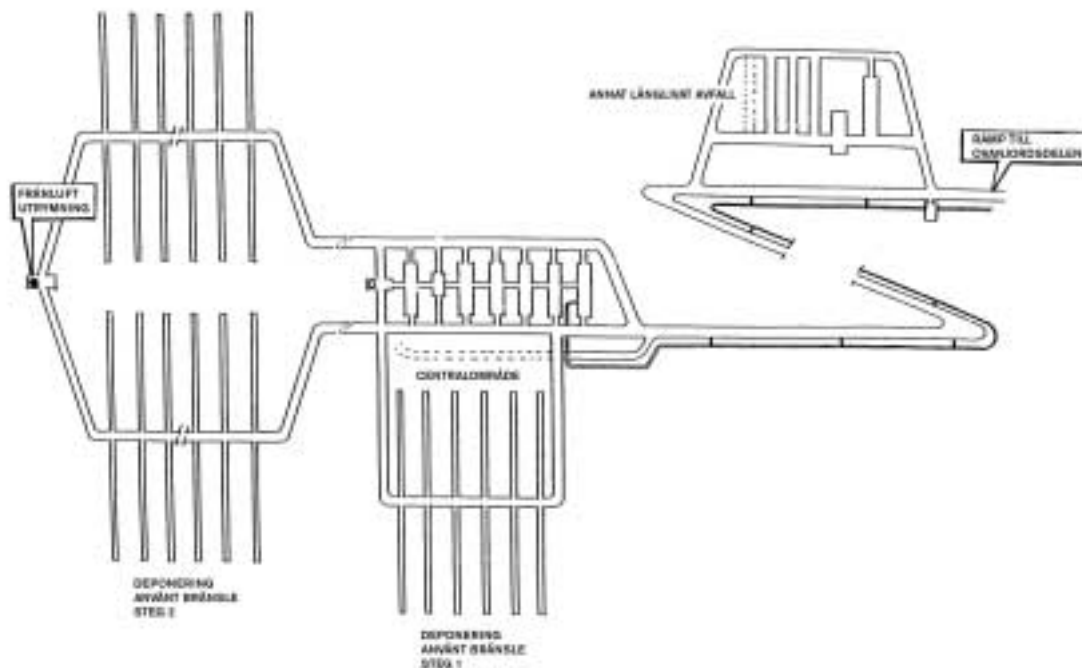
Följande beskrivning avser djupförvarets utformning under den reguljära driften och anger också med alternativa utformningar av i huvudsak industriområdet ovan mark och nerfarten till deponeringsområdet på ca 500 m djup.

6.3.1.2 Utformning av anläggningsdelar under mark

Som framgår av figur 6-2 består djupförvarsanläggningen av ovanjordsdel och en underjordsdel och nedan beskrivs funktioner och utformning av underjordsdelen.

Figur 6-3 och 6-4 visar schematiskt djupförvarets olika bergförlagda anläggningsdelar. De utgörs av:

- nerfarter och schakt,
- ett centralområde med omlastningshall för transportbehållare, verkstäder, personalutrymmen m m,
- förbindelsetunnlar för transporter och annan kommunikation,
- deponeringsområden för kapslar med använt kärnbränsle,
- plats reserveras preliminärt för ett särskilt, mindre område för deponering av annat långlivat avfall.



Figur 6-3. Djupförvarets berganläggning.

I centralområdet finns ett antal konventionellt utformade bergtrum av varierande storlek. Deponeringsområdena för inkapslat bränsle består av horisontella tunnelgallerier med parallella tunnlar. Det särskilda området för annat avfall består av större förvaringsrum. Totalt upptar deponeringsområdena en uppskattad yta på 1–2 kvadratkilometer. Deponeringsområdenas och tunnarnas inbördes lägen väljs utifrån platsens specifika förutsättningar.

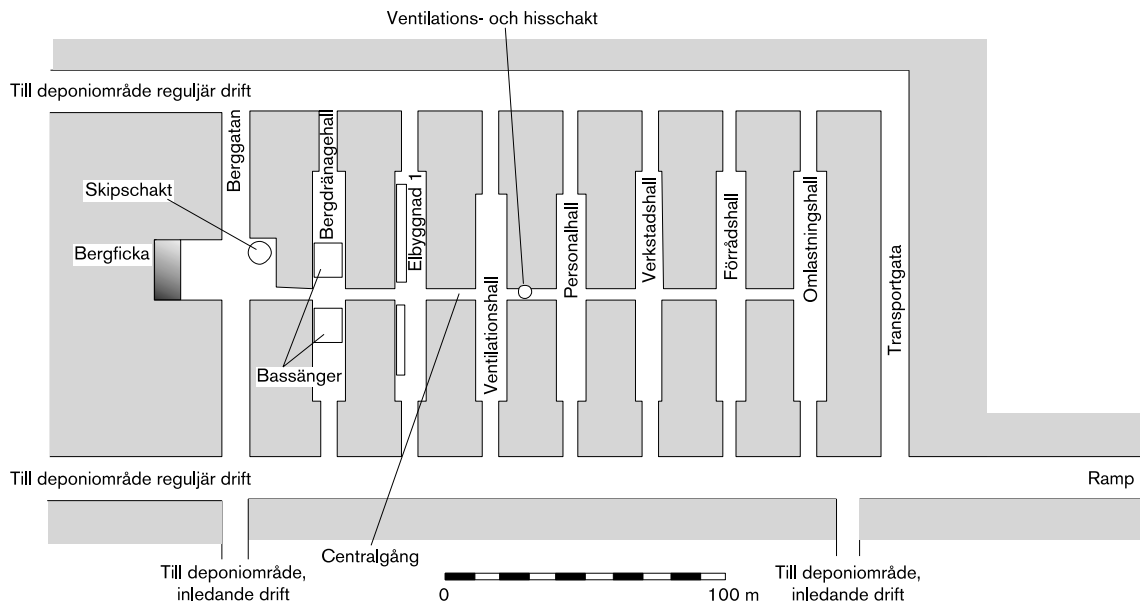
Bergtrumsanläggningen är uppdelad i ett antal delområden enligt nedanstående. Lokala förhållanden kan medföra ytterligare uppdelning beroende på storlek på bergblocken för respektive delområde.

Centralområde

Centralområdet innehåller bergtrum för uppsamling och utpumpning av inläckande vatten, eldistribution, ventilation, verkstad, personal och förråd. Där finns också en omlastningshall där kapslarna lastas över från transportbehållare till en strålskärmsstub anpassad för en deponeringsmaskin, samt en plats för tippning och mellanlagring av bergmassor före transport till markytan. Centralområdets principiella disponering framgår av figur 6-4.

Deponeringsområden

Deponeringsområdena för använt bränsle står i förbindelse med centralområdet via stamtunnlar och transporttunnlar. Områdena utgörs av ca 120 deponeringstunnlar med en längd på ca 250 m och en höjd och bredd på ca 5 m. I botten på var och en av dessa tunnlar borrar ca 35–40 deponeringshål. En kapsel med använt bränsle placeras vertikalt i varje deponeringshål, där den omges av en buffert av kompakterad bentonit.



Figur 6-4. Principiell disposition av djupförvarets centralområde.

Ramp

Transportrampen mellan ovanjordsdelen och underjordsdelen utgörs av en ca 5 km lång rak eller spiralformad tunnel med höjd och bredd på ca 7 m. Rampens lutning är ca 1:10. En rampruck används för transporter av behållare med inkapslat bränsle i rampen. I rampen fraktas också bentonitblock till deponeringshålen.

6.3.1.3 Utformning av anläggningar ovan mark

Anläggningarna ovan mark kan vad gäller storlek och utformning liknas vid en medelstor industri av konventionellt slag och illustreras av figur 6-5. Utrymmesbehovet är 15–20 hektar. Goda möjligheter finns att anpassa utformningen till lokala förutsättningar.

Det övergripande planeringsarbetet för djupförvaret har lett fram till behov av ett antal funktioner som fördelats på ett antal byggnader, inbördes grupperade med hänsyn till eftersträvd samfunktion.

Följande byggnader och gårdssytor erfordras:

- kontor,
- personallokaler/matsal,
- informationslokaler,
- verkstäder/förråd/garage,
- terminalbyggnad,
- ventilationsbyggnad,
- produktionsbyggnad/lager – buffert- och återfyllnadsmaterial,
- bergkrossanläggning/lager,
- spohall,

- bergdeponi,
- uppställningsytor,
- körvägar,
- parkeringsplatser,
- bangård (om järnvägsanslutning byggs till platsen).

Det finns en rad tekniska och administrativa motiv för att dela upp verksamheten på ett flertal byggnader. De viktigaste är följande:

- respektive byggnad kan renodlas för sin funktion,
- enklare tekniska lösningar,
- större flexibilitet för om- och utbyggnad,
- större frihet att välja en god lösning för respektive funktion,
- enklare upphandling,
- minskat behov av detaljsamordning,
- vissa investeringar kan läggas sent i projektet,
- projektets styrbarhet ökar,
- möjligheter till alternativ användning av allmängiltigt utformade byggnader.

Byggnaderna kan i betydande utsträckning anpassas till lokal topografi, landskapstyp och bebyggelse, under förutsättning att erforderliga funktionella samband bibehålles. Det är samtidigt möjligt att undvika stora byggnader som lätt kan upplevas som störande, framför allt i kustläge och flackt landskap.

Funktionen hos några av de viktigare byggnaderna är beskriven nedan.



Figur 6-5. Illustration av djupförvarets anläggningar på markytan.

Terminalbyggnad

Terminalbyggnaden utgör förbindelse mellan järnväg och nerfartsramp. I byggnaden finns ett järnvägsspår med lastplats, ett buffertförråd för transportbehållare och en lastposition för ramptrucken. En travers ombesörjer transporten av behållare i byggnaden.

Storleken på buffertförrådet kommer att anpassas till transportlogistiken när lokaliseringen av djupförvaret och inkapslingsanläggningen är bestämd. Preliminärt planeras för möjlighet till uppställning av ca 10 transportbehållare för inkapslat bränsle. Om slutförvaret för annat långlivat avfall också placeras i anslutning till djupförvaret ska buffertförrådet kunna byggas ut för uppställning av dessa typer av transportbehållare.

Produktionsbyggnaden

Produktionsbyggnaden placeras intill terminalbyggnaden och infarten från bergkrossen. Byggnaden består av två delar, en för produktion och förråd av bentonitblock och en för blandning av lös bentonit och bergkross. Bentoniten kommer på järnväg eller landsväg och lossas till en silo, placerad intill byggnaden. Därifrån matas den till produktionsdelen och blandningsdelen. Produktionsdelen innehåller en press för blocktillverkningen och maskiner för bearbetning av blocken. Förrådet har utrymme för färdiga block och för lastning av blocken på truckvagn för nertransport till deponeringsområdet.

Blandningsdelen har doseringstank för bentonit, ett doseringskärl för bergkross och två blandare. Bentonittanken fylls på från silon. Bredvid byggnaden står en silo för krossat berg. Den matas med transportband från bergkrossen, som är placerad i anslutning till deponeringsområdet för utsprängda bergmassor.

Ventilation

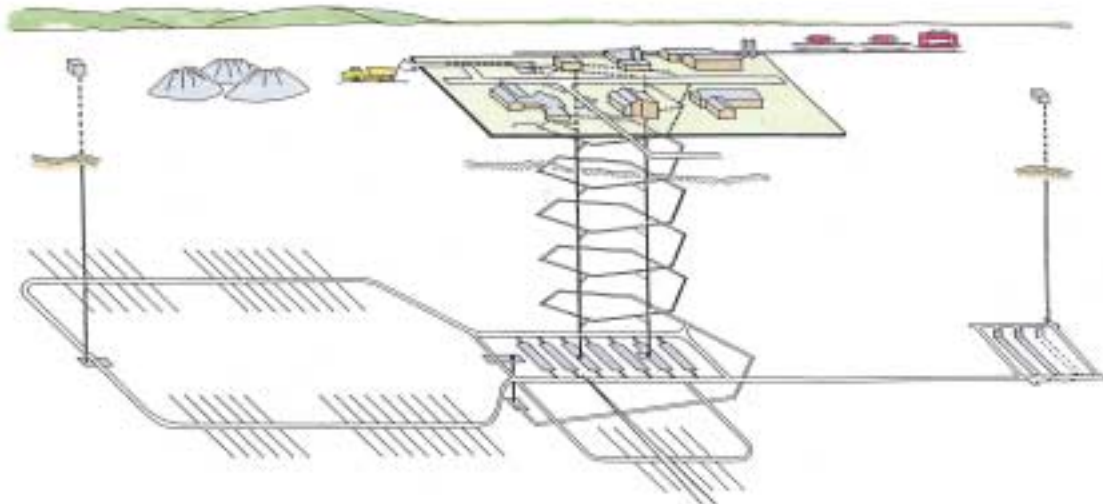
Ventilationen av rampen ombesörjs av utrustning i en ventilationsbyggnad. Separata frånluftsschakt kommer också att behövas i rampen och från förvaringsnivån.

Spolhall

Av övriga byggnader kan nämnas en spolhall där järnvägsvagnar och avfallsbehållare kan spolas rena och där även is och snö kan avlägsnas innan behållarna körs in i terminalbyggnaden.

6.3.1.4 Uppdelning av funktioner och byggnader ovan mark beroende på typ av nerfart till deponeringsområdet

Var djupförvarets berganläggningar förläggs och hur de utformas bestäms till stor del av bergförhållanden. Anläggningarna på ytan kan däremot placeras och utformas med utgångspunkt från faktorer som marktillgång, bebyggelse, naturskyddsintressen, topografi, befintlig industri- och infrastruktur m m. Det finns goda möjligheter att anpassa anläggningarna så att såväl kravet på lämplig berggrund som andra önskemål kan tillgodoses. Figurenerna 6-6, 6-7 och 6-8 illustrerar olika möjligheter att anpassa utformningen i stort.



Figur 6-6. Utformning där driftområdet förläggs ovanför förvarets centraldel. Kommunikation via spiralramp och schakt.

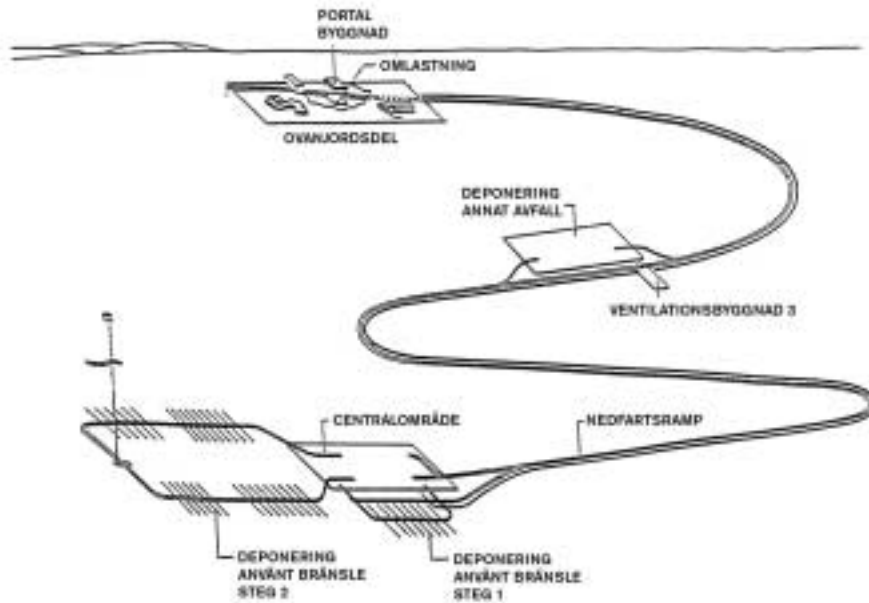
Driftområdet ovanför förvarets centralområde

Figur 6-6 visar en utformning där alla anläggningar på mark samlas inom ett driftområde, beläget rakt ovanför förvarets centraldel. En ramp används för alla tunga transporter (behållare, bergmassor, buffert- och återfyllnadsmaterial) mellan driftområdet och förvarsnivån. Rampens dimensioner och lutning måste anpassas till transportbehoven. Vid ett djup på 500 meter till förvarsnivån innebär det att rampen måste göras ca 5 kilometer lång. Någon form av spiralformad sträckning är därför lämplig.

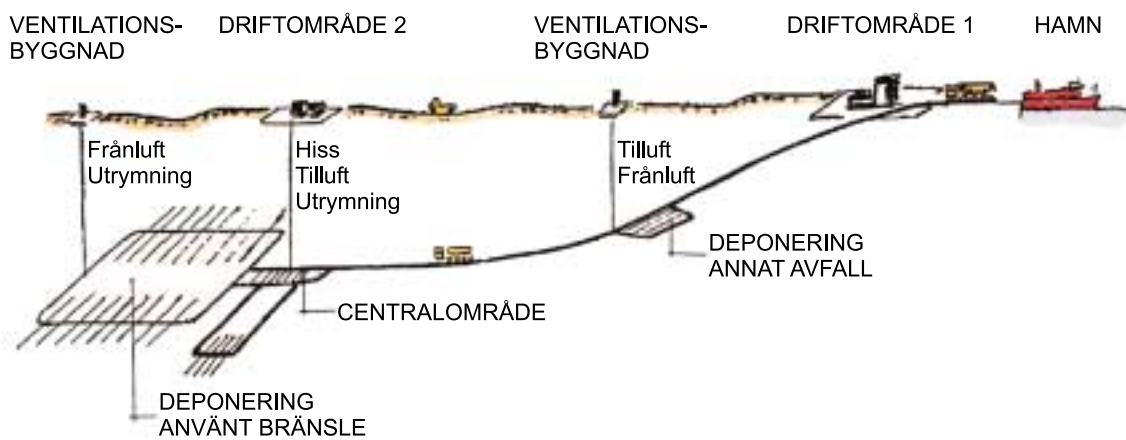
Ett hissförsett schakt nyttjas för snabba persontransporter mellan driftområdet och förvaret, samt för serviceändamål. Andra schakt används för att försörja anläggningarna med ventilationsluft etc.

Driftområdet sidoförskjutet i förhållande till förvaret

Figurerna 6-7 och 6-8 visar schematiskt utformningar där driftområdet placeras mer eller mindre sidoförskjutet relativt förvaret. I det alternativ som visas i figur 6-7 sker alla transporter och all teknisk försörjning via en ramp. Schakt används endast för ventilation (frånluft från förvarsområdet) och som extra utrymningsväg. Här finns inga styrande samband mellan driftområdet ovan jord och förvarsområdet, och sidoförskjutningen kan uppgå till flera kilometer och rampen kan göras mer eller mindre rak.



Figur 6-7. Utformning med sidoförskjutning mellan driftområde och förvar. Kommunikation via ramp. Schakt används för ventilation och utrymning.



Figur 6-8. Utformning med två driftområden. Det ena ligger sidoförskjutet, det andra ovanför förvarets centralområde. Kommunikation via ramp och schakt.

6.3.1.5 Markdisponering och situationsplaner vid två driftområden

Två driftområden

Det finns fördelar med att dela upp verksamheten ovan jord på två driftområden på det sätt som visas i figur 6-8. Rampen kan då ansluta till det ena driftområdet som förläggs till en plats som passar för den industribetonade delen av verksamheten med godsmottagning, tillverkning av buffertmaterial, bergupplag m m. Det andra driftområdet placeras rakt ovanför förvaret för att möjliggöra kommunikation via schakt, och innefattar kontor, besöksmottagning, restaurang m m.

Driftområde 1

Figur 6-9 visar en principiell markdisponering av driftområdet. Funktionerna grupperas i tre parallella stråk i form av en transportzon, en produktionszon och en servicezon. De färgade pilarna i figur visar flödesvägar för avfall, bentonit, bergmassor och personal/besökare. Flödesvägarna ger en uppfattning om samspelet mellan funktioner och zoner.

Utformningen av driftområdet styrs till stor del av att bangården, i fallet med järnvägs-transport, måste vara rak, plan och horisontell. Bangårdens längd dimensioneras av ett tågsätt men lok och tio vagnar som motsvarar en båtlast med transportbehållare. Produktionszonens form och läge styrs av schakten till underjordsanläggningens centralområde.

Figur 6-10 visar ett allmängiltigt förslag till situationsplan för driftområde 1. Anpassningar till terrängen och lokala förutsättningar i övrigt kan göras först då en specifik plats valts. Byggnaderna utformas för de olika funktionerna som driften kräver. Form och storlek på byggnaderna har valts utifrån dagens kunskap och planeringsläge. Mark har reserverats för anpassning till eventuella förändrade förutsättningar.

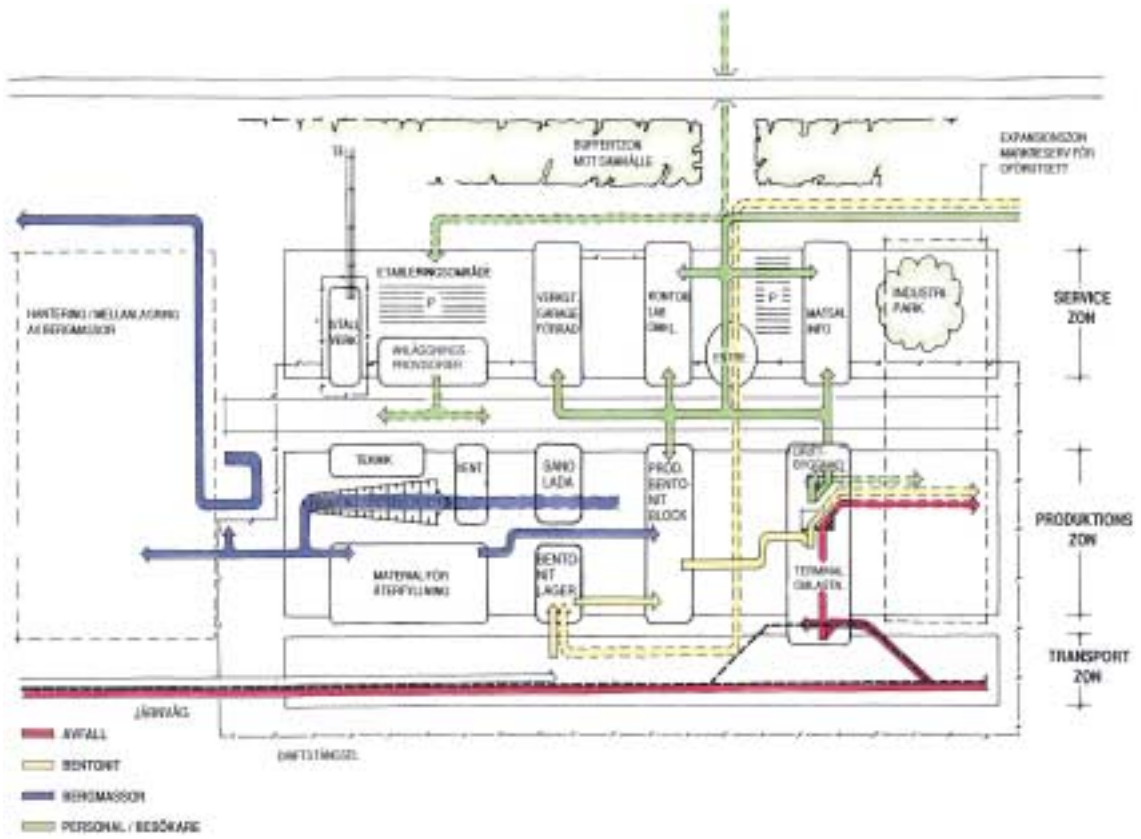
Driftområde 2

Ett förslag till utformning av driftområde 2 framgår av figur 6-11. Arealbehovet är i storleksordningen 2–3 hektar. Utformningen är generell, eftersom läget inte kan preciseras i detta skede. Även denna anläggning anpassas till det aktuella markområdets speciella förutsättningar och eventuell närliggande bebyggelse. Även om läget i stort styrs av bergförhållanden bör det vara möjligt att genom mindre lägesjusteringar och anpassning av anläggningen åstadkomma en varsam inordning i den omgivande miljön. Trafiken till driftområde 2 begränsas väsentligen till bussar och personbilar. Övriga transporter, inklusive avfall och återfyllnadsmaterial, sker via driftområde 1.

Till driftområde 2 förläggs dels en personalbyggnad med kontor, dels en byggnad ovanför schaktet med hissmaskineri och ventilationsutrustning. Området blir den naturliga samlingspunkten för personal som har sina arbetsplatser på olika håll i anläggningen under jord och som även har behov av att även snabbt kunna komma till personal och kontoret på markplanet.

Det kan också vara praktiskt och ekonomiskt fördelaktigt att ordna huvuddelen av kraftmatningen till underjordsdelarna via driftområde 2 och schaktet. Detsamma gäller uppfordring och vidare hantering av dränagevatten från tunnelsystemen. Vidare kan det vara lämpligt lägga lokaler för information till allmänheten vid driftområde 2. Då kan även besökare använda hissen ner till berganläggningen.

Beroende på lokala förhållanden kan funktioner och byggnader omfördelas mellan driftområde 1 och 2 under arbetet med platsanpassning av djupförvaret.



Figur 6-9. Markdisponering och transportflöden.



Figur 6-10. Situationsplan för driftområde 1.



Figur 6-11. Situationsplan för driftområde 2.

6.3.1.6 Verksamheten vid drift

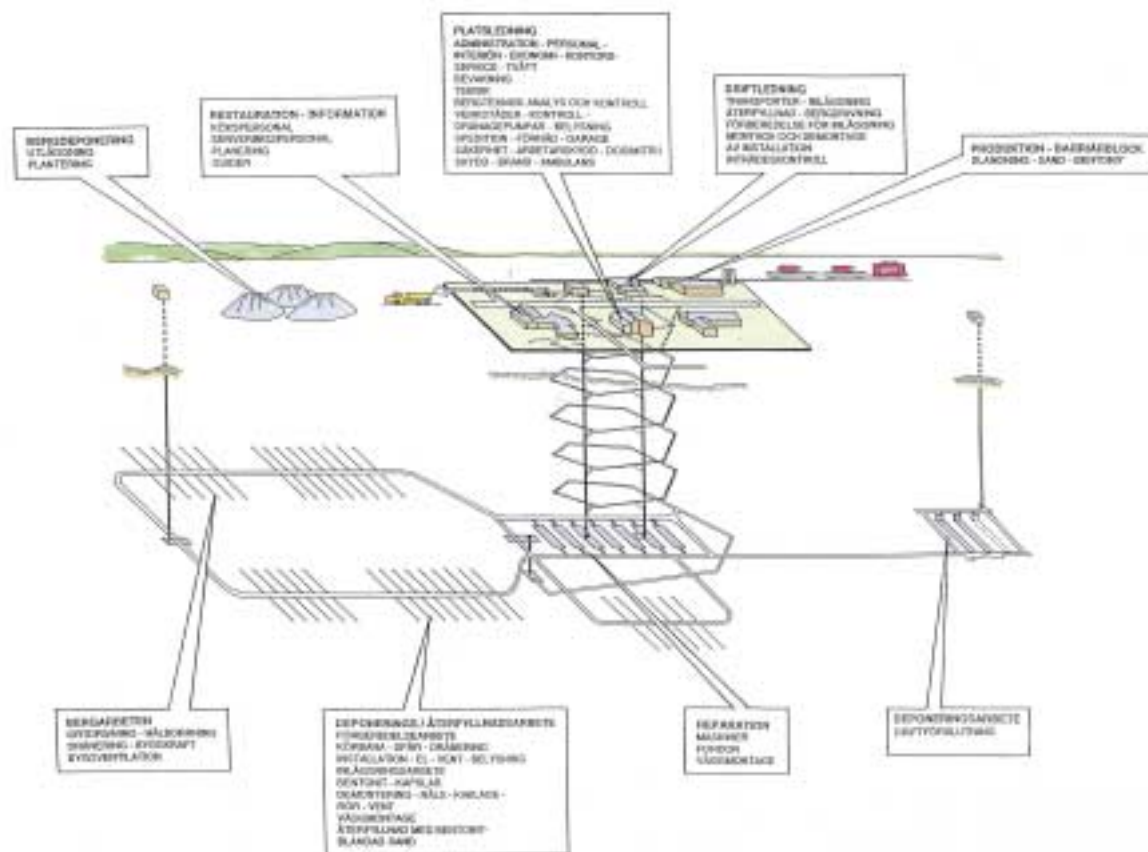
Som nämnts kommer verksamheten vid djupförvaret att genomgå flera skeden, alltifrån utbyggnad till förslutning och avveckling. I det följande beskrivs verksamheten under den reguljära driften av djupförvaret.

Driftverksamheten kommer att ha stora inslag av teknik från gruvdrift och transport-industri, och ett mindre inslag av tillverkningsindustri. Liksom vid många andra industrier kommer en betydande del av personalen att svara för administration och service som stöd för den egentliga produktionen.

Figur 6-12 ger en översikt över de verksamheter som ska finnas och fungera i olika delar av djupförvarets anläggningar. Huvuduppgiften är att ta emot och deponera kapslar med använt kärnbränsle. Vidare ska buffertmaterial i form av pressade bentonitblock tillverkas och material för återfyllnad av deponeringstunnlar blandas. Arbetet ska genomföras under noggrann kontroll.

Driften planeras att pågå året runt med avbrott för helger och semestrar. Deponering av avfall förutsätts ske på dagtid. Vissa förberedelsearbeten och återfyllnad av deponeringstunnlar kan behöva genomföras med två skift. Reparationsarbeten kan också behöva utföras utanför ordinarie arbetstid.

Deponeringsområden kommer att byggas ut successivt i den takt de behövs för deponeringen. I takt med deponeringen ska servicesystem monteras. Det är angeläget att planera förvaret så att deponeringsverksamheten kan hållas skild från tunnelldrivning och hållborrning.

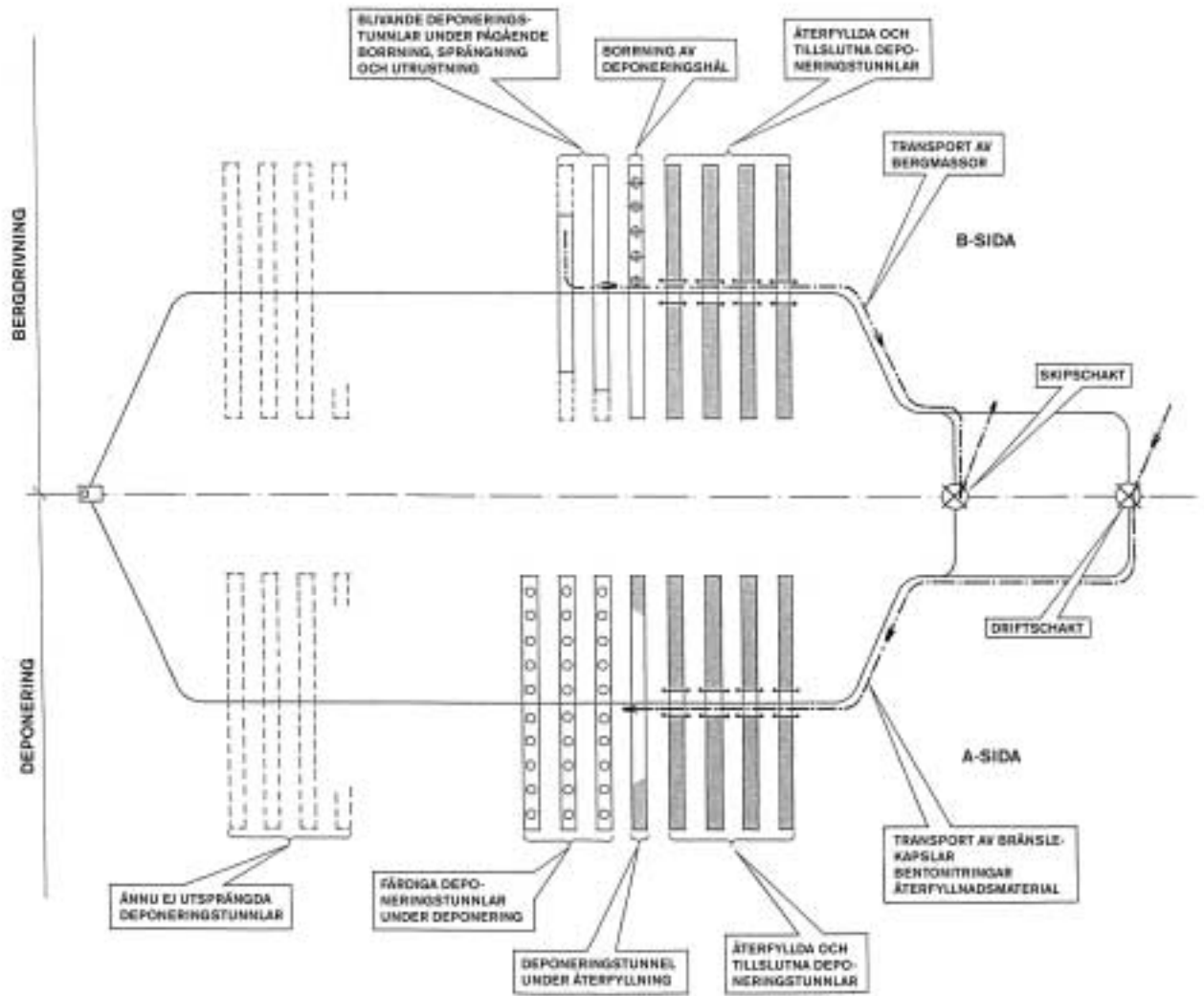


Figur 6-12. Verksamheten vid djupförvarsanläggningen.

Principskissen i figur 6-13 visar hur transporttunnlar och deponeringsområden kan arrangeras så att transporterna av avfall respektive bergmassor inte behöver korsa varandra.

De olika verksamheterna, som i huvudsak pågår parallellt i anläggningen, kan grupperas i följande delfunktioner:

- interna transporter och deponering av avfall,
- utsprängning och iordningställande av deponeringstunnlar,
- återfyllnad,
- kontroll och dokumentation,
- tillverkning av bentonitblock samt beredning av återfyllnadsmassor,
- drift och underhåll av servicesystem,
- underhåll och reparation av fordon, maskiner och lyftanordningar,
- information,
- administration, bevakning.



Figur 6-13. Verksamheter i deponeringsområden. Tillredning och deponering pågår samtidigt, men i olika områden.

6.4 Referensutformning och varianter

6.4.1 Allmänt

I avsnitt 6.3 ovan görs en översiktlig beskrivning av verksamheter vid djupförvaret. Information lämnas om möjliga arrangemang och utformningen av anläggningsdelar ovan mark, alternativa nerfarter till deponeringsområdet samt utformning av deponeringsområden.

Arbetet med utvecklingen av djupförvaret sker stegvis. I takt med att processen för platsvalet fortskrider utökas den platsspecifika kunskapen vilket möjliggör anpassning av djupförvarets utformning. Under proven av metoderna att realisera förvarssystemets barriärer erhålls underlag för att förfina och detaljdimensionera dessa barriärer.

På motsvarande sätt ger ett förbättrat underlag enligt ovan möjligheter till mer djupgående säkerhetsanalyser med åtföljande bättre möjlighet till att säkerhetsmässigt balansera de olika barriärerna till varandra. Dagens utformningar och säkerhetsanalyser visar således en referensutformning som utgör grunden för en successiv vidareutveckling i anslutning till att ny kunskap tas fram.

I följande avsnitt görs en fördjupad redovisning av utredningar och analyser beträffande funktion och utformning av djupförvarets enskilda delar. Vidare redovisas referens-utformningen och de alternativ för vilka utredningar planeras som ska underbygga det slutliga valet beträffande:

- deponeringsmetod,
- utformning av deponeringsområden,
- nerfart via schakt kontra olika former av ramper,
- val av förvarsdjup,
- teknik för tunneldrivning och borrning av deponeringshål,
- deponeringsteknik,
- buffert
- återfyllnadsmaterial.

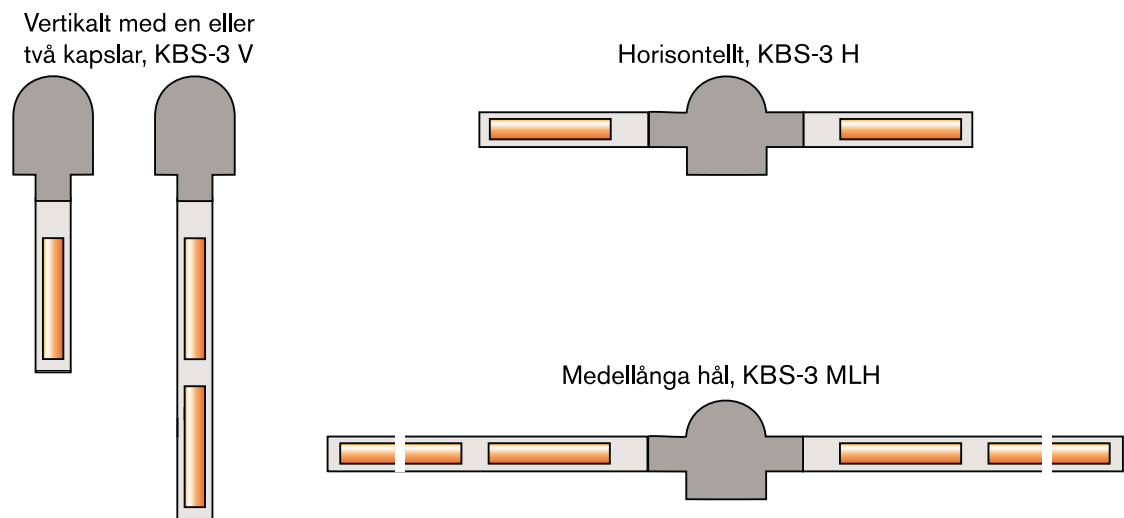
6.4.2 Varianter på KBS-3-metoden

Deponering av kapslar kan för KBS-3-metoden utföras på några principiellt olika sätt och framgår av figur 6-14:

- KBS-3 V, vertikalt med en eller flera kapslar i varje deponeringshål,
- KBS-3 H, horisontellt med en kapsel i varje deponeringshål,
- KBS-3 MLH, horisontellt efter varandra i medellånga deponeringshål.

KBS-3 MLH har tidigare benämnts enbart MLH-metoden. Med hänsyn till likheten med KBS-3-metoden med samma kapseln och flerbarriärsystem, samma förvarslayout och deponeringsdjup etc utgör MLH-metoden per definition en variant av KBS-3-metoden.

För att studera och jämföra olika varianter av KBS-3-metoden initierade SKB 1996 ett projekt benämnt JADE, (Jämförelse Av Deponeringsmetoder). En sammanställning av resultaten från denna utredning framgår av bilaga 1 till denna rapport.



Figur 6-14. Varianter på deponeringsmetoder för KBS-3.

JADE-studien visade att KBS-3 H inte har några uppenbara fördelar jämfört med KBS-3 V varför inga framtida insatser planeras beträffande denna deponeringsmetod. KBS-3 MLH kan ha långsiktiga säkerhetsmässiga fördelar och skulle ge lägre anläggningskostnad. MLH kräver dock omfattande tekniskt arbete och demonstration i full skala för att komma till samma mognadsgrad som KBS-3-metoden. Inga beslut har ännu tagits beträffande eventuella framtida utvecklingsarbeten för MLH-metoden.

KBS-3 V med en kapsel per deponeringshål utgör även fortsättningsvis SKB:s referensmetod för deponering. Studerade varianter av KBS-3-metoden medger dock samma utformningar av ovanjordsanläggningen, anslutande ramp och schakt samt centralområdet under jord.

6.4.3 Utformning av deponeringsområden

Djupförvarets underjordsanläggning består av ett centralområde, ett deponeringsområde för den inledande driften och ett deponeringsområde för den reguljära driften för resterande kapslar. I planeringen ingår också att reservera utrymme för ett slutförvar för övrigt långlivat låg- och medelaktivt avfall. De skilda områdena kommer sannolikt att placeras i olika bergblock omgivna av väl definierade spricksystem.

Baserat på generella data om svensk bergrund har SKB tagit fram en översiktlig layout för ett tänkt djupförvar. Layouten i SKB:s huvudalternativ baseras på ett nerfartssystem med ramp med ett eller två driftsområden ovan jord. Vid upprättandet av layouten har i huvudsak följande förutsättningar beaktats:

- Förvaret placeras på 500 m djup och byggs ut i ett plan.
- Placeringen av de olika förvarsdelarna kommer att anpassas till lokala förhållanden. Avståndet mellan deponeringstunnlarna planeras bli 40 m och mellan kapslarna 6 m vilket begränsar temperaturerna till acceptabla värden.
- 90 % av teoretiskt möjliga kapselpositioner kan utnyttjas för deponering av kapslar.
- Längden på deponeringstunnlarna kommer att anpassas till storleken på bergblocken men ur planeringssynpunkt har de en genomsnittlig längd av 250 m.
- Deponeringsområdet för den inledande driften placeras så att det kan förslutas oberoende av aktiviteterna under reguljär drift.
- Deponeringsområdet för reguljär drift byggs ut i två eller flera delar vilket möjliggör samtidig utbyggnad och deponering av kapslar.
- Om slutförvaret för annat långlivat avfall samlokaliseras med djupförvaret för använt kärnbränsle ska det placeras minst 1 000 m från närmaste kapselposition, och ha anslutning till nerfartsrampen.
- Storleken på djupförvaret baseras sig på redovisningar enligt SKB:s PLAN-rapportering vilket innebär ett område i vilket det kan deponeras ca 4 500 kapslar.

Layouten av förvarets deponeringsområden kommer slutligen att bestämmas av lokala geologiska förhållanden, bergmassans termiska egenskaper samt värmeutvecklingen i det deponerade bränslet. Denna anpassning kommer att göras stegvis och med ökad detaljeringsgrad allteftersom mer geologisk information inhämtas. Processen kommer att vara interaktiv där olika typer av geologiska undersökningar kommer att kopplas till en

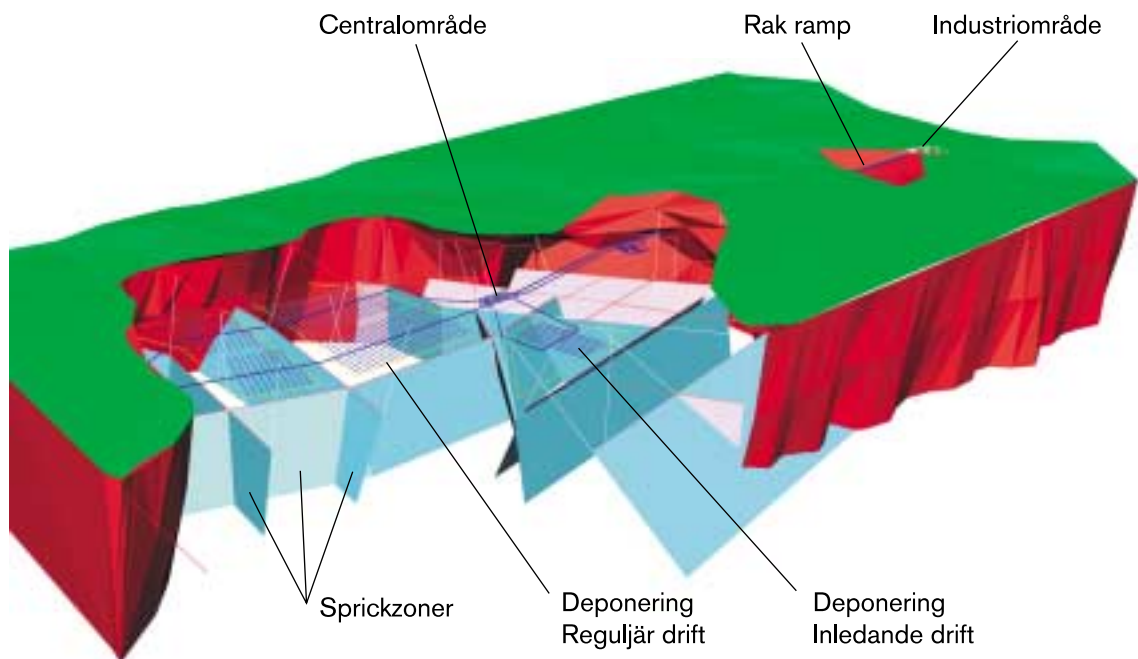
tänkt förvarsutformning. Detta innebär att den slutliga layouten för deponeringsområden kommer att fastställas successivt även under den utbyggnad som sker under den reguljära driften.

Inom ramen för arbetet med SR 97 /6-1/ togs anpassade layouter för tre olika platser benämnda Aberg, Beberg och Ceberg fram. Layouterna i SR 97 har sedan använts som underlag för fjärrområdesanalyser. Upprättandet av dessa layouter har baserats på befintliga strukturgeologiska modeller och grundvattenmodeller för aktuella områdena. De föreslagna layouterna baseras på att deponeringstunnlarna preliminärt placeras vinkelrätt mot största horisontalspänningen.

Figur 6-15 är en illustration på en platsanpassning av deponeringsområden för djupförvar med hänsyn till förekommande sprickzoner med olika mäktighet och riktningar.

Preliminära layouter baseras på att inga deponeringstunnlar får korsa regionala strukturer och att kapslar inte får deponeras närmare än 100 m från regionala sprickzoner, respektive 50 m från lokala större sprickzoner. Deponeringstunnlarnas längd kommer att anpassats till rådande geologiska förhållanden. Respektavstånden till regionala och lokala större sprickzoner kommer slutligen att fastställas baserat på detaljerad kännedom om karakteristiken för respektive struktur samt omgivande bergmassa.

Den slutliga riktningen på deponeringstunnlarna kommer att fastställas baserat på detaljerade geologiska undersökningar, byggbarhetsanalys och säkerhetsmässiga överväganden. Framtida mera detaljerade geologiska undersökningar kan innebära att ytterligare bergblock erfordras för deponering av kapslar och att lagrets areella utbredning därmed ökar. Det slutliga avståndet mellan deponeringstunnlarna och kapslarna baseras på maximalt tillåten temperatur i bentoniten och på kapslarnas yta, värmeeffekten i kapslarna samt det omgivande bergets termiska egenskaper.



Figur 6-15. Översiktlig layout av ett djupförvar med rak ramp anpassat till förekommande sprickzoner och storleken på bergblock.

6.4.4 Nerfart via schakt kontra olika typer av ramper

Nerfartssystemet till djupförvarets underjordsanläggning kan utgöras av rak ramp, spiralramp eller schakt. Rak ramp utgör huvudalternativ som förbindelse mellan djupförvarets ovanjords- och underjordsanläggningar. En ramp ger handlingsfrihet till att lokalisera anläggningarna ovan och under jord skilda från varandra.

Vilket nerfartssystem som är lämpligast beror på tekniska faktorer men också på lokala förhållanden. Det kan till exempel för vissa lokaliseringar vara lämpligt att separera ovanjordsanläggningen från underjordsanläggningen i sidled och förbinda anläggningsdelarna med en sluttande ramp. Vid val mellan olika nerfartssystem måste hänsyn också tas till byggtiden som är kortast för ett vertikalt schakt, möjligheten att utföra geologiska undersökningar under byggskedet samt krav på återfyllnad. Med en ramp är det möjligt att genom val av lämplig sträckning nå olika delar av den aktuella bergmassan. I dagsläget förutsätts att nerfartssystemet, schakt och ramp, återfylls med en blandning av bentonit och bergkross. Kostnaden för återfyllnad blir lägre vid återfyllnad av schakt på grund av en mindre återfyllnadsvolym.

Vid valet av schakt eller ramp är det också nödvändigt att ta hänsyn till frågeställningar kopplade till långsiktig funktion och säkerhet.

Beslut om nerfartssystem tas när de lokala förhållandena på platsen för djupförvaret är kända och när lokalisering av såväl ovanjordsanläggning som underjordsanläggning är bestämd.

Tre principiellt olika nerfartssystem till djupförvarets underjordsanläggning har studerats:

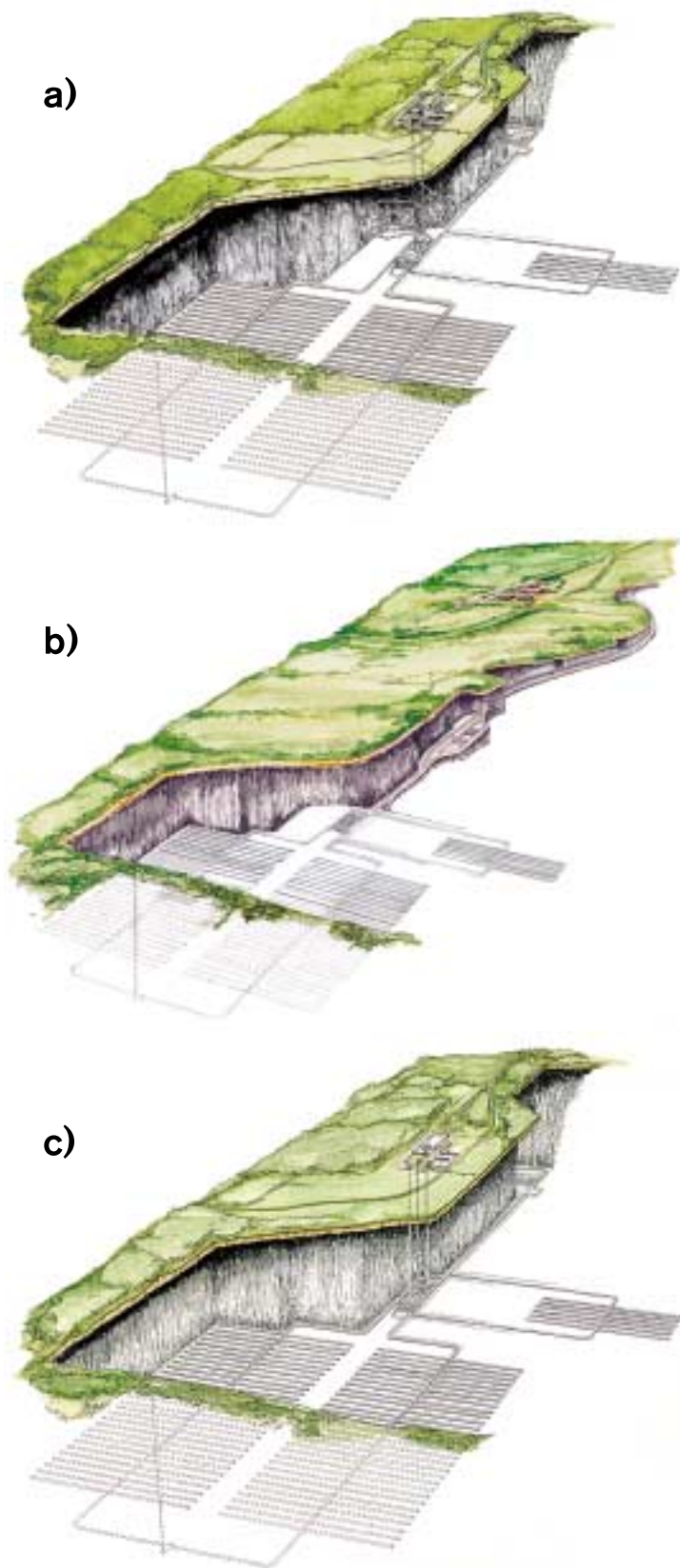
- Spiralramp.
- Rak ramp.
- Schakt.

Spiralramp

En spiralramp innebär att industriområdet ovan jord är förlagt över centralområdet under jord, något som också är önskvärt om nerfarten utgörs av schakt. Rampen anpassas för att kunna utnyttjas för alla tunga och skrymmande transporter mellan industriområdet och förvarsnivån, det vill säga för bergmassor, transportbehållare, buffertmaterial, återfyllnadsmaterial och maskiner. Alternativt kan bergmassor och återfyllnadsmaterial gå i schakt. Till detta kommer ett schakt för snabba personaltransporter och service. Dessutom utnyttjas schakt för försörjning av ventilationsluft etc.

Rak ramp

Här kan man särskilja två varianter. I den ena, beskriven ovan, transporteras avfallet i rampen och all försörjning samt transport av berg- och återfyllnadsmassor sker i schakt. I den andra sker alla transporter och mediaförsörjning i rampen och inga styrande samband finns mellan industriområdet ovan jord och förvarsområdet under jord. Schakt finns i båda fallen för frånluften från förvarsområdet och för utrymning. Sidoförflyttningen mellan de två områdena kan uppgå till flera kilometer.



Figur 6-16. Olika nerfartssystem till djupförvaret.

a) spiralramp

b) rak ramp

c) schakt

Schakt

All kommunikation med förvarsnivån sker enligt detta alternativ via schakt. Antalet schakt anpassas till behovet av transporter av personal, bergmassor, buffertmaterial, återfyllnadsmaterial, avfall och medier. Industriområdet ovan jord bör ligga rakt över underjordsanläggningens centralområde, men det finns möjlighet att driva en tunnel horisontellt på djupförvarsnivå om anläggningarna är sidoförskjutna i förhållande till varandra.

Nerfartens påverkan på driftsäkerheten

Schakt har utgjort den normala metoden att förbinda en underjordsanläggning med marknivån vid konventionell gruvdrift, eftersom uppföring av malm utgör det dominerande transportarbetet. Erfarenheterna från byggande och drift med schakt är därför stora. En ramp leder till väsentligt längre transporttider än ett schakt för gods och personal. Fördelen med en ramp är att den ger stor flexibilitet när det gäller möjligheten att lokalisera underjordsanläggning och ovanjordsanläggning på mest lämplig plats inom ett rimligt avstånd från varandra. En ramp underlättar också vid förflyttningar av större maskiner och komponenter mellan ovan- och underjordsanläggningen.

I samband med förstudierna har sidoförflyttning på upp till 10 km mellan ovan- och underjordsanläggningen förutsatts kunna ske. Så långa avstånd blir dock opraktiska för personaltransporter till och från underjordsanläggningen. Istället kan ett eller flera schakt byggas rakt ovanför djupförvaret för transport av personal och en del material. Detta medför dock att ett andra driftområde anläggs ovanför förvaret och att man därmed får verksamhet ovan jord på två platser.

Påverkan på långsiktig funktion och säkerhet

Med ett schakt erhålls färre kanaler till berget än med en ramp eftersom färre grundvattenförande sprickzoner passerar i ett sådant alternativ. Det är enklare att erhålla en god återfyllnad av vertikala schakt jämfört med återfyllnad av ramp. Dessa faktorer kan möjligen ses som en fördel för den långsiktiga säkerheten. Såväl spiralramp som schakt innebär att ett mindre område i berget blir stört än vad som är fallet med en ramp som kan ha en utsträckning på upp till 10 km och därmed ge upphov till ett större område av stört berg.

6.4.5 Val av förvarsdjup

6.4.5.1 Faktorer som påverkar valet av förvarsdjup

Förvarets djup bestäms när de lokala förhållandena i berggrunden på platsen för djupförvaret är kända. Huvudalternativet är att placera förvaret på ca 500 m djup. Större djup medför både för- och nackdelar för den långsiktiga säkerheten, och ger generellt en negativ påverkan på driftsäkerheten.

Ett djupförvar ska vara placerat på ett sådant djup att bergets funktion som barriär säkerställs under lång tid samtidigt som de övriga barriärernas funktion inte påverkas negativt.

Vidare ska byggande och drift av förvaret kunna utföras på ett tillfredsställande sätt. Faktorer som man därvid måste ta hänsyn till framgår av /6-3/ och sammanfattas nedan:

- långsiktig erosion, inklusive glaciationer, och händelser på markytan (explosioner, undermarksbyggande, brunnborrning) får inte äventyra förvarets funktion,
- bergets hydrauliska konduktivitet ska vara låg,
- reducerande kemiska förhållanden ska råda.

Å andra sidan bör förvarsdjupet inte väljas så stort att:

- höga bergspänningar äventyrar stabiliteten för bergrum och tunnlar under bygg- och deponeringsskedet,
- den naturliga temperaturen på förvarsnivå blir så hög att uppställda krav på maximitemperatur under förvaringsskedet inte kan uppfyllas,
- undersökningar från markytan inte försvåras onödigt,
- driften försvåras onödigt på grund av till exempel mycket långa transporter.

Temperaturen i bergmassan ökar med djupet. Detta innebär att kapslarna måste deponeras på längre avstånd från varandra med ökat förvarsdjup för att maximalt tillåten temperatur på kapselytan och i den omgivande bentonitbarriären inte ska överskridas. Vid en djupare förläggning innebär detta att längden på deponeringstunnlarna ökar, att bergmassan blir sämre utnyttjad och att kostnaden ökar för att bygga djupförvaret.

Med utgångspunkt från att dessa krav ska uppfyllas har SKB valt att i sitt huvudalternativ lokalisera djupförvaret till 400–700 m djup. Ett djup på 400 m ses som det minsta djup för vilket de krav som ställs är uppfyllda. Däremot ges ett större utrymme när det gäller största djup för att tillgodose de ställda kraven. Det slutliga valet av förvarsdjup bestäms dels av generella förhållanden vid olika djup i berggrunden, men också av lokala förhållanden vid platsen för djupförvaret. En slutlig analys av vilket förvarsdjup som bäst uppfyller de ställda kraven måste därför göras när de lokala förhållandena på den plats som valts för ett djupförvar är kända.

6.4.5.2 Förvarsdjupets påverkan på driftsäkerheten

Säkerheten vid driften av ett djupförvar påverkas generellt negativt av en lokalisering till större djup. Faktorer som påverkar driftssäkerheten är till stor del sådana som också påverkar bygge och drift på ett negativt sätt.

Lokalisering till ett större djup leder till att transportarbetet ökar. Dessutom begränsas valet av transportvägar av att en ramp inte ses som ett realistiskt alternativ som tillfart till ett förvar på mycket stort djup. Alla transporter av transportbehållare, personal, bentonit, bergmassor etc måste därför ske via schakt.

Bergets kvalitet ändras normalt inte för aktuella djup för förvaret. Däremot ökar bergspänningarna. Detta försämrar förutsättningarna för bergbyggnad, och medför högre krav på bergförstärkning. Det kan också leda till ett behov av modifierad teknik för bergguttag och förstärkning, och till begränsningar av tunnlar storlek och anpassning av geometrin. Vidare kan det ökade grundvattentrycket leda till ökad risk för ras och större okontrollerade vattengenombrott.

6.4.5.3 Försvarsdjupets påverkan på den långsiktig säkerheten

Ett ökat försvarsdjup kan potentiellt ha en viss positiv påverkan på förvarets långsiktiga säkerhet. Fördelar med ett större försvarsdjup är:

- längre transporttid för radionuklider genom berget på grund av låg hydraulisk konduktivitet, längre transportväg, lägre hydraulisk gradient och lägre grundvattenflöde genom förvaret,
- större utspädningseffekt i utströmningsområdet på grund av större influensområde,
- mindre grundvattencirkulation på grund av grundvattnets högre salthalt (vid kustläge),
- minskad förekomst av korrodanter som kan angripa kapseln,
- mindre påverkan av glaciation och permafrost,
- minskad risk för mänskligt intrång.

Ett stort försvarsdjup kan också innebära vissa nackdelar för den långsiktiga säkerheten på grund av:

- att radionuklidernas fördröjning genom sorption på sprickytor och diffusion i bergmatrisen minskar till följd av att skadezonen i berget runt tunnlar och deponeringshål sträcker sig längre ut i berget. Detta kompenseras dock av den större ovanför liggande bergmassan,
- större andel främmande material på försvarsdjup på grund av större mängd kvarlämnade bergförstärkningar och cementbaserade injekteringsmedel,
- negativ påverkan på bentonitleran av grundvattnets högre salthalt vad gäller svällningsegenskaper och illitisering.

6.4.6 Teknik för tunneldrivning och hålbörning

6.4.6.1 Faktorer som påverkar teknikvalet

Olika tekniker för drivning av tunnlar, schakt och deponeringshål studeras, bl a med avseende på hur närzonen kring hålrummen påverkas. Det är betydelsefullt att vattenflödet i deponeringshålen är tillräckligt stort för att säkerställa bentonitens vattenmättnad. Vattenflödet får dock inte vara så stort att det negativt påverkar bentonitbarriären under inplaceringen av bentonitblocken och vid deponeringen av kapseln. Vätning av bentoniten kan till viss del ske genom tillförsel av vatten utifrån, men för fullständig vattenmättnad krävs tillförsel av grundvatten. Handlingsfriheten vad gäller metod för drivning av deponeringstunnlar och deponeringshål kvarstår även efter påbörjad deponering och valet kan omprövas under pågående drift.

Byggandet av anläggningar under jord ger mekanisk påverkan på bergmassan. Kring de hålrum som skapas sker spänningsomlagringar och deformationer. Denna påverkan är lokal och styrs av de initiala bergspänningarna, bergmassans egenskaper och hålrummens geometri. Berget närmast hålrummen påverkas också av vald drivningsmetod. Drivning av deponeringstunnlar och deponeringshål ska göras på ett sådant sätt att störningarna i det omgivande berget inte medför att den långsiktiga säkerheten äventyras.

Drivning av deponeringstunnlar och börning av deponeringshål kommer att ske parallellt med deponering av kapslar. Eftersom stabiliteten i de delar av förvaret där deponering pågår inte får äventyras av pågående bergarbeten bedrivs de olika arbetena i skilda delar av förvaret.

6.4.6.2 Tillredning av tunnlar

Drivning av tunnlar kan göras genom konventionell borrhning och sprängning eller genom mekanisk brytning, oftast fullortsborrning med tunnelborrningsmaskin (TBM). Båda metoderna har använts med gott resultat vid drivningen av tunneln vid Äspölaboratoriet.

Generellt gäller att konventionell borrhning och sprängning ger större flexibilitet vid byggande av tunnlar, medan TBM-teknik i viss mån begränsar möjligheterna till val av utformning.

TBM-tekniken har vissa fördelar jämfört med konventionell tunneldrivning som mindre påverkan på berget, det vill säga skadezonen blir mindre. Utvecklingen av TBM-tekniken har gått framåt de senaste åren och det är nu standard att förse tunnelborrningsmaskinerna med utrustning för undersökningsborrning framför tunnelfronten och för injektering och bulstättning för bergförstärkning.

I en bergmassa med höga bergspänningar erhålls vid tunnelborrning en koncentration av spänningar till berget närmast tunnelväggen. Detta kan vid ogynnsamma förhållanden lokalt leda till bergspänningar som överskrider bergets hållfasthet och som medför spjälkning av bergbitar ur tunnelväggen (smällberg). Om motsvarande tunnel drivs konventionellt med sprängning erhålls en uppluckrad zon närmast tunnelväggen och de höga spänningskoncentrationerna uppträder då en bit in i bergmassan.

Val av drivningsmetod för tillredning av deponeringstunnlar kommer att göras när de geologiska förhållandena vid djupförvaringsplatsen är kända. Under mellantiden kommer generella studier att genomföras för att klarställa förutsättningar och för- och nackdelar med respektive drivningsmetod.

6.4.6.3 Tillredning av ramp

Byggandet av en ramp från markytan och ner till deponeringsnivån kan utföras genom konventionell borrhning och sprängning eller genom tunnelborrning. För aktuell längd på rampen erfordras en noggrann analys av fördelar och nackdelar som underlag för val av drivningsmetod.

I huvudalternativet planeras för närvarande konventionell borrhning och sprängning för drivning av rampen. För att möjliggöra transporter i rampen under både bygg- och driftsskedet måste rampens lutning begränsas. Normal lutning på en ramp är 1:7 på raksträckor och 1:10 i kurvor. Rampen för det framtida djupförvaret planeras för en lutning av 1:10. Genom den relativt flacka lutningen blir rampens längd ca 5 000 m vid en deponeringsnivå på 500 m. Rampens längd innebär att byggtiden blir lång och längre än vid byggandet av ett schakt från markytan.

Ett alternativ till konventionell tunneldrivning är att driva rampen genom tunnelborrning.

Slutligt val av drivningsmetod för rampen kommer att ske under framtagningen av projekteringsunderlaget för detaljundersökningen och utbyggnaden för den inledande driften.

6.4.6.4 Tillredning av bergrum

Aktuella bergrum tillhörande centralområdet planeras att byggas med konventionella metoder med borrhning och sprängning.

6.4.6.5 Tillredning av schakt

Gruvindustrin har lång erfarenhet av byggandet av schakt. Olika strategier används om ett schakt ska byggas från markytan och neråt eller om det redan finns uttagna bergutrymmen på aktuell nivå i berget. För ett djuplager innebär detta att olika metoder kommer att tillämpas för byggandet av schakt uppifrån, schaktsänkning, och för de schakt som byggs när åtkomst föreligger till deponeringsnivån. Beskrivna byggmetoder kan genomföras med högt ställda säkerhetskrav avseende arbetarskydd. Valet av metod kommer att baseras på funktion samt ekonomiska överväganden och tid för genomförande.

Byggande av schakt från markytan

Byggandet av schakt från markytan och ner till deponeringsnivån utförs normalt genom borrhning och sprängning. För mycket djupa schakt är det även möjligt att använda speciell fullborrningsteknik. Med hänsyn till ett planerat djup för djupförvaret på 400–700 m bedöms för närvarande schaktsänkning genom TBM-teknik inte aktuell. Erfarenheter från internationella anläggningsprojekt kan dock medföra ändrad bedömning i framtiden.

Schaktsänkning genom borrhning och sprängning innebär att berget tas ut med en konventionell arbetscykel omfattande sonderingsborrning och vid behov förinjektering, borrhning, laddning, sprängning, utlastning och förstärkning. För hög drivningskapacitet är det nödvändigt att ha ett effektivt transportsystem i schaktet.

Byggande av schakt från deponeringsnivån

När åtkomst föreligger till deponeringsnivån byggs schakt normalt genom stigortsborrning (raise boring). Stigortsborrning innebär att ett mindre hål, pilothål, med en dimension på ca 300 mm borrar från markytan (uppifrån) och ner till deponeringsnivån. Genom styrning är det möjligt att borra pilothålet med mycket god precision. När pilothålet är klart ansluts ett borrhuvud med en diameter som motsvarar schaktets diameter till borrhsträngen. Borrhuvudet är försett med rullborrkronor eller diskar som fragmenterar berget när borrhuvudet under rotation dras upp mot markytan. Vid borrhningen faller det lossborrade berget ner till bergutrymmet på deponeringsnivån varifrån det transporteras upp till markytan.

6.4.6.6 Teknik för borrhning av deponeringshål

Deponeringshålen för kapslar är i huvudalternativet 1,75 m i diameter och ca 8 m djupa. Möjliga metoder för borrhning av dessa hål är:

- fullborrning,
- kärnborrning,
- hammarborrning.

En optimering av djupet för deponeringshålen kommer att göras med hänsyn till vald metodik för drivning och återfyllnad av deponeringstunnlarna. Vid drivning av deponeringstunnlarna med tunnelborrning reduceras den skadade zonen kring tunneln vilket kan innebära att kapseln, som bör placeras utanför den skadade zonen, kan placeras närmare tunnelbotten. Å andra sidan kan det vid återfyllnad av deponeringstunnlarna med enbart bergkross vara nödvändigt att öka mäktigheten av bentonitbarriären i bufferten ovanför kapseln för att säkerställa den långsiktiga funktionen och säkerheten för djupförvaret.

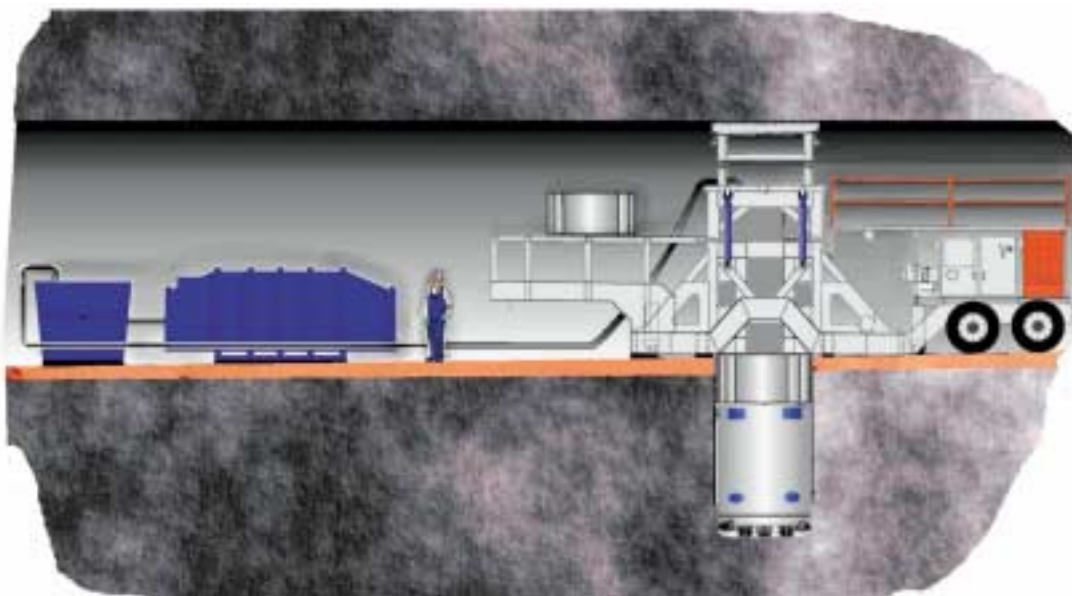
Fullborrning av deponeringshålen utförs på samma sätt som vid tillämpande av TBM-tekniken för en fullstor tunnel. En borrkrona med samma diameter som deponeringshålet är försedd med roterande diskar eller kuttrar. Genom tryck fragmenteras berget och bildar skärvor. Påverkansområdet i det omgivande berget är mindre än 5 cm. Vid Äspölaboratoriet har fullborrning av deponeringshål i full skala utförts med en ombyggd tunnelborrningsmaskin och med gott resultat /6-4/.

Ett alternativ till fullborrning med TBM är att använda utrustning för omvänd stigortsborrning ("raise borrning"). Denna metod har använts vid provborrningar av deponeringshål i Finland /6-5/.

Kärnborrning innebär att en ringformad borrkrona försedd med diamanter roteras under tryck. En cirkulär slits uppkommer därvid runt deponeringshålets periferi, varefter den centrala delen som frigjorts kan avlägsnas från hålet. Kärnborrning resulterar i ett borrhål med mycket släta väggar utan nämnvärd sprickbildning. Tekniken har använts i Stripa för att borra hål med en diameter av 0,8m.

Vid hammarborrning används en borrar som med slagverk och under rotation slår sönder berget i fragment. Bildat borrarax kan sedan avlägsnas med vatten eller tryckluft. Påverkansområdet i berget blir 5–10 cm vid denna typ av borrning.

Deponeringshålens kvalitet måste uppfylla vissa krav på raket och riktning för att deponeringen ska kunna genomföras som planerat.



Figur 6-17. TBM-borrning av totalt 13 deponeringshål genomfördes i Äspö under 1999.

Med dagens kunskap är det knappast aktuellt att använda kärnborrning eller hammarborrning för borrning av deponeringshål.

Borrning av horisontella deponeringshål kan utföras med samma tekniska princip som ovan beskrivits för borrning av vertikala deponeringshål.

Borrning av långa horisontella deponeringshål enligt MLH-metoden med diametern 1,75 m kan utföras med en tunnelborrningsmaskin, TBM. Lämpliga maskiner finns tillgängliga på marknaden och den maskin som nyligen använts för att borra vertikala deponeringshål på Äspö är ursprungligen en TBM för borrning av långa tunnlar med liten diameter.

6.4.6.7 Tillredningsteknikens påverkan på driftsäkerheten

Tunneldrivning med borrning och sprängning ger betydligt större påverkan på zonen närmast tunneln än drivning med tunnelborrning. Försök vid Äspö visade att den skadade zonen blev i storleksordningen 2–3 cm vid borrning, medan den vid sprängning i samma typ av berg blev ca 30 cm i väggar och tak och 80 cm tunnelgolvet (sulan) /6-6/. Genom skonsam sprängning kan skadezonen generellt minska. Skadezonen i sulan kan då begränsas till ca 30 cm. Ju mindre skador som drivningen ger på omgivande berg, desto bättre blir normalt stabilitetsförhållandena i tunneln. I undantagsfall, med mycket höga bergspänningar, kan dock en viss uppsprickning vara att föredra eftersom det kan reducera risken för så kallat smällberg.

Hantering av sprängämnen medför alltid en ökad risk för arbetsskador eller tillbud. Likaså medför sprängning ett behov av större säkerhetsavstånd till de områden i förvaret där deponering pågår parallellt med utbyggnaden.

Tunneldrivning med borrning och sprängning ökar behovet av ventilation för att en acceptabel arbetsmiljö under utbyggnaden av djupförvaret ska erhållas.

Vid TBM-drivning blir konsekvenserna av en felfunktion större eftersom det tar längre tid och därmed medför större kostnader att avhjälpa felet.

6.4.6.8 Tillredningsteknikens påverkan på långsiktiga säkerheten

Borrning av deponeringstunnlar leder till att en betydligt mindre zon i berget påverkas med sprickbildning än vid sprängning av tunnlar. Detta medför att grundvattenflödet genom djupförvaret begränsas och därmed också att transporttiden för radionuklider från ett eventuellt läckage från en kapsel kan förlängas. Detta kan leda till en positiv påverkan på den långsiktiga säkerheten vid användning av tunnelborrning jämfört med sprängning.

Vid tillredning av deponeringshål misstänks kärnborrning ge upphov till så liten sprickbildning och låga grundvattenflöden att det kan försvåra en jämn vattenmättnad av bentoniten i deponeringshålet. Å andra sidan leder ett lågt vattenflöde till långa transporttider för radionuklider som eventuellt läckt ut från en defekt kapsel. Fullborrning ger en något större sprickbildning i det omgivande berget än vad kärnborrning gör. Däremot är sprickbildningen inte lika stor som vid användning av hammarborrning. Fullborrning bedöms dock ge tillräcklig sprickbildning i berget för att grundvattnet ska spridas jämnt runt bufferten och på så sätt säkerställa en jämn vätning av bentoniten.

6.4.7 Deponeringsteknik

6.4.7.1 Faktorer som påverkar valet av deponeringsteknik

Vilken deponeringsteknik som är att föredra är i hög grad kopplat till deponeringsmetod (KBS-3 V, KBS-3-MLH, KBS-3 H). Deponeringen ska göras på ett sådant sätt att säkerheten vid drift säkerställs. Samtidigt ska den långsiktiga säkerheten upprätthållas och så långt det är möjligt verifieras, till exempel att erforderlig mängd bentonit omgärdar kapslarna.

En generell förutsättning är dessutom att kapslarna vid hanteringen i transporttunnlarna och i deponeringstunnlarna ska vara placerade i ett omslutande strålskydd.

6.4.7.2 Deponeringsteknik vid olika varianter av KBS-3-metoden

Enligt huvudalternativet deponeras kapslarna en och en i vertikala deponeringshål. Bentoniten som omger kapseln placeras enligt detta alternativ i form av block och ringar i deponeringshålet. När bentoniten är på plats körs kapseln fram till deponeringshålet med en deponeringsmaskin och sänks ner i det inre utrymmet i bentoniten. När kapseln har sänkt ner läggs bentonitblock över kapseln och resterande del av hålet fylls upp med en blandning av bergkross och bentonit. All hantering sker strålskärmat och personal kan hela tiden vara närvarande under deponeringen.

För att prova och demonstrera tekniken för deponering av kapslar i djupförvaret har SKB tillverkat en deponeringsmaskin i full skala. Syftet är att skaffa erfarenheter från konstruktion, tillverkning och drift av en sådan maskin.

Huvudmål för detta projekt är att utveckla och prova metodik och utrustning för deponering av kapslar. Vidare ger det möjlighet att demonstrera de olika momenten vid deponering och återtag av kapslar för såväl specialister som allmänhet.

Ett antal metoder finns föreslagna för horisontell deponering av kapslar. Av dessa metoder bedöms deponering av kapslar och bentonit i ett paket vara mest intressant. Vid deponering av kapslar och bentonit i ett paket monteras först bentonitblock runt kapseln. Det färdiga paketet placeras i en strålskyddscynder som tillsammans med bentonit-



Huvuddata:

Höjd	4,6 m
Bredd	3,7 m
Längd	11,8 m
Vikt, utan strålskyddstub	90 ton
Vikt, inkl strålskyddstub och kapsel	140 ton
Hastighet	0–10 m/s
Elkraftförsörjning	kabel
Kapacitet, huvudlyft	30 ton
Kapacitet, hjälplyft	5 ton
Kapacitet, lyft för bentonit plugg i maskinen	1 ton

Figur 6-18. Foto av deponeringsmaskinen i demonstrationstunnel i Äspö.

blocken skärmar av från den strålning som kapseln avger. Hela paketet placeras därefter i det horisontella deponeringshålet.

För deponering av kapslar i medellånga deponeringshål har föreslagits att kapslarna och bentonitblocken skjuts in i deponeringshålen i ett paket sammanhållet av ett nät av kopparskenor. Kopparskenorna utgör glidyta vid inskjutningen av paketen. Ett annat alternativ som diskuterats är att utföra deponeringen i två steg, varvid hela bentonitbufferten placeras in i ett moment och kapseln skjuts in i det centrala hålet i bufferten i ett andra moment. När kapseln finns på plats i bufferten placeras en bentonitplugg i den yttre delen.

6.4.7.3 Deponeringsteknikens påverkan på driftsäkerheten

De olika teknikerna för deponering av kapslar skiljer sig genom att kapsel och buffert antingen kan deponeras separat eller som ett paket. En annan variant är att hanteringen kan ske fjärrstyrt och/eller manuellt i anslutning till deponeringsmaskinen. Hanteringen av kapsel och buffert som ett paket har nackdelen att det blir stort och tungt och att bentoniten är känslig för stötar. Fjärrstyrd verksamhet innebär att deponeringen kan manövreras från ett kontrollrum som är beläget på avstånd från deponeringshålet, till exempel i berganläggningens centralområde eller ovan jord. Vid all hantering är det nödvändigt att eventuella felfunktioner i systemet under pågående deponering kan åtgärdas utan att personalen utsätts för oacceptabla stråldoser. Detta säkerställs genom att kapseln placeras i ett strålskydd.

6.4.7.4 Deponeringsteknikens påverkan på långsiktiga säkerheten

För den långsiktiga säkerheten är det viktigt att det går att verifiera, mäta och kontrollera att de olika momenten vid deponering utförs på ett korrekt sätt inom de ramar som angivits i säkerhetsanalysen. Detta gäller såväl placering av bufferten i deponeringshålet som placeringen av kapseln i buffertens centrum. Deponering av hela paket med buffert och kapsel gör att avsyning, av hur bentonitblocken placeras, underlättas.

6.4.8 Buffert- och återfyllnadsmaterial

6.4.8.1 Faktorer som påverkar val av buffert- och återfyllnadsmaterial

Buffertmaterial

Val av buffertmaterial och utformning av bufferten runt kapseln utgår från de grundläggande kraven för dess isolerande respektive fördröjande funktion. För den isolerande funktionen ska bufferten:

- helt omsluta och skydda kapseln under lång tid,
- hålla kapseln centrerad i deponeringshålet,
- hindra strömning av grundvatten genom bufferten och därmed hindra att korrosiva ämnen transporteras till kapseln på annat sätt än genom diffusion,
- stanna kvar i deponeringshålet och vara kemiskt stabil under lång tid,
- leda bort värme från kapseln.

Det buffertmaterial som är aktuellt utgörs av svällande bentonitlera. Några bra andra alternativ finns inte.

Cement eller betong är täta och hållfasta material med låg vattengenomsläpplighet, som också kan blandas i former som har svällande egenskaper. Dock har cement eller betong små möjligheter att fylla ut även de små groparna i bergväggen och ett mindre porsystem riskerar att utbildas. Materialen är också styva efter härdning och saknar plastiska egenskaper. Kemimiljön är besvärande vid högt pH, större än ca 10,5, men kunskaper finns om sätt att åstadkomma betong med pH under detta värde.

Den gynnsamma svällande och tätande förmågan hos bufferten skulle teoretiskt kunna åstadkommas genom inblandning av periklas (MgO) i en icke-svällande lera, men bufferten skulle då bli styv och utan självläkande egenskaper. I svällande lera (Na- eller Ca-baserade leror) har magnesiumoxidens svällande egenskaper visats bli neutraliserad.

Några andra naturligt förekommande material som uppfyller de krav som ställs på bufferten är inte kända, utan kraven som ställs leder till att en lera med hög smektithalt är lämpligast. Huvudalternativet är en natriumrik bentonit från Wyoming i USA. Tillgången på bentonit är mycket stor på platsen, men det kan förekomma variationer i bentonitens kvalitet. I Europa finns bentonit att tillgå från t ex Tyskland, Grekland och Italien. Dessa bentonitleror innehåller kalcium istället för natrium, men kan på ett enkelt sätt konverteras till natriumform. Sådan konvertering är vanlig och tillämpades bl a på den bentonit som användes i SFR:s silo. Alla leror innehåller naturligt några procent andra vanliga mineral än smektit och olika utblandning med sådana mineral eller krossat berg alternativt naturlig sand har undersökts. Olika smektitiska lerors lämplighet diskuteras i /6-7/.

Flera av kraven för den isolerande funktionen gynnar också buffertens fördröjande funktion. För denna funktion ska bufferten dessutom sorbera radionuklider på ytan av lerpartiklarna. Bufferten ska även filtrera kolloider som kan bildas vid upplösning av bränslet. Gas som kan bildas inuti en skadad kapsel ska tillåtas att komma ut.

När det gäller driftperioden ska buffertmaterialet kunna tillverkas, transporteras och placeras i deponeringshålen på ett sätt som säkerställer att erforderlig kvalitet erhålls. Dessutom finns krav på god tillgång till den materialtyp som ska användas.

Återfyllnad

Materialet som är tänkt att användas vid återfyllning av tunnlarna, bergrum och schakt ska väljas så att:

- det motverkar utsvällning av bentonit från deponeringshålen,
- det motstår kemisk omvandling under lång tid,
- det inte medför icke önskvärd kemisk omvandling av bufferten runt kapseln,
- grundvattenströmningen genom tunnlarna och övriga bergutrymmen begränsas.

Återfyllnadsmaterial väljs beroende på vilken hydraulisk konduktivitet som eftersträvas och med hänsyn till lokala förhållanden i förvaret.

6.4.8.2 Tjocklek och täthet för bentonitbuffert

Buffertens tjocklek under kapseln bestäms till viss del av tjocklek och material hos bottenavjämningen i deponeringshålen. Detta gäller i hög grad om betong används till bottenavjämning, eftersom detta förväntas påverka ovanliggande bentonit. Dessutom ska

buffertens bottenjocklek vara tillräcklig för att bära kapseln och för att fördröja transport av radionuklider vid ett eventuellt läckage från kapseln.

Buffertmateriallets tjocklek längs kapslarnas väggar ska vara tillräcklig för att stabilisera kapseln vid rörelser i berget. Den ska också ge långa transporttider för viktiga radionuklider vid ett eventuellt läckage från en kapsel. En begränsning är att bufferten inte får vara så tjock att det förhindrar att värme leds bort från kapslarna så att mängden bränsle i varje kapsel därmed kraftigt begränsas.

Buffertens täthet ska vara så hög att den även efter lång tid bär kapseln och bibehåller en låg hydraulisk konduktivitet. Tätheten får emellertid inte vara så hög att det svälltryck som utvecklas när bufferten tar upp vatten blir högre än vad kapseln eller berget tillåter.

Bentonitbarriären ska efter svällning hålla erforderlig densitet. En möjlighet som studeras för att uppnå sådan densitet är att öka diameten på bentonitringarna och därigenom minska spalten mot berget något samt att tillverka ringarna med högre densitet i jämförelse med vad som hittills prövats i Äspö. En annan möjlighet är att fylla den yttre spalten med bentonitpellets. Andra faktorer som påverkar bentonitens densitet är presstrycket vid pressningen av blocken och vattenhalten i bentoniten vid deponeringen. Arbete med optimering av sådana faktorer ingår som del i de försök som görs i Äspö.

6.4.8.3 Pressning av bentonitblock

Bentonitbufferten byggs upp av ett bottenblock och ringar som staplas på varandra i deponeringshålet. För tillverkning av bentonitblock finns i huvudsak två metoder att tillgå; en axlig pressning och isostatisk pressning. Båda metoderna studeras av SKB och målsättningen är att ta fram metoder och utrustningar som klarar av att i industriell skala framställa de block som behövs i djupförvaret.



Figur 6-19. Bild från pressningen av bentonitbufferten hos Hydroweld i Ystad.

För enaxlig pressning kan tillgänglig utrustning, ursprungligen avsedd för andra ändamål, användas för experimentell tillverkning av bentonitblock och ringar i full skala. En nackdel med enaxlig pressning är att block och ringar kan bli inhomogena och att storleken är begränsad, i dagsläget till en höjd på ca 0,5 m med hänsyn till storleken på befintlig press. Utförda försök visar dock att problemet med inhomogenitet kan lösas /6-8/. Enaxlig pressning kommer att tillämpas för pressning av de ca 100 block som behövs för försök i Äspölaboratoriet under 2000 och 2001. Block och ringar för Återtag, 28 stycken pressades vid årsskiftet 1999/2000. Blocken för Prototypförvaret kommer att pressas under senare delen av 2000 och 2001. Enaxlig pressning av buffertmaterialet kräver smörjmedel i pressformen för att minska friktionen mellan materialet och pressformen. Smörjmedlet måste sannolikt avlägsnas genom bearbetning efter pressningen för att inte förorena bufferten.

Isostatisk pressning innebär att blocken pressas ihop samtidigt i både radiell och axiell riktning. Fördelen med isostatisk pressning är att blocken kan göras stora, upp till 2,5 m långa, och att blocken blir homogena. En nackdel är att det sannolikt krävs mekanisk bearbetning efter pressning. Utrustning för isostatisk pressning av block och ringar i de dimensioner som krävs för bufferten kring kapslarna finns i dagsläget inte tillgänglig i Sverige.

Utvecklingsarbetet visar hittills att både isostatisk och enaxlig pressning kan användas för framställning av block till bufferten kring kapslarna men isostatisk pressning ger större frihetsgrader på blockens storlek. För små block är enaxlig pressning den lämpligaste metoden.



Figur 6-20. Isostatisk pressning av isolatorer vid Ifö Ceramics i Bromölla.

6.4.8.4 Val av återfyllnadsmaterial och teknik för inplacering

Återfyllnadsmaterial

Återfyllnadsmaterial utgörs av en blandning av endera bergkross eller kvartssand med bentonitlera, eller för vissa delar av tunnlarna av enbart bergkross eller kvartssand. I referensalternativet planeras återfyllnaden att utföras av en blandning av bergkross och bentonit. Mängden bentonitlera som behöver blandas in beror bland annat på grundvattnets salthalt. Vid höga salthalter krävs en större inblandning av bentonit för att samma hydrauliska konduktivitet och svällförmåga som vid låg salthalt ska erhållas. Man undersöker också möjligheten att återfylla med naturligt förekommande blandningar som innehåller höga halter av bentonit, speciellt är så kallad Friendland-lera föremål för prov /6-9/.

Teknik för återfyllning

Teknik för återfyllning av tunnlar har provats i Äspölaboratoriet. Återfyllningen packas i lutande skikt med vibroplatta vilket är en teknik som utvecklats vid tidigare försök. För att erforderlig densitet ska erhållas kan bentonithalten ökas något upp vid taket där packningen är svårare att utföra.

6.4.8.5 Buffert- och återfyllnadsmaterialets påverkan på driftsäkerheten

Buffert

Val av typ och storlek på bufferten påverkar inte säkerheten vid drift av förvaret. Tillverkning och inplacering av bentonitblock med större diameter än dagens 1 650 mm eller ökad längd medför inte några ökade svårigheter. Slutligt val av leverantörer av buffertmaterial kommer att ske i ett senare skede. Material kan hämtas både från USA och Europa.

Återfyllnad

Återfyllnadsmaterialet i deponeringstunnlarna ska under förvarets drift utgöra ett mothåll mot uppsvällning av bentonitlera från deponeringshålen. De återfyllnadsmaterial som diskuteras ovan uppfyller det kravet. Damning i underjordsmiljö kan utgöra ett arbetsmiljöproblem, inte minst när det gäller små kvartspartiklar som kan förorsaka silikos.

6.4.8.6 Buffert och återfyllnadsmaterialets påverkan på långsiktig säkerhet

Buffert

Buffertmaterialet ska utgöra en barriär mot spridning av radionuklider vid ett eventuellt läckage från en kapsel. Tjockleken på bufferten måste därför vara tillräckligt stor för att åstadkomma en fördröjning i förhållande till viktiga radionuklidens halveringstid. Utredningar som gjorts kring detta visar att detta krav uppfylls för till exempel plutonium vid en bufferttjocklek på 35 cm.

Det är också väsentligt att kapseln är skyddad för de rörelser som kan förekomma i berget under upp till 100 000 år. En bufferttjocklek på 35 cm bedöms utgöra ett fullgott skydd mot den storlek och frekvens på rörelser i berget som rimligen kan förväntas under förutsättning att man vid lokaliseringen undviker stora deformationszoner där större rörelser kan utlösas.

Buffertens egenskap som värmeisolator utgör en begränsning av dess tjocklek. En tjockare buffert leder till lägre värmeledningskapacitet och som en följd härav att färre bränsleelement kan deponeras i varje kapsel. En optimering måste därför göras med avseende på buffertens tjocklek och val och antal av bränsleelement i kapslarna.

Återfyllnad

En process som kan påverka buffertens egenskaper negativt är illitisering. Denna process kan uppkomma vid höga temperaturer och god tillgång på kalium. Användande av bergkross som återfyllnadsmaterial innebär att kalium tillförs från det krossade berget. Ett sätt att undvika detta skulle vara att använda kvartssand i stället för bergkross. De studier och utredningar som har gjorts /6-10/ kring denna fråga visar emellertid att illitisering är en mycket långsam process vid de temperaturer som råder i förvaret, även om det finns stora mängder kalium närvarande. Detta har lett till slutsatsen att illitisering inte utgör något hot mot buffertens beständighet vid användande av bergkross för återfyllnad av deponeringstunnlar.

6.5 Säkerhet och strålskydd i driftskedet

6.5.1 Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter

Driften av djupförvaret innebär mottagning, hantering och deponering av inkapslat bränsle. Hanteringen i anläggningen är utformad med inriktning mot personalens säkerhet och minimering av dosbelastningen. Konstruktionen av djupförvaret grundas på de säkerhets- och strålskyddsprinciper som tillämpas vid kärnkraftverken och andra kärntekniska anläggningar.

Kontroll av alla bergutrymmen är en viktig skyddsåtgärd för att eliminera risker i form av ras eller stenedfall. Regelbunden besiktning, skrotning och vid behov bergförstärkning är därför aktiviteter som ingår i det löpande underhållet av berganläggningarna.

Trafiken i anläggningen kommer att underkastas strikta regler för att undvika olyckor. Mötesplatser anordnas på lämpliga avstånd längs rampen. Underjordsdelen skyltas i lämplig omfattning för att underlätta körningen i anläggningen. Telekommunikation skall vara möjlig i hela underjordsdelen.

Tillträdet till underjordsdelen ska kontrolleras av säkerhetsskäl. Närhelst någon form av arbete förekommer under jord ska personal finnas närvarande i driftbyggnaden ovan jord med uppgift att ingripa på lämpligt sätt om något oplanerat skulle inträffa.

Ur strålskyddssynpunkt kommer arbetsmiljön att utformas enligt de regler och principer som gäller för kärntekniska anläggningar. Det innebär att alla stråldoser till personalen ska hållas under gällande gränsvärden, samt att doserna därutöver ska hållas så låga som det är praktiskt möjligt och rimligt, med hänsyn till det arbete som ska utföras. Dessa krav kommer att stå i fokus vid konstruktionen av djupförvarets alla anläggningar, utrustningar och maskiner.

Utbildning av personalen är en annan nyckelkomponent i strålskyddsarbetet. Erfarenhet från till exempel SFR kan här vara värdefull. Även personalkategorier som inte direkt arbetar med hantering och deponering av avfallet ska ges grundläggande utbildning. En allmän förståelse för de krav och principer som tillämpas vad gäller säkerhet och strålskydd bidrar både till arbetstillfredsställelse och till minskad risk att någon åtgärd vidtas som på något sätt motverkar dessa syften.

Allt radioaktivt avfall som ska föras till djupförvaret kommer att anlända inneslutet i transportbehållare. Hanteringen ovan jord begränsar sig till mottagning, lossning, eventuell tillfällig uppställning, och därefter nertransport av dessa behållare. De enda skyddsåtgärder som behövs för den personal som sköter hanteringen är att begränsa vistelse-tiden intill behållarna till den som behövs för att utföra arbetet.

Uttaget av kapslar från transportbehållare, den vidare transporten till deponeringsplatsen och hela deponeringssekvensen kommer att ske med utrustningar och maskiner som ger strålskydd för personalen. Delar av anläggningen kommer att zonindelas beroende på strålningsnivå. Strålningsnivåerna i olika utrymmen och till personalen kommer att kontrolleras med mätinstrument. Ingen luftburen aktivitet (utom möjligen radon från berget) eller ytkontaminering kommer att finnas, vilket innebär att ingen speciell skydds-klädsel erfordras.

Verksamheten kommer att planeras på ett sådant sätt att den årliga individdosen till personal inte ska överskrida 5 mSv.

Anläggningen ger inte upphov till utsläpp av luft- eller vattenburen radioaktivitet som härrör från avfallet. Däremot avgår radon med ventilationsluften. Mängderna beror på radonhalterna i berget på platsen för djupförvaret. Radon från berget måste beaktas på samma sätt som vid gruvverksamhet. Detta ställer speciella krav på ventilation.

Deponering och utbyggnad av nya deponeringstunnlar planeras pågå parallellt under den reguljära driften. Dessa verksamheter hålls avskilda från varandra, så att den förra bedrivs som verksamhet, förknippad med joniserande strålning, medan den senare bedrivs som konventionell gruvhantering. Verksamheterna avskiljs med portar som både medger flexibilitet och kontrollerad avskiljning.

6.5.2 Konsekvenser vid normal drift

Strålskydd och stråldos till personal

Dosbelastningen till personal härrör från olika moment i hanteringskedjan från mottagning av transportbehållare till deponering på avsedd plats i förvaret. De arbetsmoment som kan ge ett bidrag till personalens dosbelastning är hanteringen i terminalbyggnaden ovan jord och hantering och deponering med deponeringsmaskinen under jord. Däremot förväntas inte transporter mellan ovanjords- och underjordsanläggningarna i rampen, hantering i omlastningshall eller transporter till deponeringsmaskinen ge något bidrag till personaldosen bortsett från radonet. I normalfallet sker deponeringen fjärrstyrt och den ger då mycket begränsat bidrag till personalens dosbelastning.

Utsläpp från anläggningen

Anläggningen ger inte upphov till någon luftburen aktivitet som härrör från avfallet. Däremot kommer radon från berget att gå ut med ventilationsluften. Radon tillförs förvaret genom avgång från bergets ytor, från krossat berg och från inläckande grundvatten. Mängden radon som tillförs förvaret är beroende på radonhalten på den aktuella platsen för djupförvaret. Ventilationsanläggningen dimensioneras med hänsyn till de lokala förhållandena. Mätning av radon görs i olika utrymmen i anläggningen så att ventilationsflödet vid behov kan justeras.

Vatten som släpps ut från anläggningen härrör i huvudsak från berget. Vattnet innehåller inte radioaktivitet från avfallet, men däremot en viss mängd radon.

Avfallsproduktion

Driften av djupförvaret ger inte upphov till något radioaktivt avfall, eftersom ingen fri radioaktivitet förekommer i anläggningen.

6.5.3 Missödesanalys

Händelser som avviker från normal drift av djupförvaret indelas i störningar, som kan förväntas inträffa någon gång under anläggningens drifttid, och missöden, som beräknas vara mycket osannolika.

Störningar

Följande störningar har analyserats:

- fel i hanteringssystem,
- begränsad brand,
- fel i försörjningssystem (ventilation, bergdränage, bortfall av yttre nät, tryckluftsbortfall, datorbortfall),
- påverkan från bergdrivning,
- yttre påverkan (jordbävning, översvämning, åska).

De störningar som nämns ovan har analyserats med avseende på deras konsekvenser för hanteringen och stråldoser till personal. Resultaten av dessa analyser visar att ingen av störningarna leder till spridning av radioaktiva ämnen i anläggningen. Konsekvenserna för driften av anläggningen varierar från ingen påverkan alls till kortare eller längre driftavbrott i hanteringen beroende på störningens art och omfattning. Anläggningen är utformad så att störningar i deponeringen i en tunnel kan medföra att den tunneln stängs av under kortare eller längre tid, medan deponeringen fortsätter i andra tunnlar.

Missöden

De missöden i samband med drift av djupförvaret som analyserats är:

- tappad last,
- kollisioner,
- vältande fordon,
- brand.

Tappad last

Ett hanteringsmissöde kan leda till att lasten tappas vid flera moment av hanteringen.

Tappad last i rampen mellan ovanjords- och underjordsanläggningarna leder inte till att transportbehållare eller kapsel kommer till skada, och därmed inte till någon frigörelse av radioaktivitet. Arbetet med omhändertagande av den tappade behållaren i den trånga tunneln kan leda till en dosbelastning som motsvarar ca 1 % av den beräknade årsdosen till personalen vid normal drift.

Tappad last i omlastningshallen innebär att en kapsel som lyfts ur transportbehållaren kan utsättas för ett fall på maximalt 6 m. Ett sådant fall kan leda till skador på kapselns yta, men inte till att kapselns täthet påverkas. Felaktiga delar i lyftutrustningen kan åtgärdas utan att personalen utsätts för ökade stråldoser.

Tappad kapsel vid deponering kan leda till att kapseln antingen tappas ner i deponeringshålet, eller på dess bentonitkant. Kapseln bedöms inte bli skadad av ett sådant fall, men en okulär inspektion av den krävs. Troligen måste också bentonitblocken bytas ut, men detta räknas som ett konventionellt arbete.

Tappad transportbehållare kan inte leda till att kapseln med bränsle skadas, eftersom så höga lyft som skulle krävas för detta inte förekommer i anläggningen.

Om en kapsel tappats får man göra en bedömning av hur den påverkats av fallet. Om man kommer fram till att påverkan varit kraftig bör kapseln återföras till inkapslingsanläggningen för noggrann kontroll. Kontrollen syftar till att visa att det inte blivit någon spricka i svetsen som får betydelse i ett längre perspektiv.

Kollisioner och vältande fordon

Antalet transporter i rampen är inte så stort men några kommer dagligen att gå i vardera riktningen. Detta innebär att kollisioner mellan fordon i rampen inte kan uteslutas. Schemaläggning av transporterna, automatisk styrning och manuell övervakning ska dock säkerställa att sådana händelser inte inträffar. Konsekvenserna av en kollision blir små på grund av de låga hastigheterna i rampen. I det svåraste fallet välter ett fordon med samma resultat som beskrivits i avsnittet ovan om tappad last.

Brand

Underjordsanläggningen kommer att sektioneras i ett lämpligt antal brandceller. Cellerna avskiljs huvudsakligen med portar. Brandsektioneringen utförs så att alternativa utrymningsvägar finns i huvudparten av anläggningsdelarna. När alternativa utrymningsvägar inte kan ordnas på ett rimligt sätt kommer lokala, mobila räddningskammare att utplaceras. Centraldelen och transporttunnlarna förses med brandvattensystem med brandposter utplacerade på strategiska platser. Det ordinarie ventilationssystemet utformas så att det kan svara för rökevakning.

En större brand i underjordsanläggningen av förvaret kan, som vid all verksamhet under jord, leda till mycket stora svårigheter för personalen. Genom sektionering delas lokalerna under jord upp så att spridning av brand och brandgaser i görligaste mån undviks.

Brand i anläggningen har liten sannolikhet eftersom mängden brännbart material är liten. Eftersom förråd för drivmedel och reservkraftsdiesel är avskilt placerade på området ovan jord, är det huvudsakligen kablar och annan elmateriel samt fordon som utgör brandrisk i underjordsdelen. Huvudparten av fordonen är eldrivna och brandbelastningen utgörs då främst av däck och hydraulsystem.

Konsekvenserna av en brand i följande utrymmen under jord har analyserats:

- centralområdets bergshallar,
- rampen,
- transporttunnlarna,
- deponeringstunnlarna,
- schakt.

En brand i centralområdets ventilationshall kan medföra utrymning av samtliga bergslokaler. Vid brand i transporttunnlar, deponeringstunnlar eller deponeringsdel för långlivat låg- och medelaktivt avfall avbryts pågående deponeringsarbete och tunnlar utryms. Vid brand i centraldelens hall för eldistribution eller i rampen kan pågående deponeringsarbete avslutas i mån av tillgång på elkraft. Brand i deponeringsmaskinen kan leda till att maskinen inte fungerar. Då maskinen är försedd med strålskärm som skyddar omgivningen i alla moment kan provisoriska åtgärder vidtas så att kapseln som håller på att deponeras kan föras tillbaka. Maskinen kan sedan repareras till full funktion. Kapseln skyddas av strålskärmostuben och skadas inte av branden.

Sammanfattning

Störningar och missöden vid drift av djupförvaret leder inte till några utsläpp av radioaktivitet och därmed inte till några konsekvenser för omgivningen. Stråldoserna till personalen kan bli förhöjda när åtgärder ska vidtas med anledning av en händelse. En större brand i underjordsanläggningen kan, som vid all gruvhantering, leda till svåra konsekvenser för personalen. Sannolikheten för en sådan större brand bedöms emellertid vara mycket liten då brandbelastningen generellt är mycket liten och eftersom noggranna skyddsåtgärder kommer att vidtas.

6.6 Långsiktig säkerhet

6.6.1 Inledning

Systemanalysen ska enligt regeringens yttrande över FUD-program 95 "... medge en samlad säkerhetsbedömning av hela slutförvarssystemet inklusive hur principer för säkerhet och strålskydd praktiskt tillämpas i säkerhetsanalysarbetet" /6-12/. I föregående kapitel redovisas hur säkerheten i systemet upprätthålls under hantering vid såväl normal drift som vid eventuella störningar och missöden.

Analyser av den långsiktiga säkerheten för ett djupförvar har tidigare redovisats i KBS-3-rapporten /6-13/ och i SKB 91 /6-14/. En säkerhetsanalys, SR 97 /6-1/, har publicerats under 1999. SR 97 har varit föremål för en internationell granskning och preliminära synpunkter har publicerats /6-15/.

6.6.2 Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter

Djupförvaret ska i första hand isolera avfallet. I andra hand, om isoleringen av någon anledning skulle brytas, ska förvaret fördröja transporten av radionuklider. Säkerheten åstadkoms genom den så kallade flerbarriärprincipen enligt figur 6-1. Denna princip innebär att förvaret byggs upp av flera barriärer som stöder och kompletterar varandra:

- Bränslet placeras i korrosionsbeständiga kopparkapslar med en insats av järn som ger mekanisk hållfasthet.
- Kapslarna omges av ett lager av bentonitlera som skyddar kapseln mekaniskt vid mindre berg rörelser och hindrar korroderande ämnen att komma in till kapseln. Leran adsorberar också effektivt radioaktiva ämnen som eventuellt frigörs om kapslarna skulle skadas.
- Kapslarna med omgivande bentonitlera placeras på ca 500 m djup i urberget. Här råder långsiktigt stabila mekaniska och kemiska förhållanden.
- Om någon kapsel skulle skadas utgör bränslets och de radioaktiva ämnens kemiska egenskaper, t ex deras svåröslighet i vatten, kraftiga begränsningar för transport av radioaktiva ämnen från förvaret till markytan. Detta gäller speciellt de långsiktigt farligaste ämnena som americium och plutonium.

Säkerheten hos förvaret ska därmed vara tillräcklig även om någon barriär skulle vara defekt.

En annan princip är att i möjligaste mån använda i naturen förekommande material i förvaret, t ex koppar till kapselns hölje och bentonitlera till bufferten. Genom att välja sådana material blir det möjligt att bedöma och utvärdera deras långsiktiga stabilitet och uppförande i ett djupförvar med hjälp av kunskaper från naturliga förekomster. Av samma skäl strävar man efter att förvaret ska störa de naturliga förhållandena i berget så lite som möjligt, framför allt genom att minimera kemisk och termisk påverkan som förvaret ger i berget.

6.6.3 Säkerhetsanalyser

Det praktiska förverkligandet av ett djupförvar är en stegvis process där informationen successivt byggs upp och detaljeras inför de beslut som för processen framåt. Redovisningen av säkerhetsanalyser utgör därvid väsentliga delar av beslutsunderlaget. Både behovet av ett detaljerat säkerhetsunderlag och möjligheterna att genomföra detaljerade analyser är beroende av det arbetsskede man befinner sig i. I ett tidigt skede, t ex när principerna för förvarets funktion ska väljas, är säkerhetsanalyserna generiska och förenklade. I takt med utformning och lokalisering fastställs, detaljeras och fördjupas underlaget, och säkerhetsanalyserna kan göras allt mer specifika.

Tidigare säkerhetsanalyser

KBS-3

I KBS-3-rapporten presenterades en säkerhetsanalys för det planerade slutförvarets långsiktiga säkerhet /6-13/. Slutsatserna från studien var att använt kärnbränsle från de svenska kärnkraftverken kan hanteras och slutförvaras på ett sätt, som tillgodoser mycket högt ställda krav på säkerhet och strålskydd. Vidare konstaterades i rapporten att hante-

ringen och slutförvaringen kan genomföras med känd och i Sverige tillgängligt teknik och att berggrunden i Sverige på flera ställen har den beskaffenhet som krävs för ett säkert slutförvar.

KBS-3-rapporten blev föremål för en ingående internationell granskning. Regeringen fann att ”metoden i sin helhet i allt väsentligt befunnits kunna godtas med hänsyn till säkerhet och strålskydd”.

SKB 91

Syftet med SKB 91 var främst att belysa berggrundens betydelse för säkerheten hos ett djupförvar /6-14/. Slutsatsen från analysen var att ett förvar anlagt djupt ner i svenskt urberg och med långtidsstabla tekniska barriärer med god marginal uppfyllde de av myndigheterna föreslagna säkerhetskraven. Säkerhetsanalysen visar också att säkerheten hos förvaret endast i mindre utsträckning är beroende av det omgivande bergets förmåga att fördröja och sorbera utläckande radioaktiva ämnen. Bergets funktion är i första hand att under lång tid ge stabila mekaniska och kemiska förhållanden så att de tekniska barriärernas långtidfunktion inte äventyras.

SR 97

Säkerhetsanalysen SR 97 /6-1/ är baserad på samma utformning av djupförvaret som redovisas i avsnitt 6.4.2 och på platsdata från tre olika platser där SKB tidigare gjort geovetenskapliga undersökningar. Analysen ger en förståelse för säkerhetsfrågorna och demonstrerar tillgängliga metoder, dataunderlag och modeller inför valet av två platser för platsundersökningar.

SR 97 innehåller ett antal nya inslag jämfört med tidigare säkerhetsanalyser som till exempel:

- en systematisk dokumentation och behandling av samtliga viktiga processer i säkerhetsanalysen och en ny form för schematisk beskrivning av hela systemet av processer,
- en systematisk och enhetlig behandling av brister i numeriska data för alla processer som direkt berör beräkningar av radionuklidtransport,
- studier av händelseförloppet inuti en kapsel med defekt kopparhölje,
- en jämförelse av tre matematiska modeller för beräkning av vattenflöde och transport av radionuklider i berggrunden för förhållandena under Äspö,
- en ny metod för att bedöma effekterna av jordskalv.

Flera av dessa områden kommer att utvärderas och vidareutvecklas i framtiden.

Säkerhetsanalysen och den metodik och andra verktyg som använts för att genomföra den kommer att utvärderas både internt på SKB och av svenska myndigheter. SKI och SSI har låtit en internationell expertgrupp granska analysen. Gruppen har funnit att analysen ”i huvudsak är välgjord och har bra förutsättningar att illustrera säkerheten i ett slutförvar av KBS-3-typ” /6-15/. Expertgruppen rekommenderar en fördjupning i det framtida arbetet på vissa punkter. SKI och SSI gör nu en egen granskning som beräknas vara klar i november 2000.

Kommande säkerhetsanalyser

De säkerhetsanalyser som genomförts hittills har baserats på generella förhållanden där olika parametervärden och data har varierats. De gjorda säkerhetsanalyserna har visat att det är möjligt att bygga ett geologiskt djupförvar enligt KBS-3-metoden som uppfyller de ställda kraven vad gäller förvarets långsiktiga säkerhet. Analyserna har också haft till syfte att fastställa kriterier för lokalisering och tekniska barriärer, och att fastställa hur stora variationer som är möjliga med bibehållen säkerhet.

Lokaliseringsprocessen ger efter hand tillgång till allt fler platsspecifika data som kan användas i säkerhetsanalysen och utgöra ett underlag för SKB:s bedömning av olika platsers lämplighet för lokalisering av ett djupförvar. Säkerhetsanalysen kommer därmed att utgöra ett viktigt beslutsunderlag för SKB och, i samband med tillståndsprovning, för myndigheterna vid lokalisering av djupförvaret till en bestämd plats.

Säkerhetsanalyserna kommer successivt att revideras när dataunderlaget kompletteras, t ex:

- inför val av en plats för detaljundersökningarna och byggande av tunnlar till förvarsdjup, när stora platsspecifika datamängder finns tillgängliga från yt- och borrhålsundersökningar,
- inför den inledande driften när data finns från de geovetenskapliga undersökningarna från schakt och tunnlar samt från faktiska deponeringspositioner,
- inför den reguljära driften när data finns om faktiska bränslemängder och de tekniska barriärerna i varje deponeringshål och det finns erfarenhet från den inledande driften,
- inför förslutning av förvaret när en full datauppsättning om avfallet, återfyllnad och deponeringshål finns tillgänglig.

6.6.4 Faktorer vid anläggningarnas drift som kan påverka den långsiktiga säkerheten

6.6.4.1 Tillverkning, hantering och förslutning av kapsel

Den grundläggande principen för säkerheten i djupförvaret är att isolera det använda bränslet. Denna isolering ska åstadkommas genom inneslutning i täta kapslar som deponeras i kristallin berggrund på en utvald plats. Detta ställer krav på att kapslarna är täta vid deponeringen och förblir täta under lång tid. För att detta krav ska uppfyllas måste kvaliteten vid drift och underhållsarbeten vid kapseltillverkning och inkapslingsanläggning vara hög.

Vid dimensionering och utformning av kapseln har kriterier ställts på kapselns initiala täthet vid deponering. Enligt dessa kriterier ska kapslarna tillverkas, förslutas och kontrolleras med metoder som garanterar att mindre än 0,1 % av de färdiga kapslarna innehåller fel som är större än vad acceptanskriterierna för den oförstörande provningen tillåter.

För att de ovan ställda kraven ska uppfyllas utarbetas konstruktionsförutsättningar för tillverkning och hantering av kapslar. Dessa förutsättningar innebär bland annat att:

- kapslar ska tillverkas med tillförlitliga metoder för produktion och kontroller,
- metoder ska finnas för avsyning och kontroll av kapslarnas status efter transport till inkapslingsanläggningen,
- efter förslutning av kapselns lock med elektronstrålesvetsning ska det vara möjligt att kontrollera svetsen med oförstörande provning.

Om kontrollen av förslutning visar att svetsen inte är godkänd ska kapseln i första hand svetsas om. Skulle en omsvetsning inte gå att utföra ska kapseln återföras för avtagning av lock och urtagning av bränsle. Detta placeras sedan i en ny kapsel.

För de olika momenten vid tillverkning och förslutning av kapslar utarbetas ett kvalitetsprogram omfattande kontrollmetoder och acceptanskriterier. Kapslarnas slutliga egenskaper dokumenteras genom de kontroller som genomförs. Data från kontrollredovisningen överförs till säkerhetsanalysen tillsammans med data om de bränsleelement som satts in i respektive kapsel. Särskilda rutiner för kontrolldokumentation för kapsel med tillhörande bränsleelement utarbetas för detta ändamål och metoder tas fram för märkning av kapseln för identifiering.

6.6.4.2 Kvalitetssäkring i deponeringskedet

Krav som ställs vid byggande och drift av djupförvaret med avseende på dess långsiktiga säkerhet utarbetas med utgångspunkt från de platsspecifika säkerhetsanalyserna. Kontrollprogram för uppföljning och dokumentation upprättas innan verksamheten påbörjas. Kriterier upprättas för när deponeringshål, deponeringstunnlar eller avsnitt av förvaret ska överges på grund av att bergets egenskaper inte uppfyller de ställda kraven.

Vid Äspö-laboratoriet är ett prototypförvar med sex fullstora kapslar under uppbyggnad. Ett led i det arbetet är upprättandet av en plan för kvalitetssäkring av experimentet. Detta kommer, tillsammans med SKB:s generella kvalitetssystem, att utgöra en grund för det kommande kvalitetsarbetet vid driften av djupförvaret. Både deponering och återfyllning kommer att följas med ett kontrollprogram, som visar att uppställda krav är uppfyllda.

Främmande material tillförs djupförvaret under byggnation och drift. Med främmande material avses i detta sammanhang material utöver barriärmaterial i kapsel, buffert och återfyllnad. Exempel på främmande material är bergförstärkningar, spill av hydraulolja, dieselolja, batterisyra etc, restprodukter från sprängningsarbeten, organiskt material från mänsklig aktivitet och ventilationsluft.

Uppskattningar har gjorts över vilka ämnen som kan förekomma i detta sammanhang och kvantiteterna av dessa. Sådana ämnen som kan ha en negativ påverkan på den långsiktiga säkerheten kan begränsas antingen genom förebyggande åtgärder mot spill, eller genom ett val av annan teknik som begränsar mängderna av dessa ämnen på ett sådant sätt att den långsiktiga säkerheten upprätthålls. Arbeta pågår för närvarande med att identifiera, kvantifiera och analysera konsekvenserna av främmande material från förvaret och att vid behov planera för åtgärder som reducerar eller helt eliminerar icke önskvärda material.

6.6.4.3 Slutsatser beträffande driftfaktorer och långsiktig säkerhet

Systemet för lagring, hantering och deponering av använt kärnbränsle ska vara utformat så att såväl den långsiktiga säkerheten som säkerheten under drift säkerställs. En väsentlig faktor vid säkerställande av den långsiktiga säkerheten är att barriärfunktionerna upprätthålls under lång tid efter förslutning av förvaret. Genom säkerhetsanalysen identifieras faktorer som under drift har påverkan på den långsiktiga säkerheten och vilka avvikelser som kan tillåtas utan att säkerheten äventyras. Program upprättas därefter för uppföljning och dokumentation av att de olika hanterings- och tillverkningsmomenten uppfyller de i förväg ställda kraven.

SKB har ett fungerande kvalitetssystem för de verksamheter som idag bedrivs inom företaget. Dessa kommer, tillsammans med bl a erfarenheter från experiment vid Äspölaboratoriet, att ligga till grund för ett detaljerat program för kvalitetssäkring och kontroll av den framtida verksamheten. Spårbarhet av dokumentation och en diskussion om under hur långt fram i tiden dokumentationen ska finnas tillgänglig utgör en viktig del av detta arbete.

Kapseln ska ha en långsiktigt isolerande funktion. Tillverkning av kapslar och förslutning av dessa ska därför göras på ett sådant sätt att deras täthet garanteras med en sådan marginal att de övriga barriärerna utgör en fullgod säkerhet mot oupptäckta defekter hos kapslarna. Dokumentation av hanteringen, liksom märkning av de enskilda kapslarna och uppföljning av var i djupförvaret varje enskild kapsel deponeras utgör ett viktigt led i detta arbete.

Driften av djupförvaret ska ske på ett sådant sätt att den långsiktiga säkerheten uppfylls, utan att säkerheten under drift äventyras. Detta berör såväl hanteringen vid byggande och deponering som de främmande material som tillförs förvaret under dess drift och som i möjligaste mån ska avlägsnas före förslutning.

6.7 Safeguards

6.7.1 Metoder för safeguards

För inkapslat bränsle i ett djupförvar är det i praktiken omöjligt att på nytt verifiera kapslarnas identitet eller innehåll. För djupförvaret under drift krävs därför en god kontroll av flödet av klyvbart material till och från förvaret, samt möjlighet att genom inspektioner verifiera att förvaret byggts i enlighet med ritningar och att inga dolda utrymmen finns där kapslar skulle kunna avledas. När djupförvaret förslutits räcker det med kontroll på markytan eller från luften (t ex med satelliter) av att inget intrång görs i förvaret.

Ur safeguardssynpunkt karakteriseras det svenska systemet för hantering och djupförvaring av använt kärnbränsle av att den minsta enhet som kan kontrolleras stegvis förändras. När kapseln har förts ner och deponerats i djupförvaret försvinner i praktiken möjligheten att identifiera den eller att verifiera dess innehåll. Från denna tidpunkt kan redovisningsenheten ses som hela djupförvaret.

Dokumentation

All hantering av kapslar, samt deponering dokumenteras noggrant i safeguardsredovisningen. Uppgifter om innehållet av klyvbart material baseras till övervägande delen på uppgifter som lämnats från reaktordriften och från inkapslingen.

Mätningar och övervakning

När kapseln placeras i en transportbehållare kan sigill sättas på behållaren. Detta öppnas först när kapseln lastas ur i djupförvaret innan den förs över till deponeringsmaskinen.

För kontroll av att kapslar inte transporteras upp ur djupförvaret förses transportvägarna med strålningsmätare, som kan detektera om en behållare som passerar är fylld eller tom, samt med flödesdetektorer som kan ange i vilken riktning färden sker.

Märkning

Om man på något sätt tappar kontinuiteten i kunskapen om hur kapslarna har hanterats, gäller det att återställa den. Det kan till exempel gälla om ett sigill har brutits. För att återställa kunskapen behövs någon form av unik märkning på kapslarna, t ex i form av ett "fingeravtryck".

Verifiering av anläggningens utformning

En viktig komponent i systemet för safeguardskontroll är att kunna verifiera att anläggningen har byggts i enlighet med de ritningar som presenterats, så att det inte finns vägar ut från anläggningen som inte har angivits, eller att det förekommer utrymmen där annan verksamhet förekommer än vad som har angivits.

Speciellt viktigt och komplicerat är detta för själva djupförvaret, som dels byggs ut successivt samtidigt som vissa delar stängs till, dels inte har några ytterväggar som kan inspekteras. Detta innebär att inspektioner för att verifiera förvarets utformning kommer att behöva genomföras vid regelbundna tillfällen. En viktig aspekt vid dessa inspektioner är att förvissa sig om att inga icke angivna tunnlar byggts i närheten av förvaret.

Övervakning av ett förslutet djupförvar

Under driften av djupförvaret är kontrollen av flödet till och från anläggningen, samt möjligheten att verifiera anläggningens utformning de viktigaste komponenterna i safeguardskontrollen. Efter att djupförvaret har förslutits sker övervakningen i första hand från markytan eller från luften. Detta kan ske genom satellit eller flygfotografering, geofysiska metoder och genom besök på platsen av inspektörer från tid till annan.

6.7.2 Sammanfattning beträffande safeguards

I enlighet med Sveriges internationella åtaganden står använt kärnbränsle under safeguardskontroll, som administreras av IAEA. Safeguardskontrollen syftar till att i tid upptäcka om ett land försöker avleda material för att kunna tillverka kärnvapen.

Safeguardskontrollen upprätthålls dels genom att allt innehav av klyvbart material regelbundet rapporteras till IAEA, dels genom att innehållet verifieras genom regelbundna

inspektioner. En annan viktig komponent i kontrollsystemet är att IAEA har god kännedom om anläggningarna samt att övervakningsutrustning finns installerad på lämpliga ställen.

För reaktorerna och CLAB finns redan ett etablerat safeguardssystem. För inkapslingsanläggning och djupförvar behöver ett nytt system etableras. Detta kan i stor utsträckning baseras på befintliga safeguardssystem. I vissa avseenden kan dock behov finnas att utveckla ny teknik. Detta beror främst på att det inte längre är möjligt att genom mätningar bestämma bränslets innehåll av klyvbart material efter inkapsling och än mindre efter att kapslarna har deponerats. Därför är det nödvändig att det finns ett antal olika och av varandra oberoende komponenter i safeguardssystemet som garanterar en kontinuerlig kunskap om förhållandena i slutförvaret, så att reverifiering kan undvikas.

Arbete pågår internationellt för att definiera kraven på safeguardssystemet. Speciellt gäller detta för djupförvaret. Inom IAEA har man konstaterat att även ett förslutet djupförvar behöver stå under safeguardskontroll, så länge motsvarande kontroll sker på andra områden. En kombination av metoder såsom satellitövervakning eller omgivningsmonitoring, samt besök på platsen av inspektörer kan tillämpas för att tillförsäkra att förvarets integritet inte har brutits. Övervakning av slutförvaret är alltså tänkt att ske enbart från markytan.

En viktig komponent vid utformningen av ett safeguardssystem för framtiden är det pågående arbetet att öka effektiviteten i IAEA:s safeguardsarbete genom att ett "Förstärkt Safeguardssystem" införs. Systemet bygger på att man ska kunna använda andra metoder än konventionell inventarietkontroll och övervakning för att upptäcka om ett land genomför upparbetning, som inte har rapporterats.

6.8 Miljöpåverkan

6.8.1 Inledning

Arbetsmiljön när anläggningarna ovan jord byggs kommer att bli den gängse för större byggarbetsplatser. Bergarbetena för underjordsdelen kan arbetsmässigt jämföras med tillredningsfasen i en gruva. Djupförvaret utgör dock ett ganska litet projekt, speciellt i jämförelse med vanlig gruvverksamhet. Därav följer att miljöpåverkan blir av ganska liten omfattning. Både den markyta som behöver tas i anspråk och den uttagna bergvolymen är relativt sett små. Dessutom medför den långa drifttiden att förändringarna per år blir mycket små.

6.8.2 Markanvändning och landskapsbild

Markbehov och generell miljöpåverkan från såväl djupförvaret som eventuell utbyggnad av infrastrukturen i anslutning till det är faktorer som beaktas vid val av lämplig plats för ett djupförvar. Den miljöpåverkan som ett djupförvar kan ge upphov till utreds också i de förstudier som genomförts och pågår i olika kommuner.

Djupförvarets totala arealbehov beräknas uppgå till 0,1–0,3 km² exklusive upplag för bergmassor.

6.8.3 Grundvatten

Vid djupförvaret sker en lokal avsänkning av grundvatten under byggande och drift. Avsänkningen kan medföra att vattentillgången i brunnar på någon eller några kilometers avstånd från förvaret påverkas. Inom ett mindre område kring djupförvaret kan vatteninnehållet i ovanliggande jordar, och därmed känslig växtlighet, komma att påverkas. En tid efter förvarets förslutning beräknas grundvattennivån bli återställd.

6.8.4 Förbrukning av naturresurser

Bentonitlera och eventuellt också kvartssand kommer till användning som återfyllnads-material vid djupförvaret. Ca 15 000 ton bentonitlera förbrukas per år under djupförvarets reguljära drift. Denna kan importeras från bland annat medelhavsområdet och USA. Kwartssand utgör inte något huvudalternativ som återfyllnads-material, men kan vid behov hämtas från t ex södra Östersjön.

6.8.5 Annan miljöpåverkan

Buller uppkommer från djupförvarets ventilationssystem. Ljuddämpning används för att minimera ljudnivåerna från ventilationsbyggnaderna. Bullernivåerna kommer att hållas under gällande riktvärden för industribuller.

Sprängning och krossning av bergmassor ger upphov till buller och vibrationer. Störningarna från krossning av bergmassor kan begränsas genom att krossningen sker under jord eller i ljuddämpande byggnad.

Trafiken och speciellt de tunga transporterna ger upphov till buller i omgivningen. Påverkan på omgivningen beror på vilka transportmedel som används och om transporterna går genom störningskänsliga områden.

6.9 Sammanfattning och utvärdering

Ett djupförvar för använt kärnbränsle i enlighet med KBS-3-metoden kan utformas på flera olika sätt. Frihetsgraderna är många och utformningen påverkas dels genom optimering av de tekniska systemen, dels genom nödvändig anpassning till rådande geologiska förhållanden på aktuell plats för djupförvaret för att kraven på säkerhet under uppförande, drift och långsiktig säkerhet hos det förslutna djupförvaret ska uppfyllas.

Utformningen av djupförvaret kommer att fastställas i en stegvis process. De inledande skedena är baserade på generiska data om svensk berggrund på 500 meters djup och bedömda förhållanden avseende infrastruktur och andra förhållanden på markytan. Layouten är i detta skede generell och behäftad med vissa osäkerheter. När platsspecifika data föreligger från vald plats kan utformningen och läget av olika anläggningsdelar detaljeras.

Djupförvarets unika funktion kräver noggranna studier av faktorer av betydelse för utformningen och byggandet av förvaret. En viktig skillnad jämfört med traditionella projekt är att mycket kunskap kommer att tillföras projektet från SKB:s omfattande FUD-verksamhet samt internationella samarbete.

Slutligt val av olika lösningar som t ex schakt eller ramp liksom placering av de olika förvarsdelarna i förhållande till varandra och till ovanjorddelen är beroende av förutsättningarna på den valda platsen. Detta kommer att ske under genomförandet av platsundersökningarna på aktuella platser.

Inplacering av deponeringstunnlar i deponeringsområdena och av deponeringshål i tunnlar kommer slutligen att bestämmas med utgångspunkt från bergets egenskaper på platsen, vilket gör att den detaljerade utformningen av förvaret bestäms när ingående kunskaper finns från detaljundersökning och pågående utbyggnad.

Den relativt långa tid som deponering och byggande av förvaret pågår, ca 40 år, innebär också att den tekniska utvecklingen kan leda till förändringar i utformning under drifttiden.

6.10 Referenser

- 6-1 SR 97 Djupförvarets säkerhet efter förslutning. SKB rapport, september 1999.
- 6-2 Vilka krav ställer djupförvaret på berget? SKB rapport R-00-15, maj 2000.
- 6-3 Winberg A. Förläggning av ett förvar för använt kärnbränsle på 700–2 000 m djup. Sammanställning av för- och nackdelar. SKB Djupförvar, Projektrapport PR D-96-002, Stockholm, mars 1996.
- 6-4 Johnsson Å, Andersson C. Erfarenheter från borrning av deponeringshål med TBM i Äspö. SKB rapport, under sammanställning.
- 6-5 Autio J, Kirkkomäki T. Boring of full scale deposition holes using a novel blind boring method. SKB rapport TR 96-21, Stockholm, October 1996.
- 6-6 Emsley S, Olsson O, Stenberg L, Alheid H-J, Falls S. ZEDEX – A Study of Damage and Disturbance from Tunnel Excavation by Blasting and Tunnel Boring. SKB Technical Report 97-30, Stockholm, December 1997.
- 6-7 Pusch R. Is montmorillonite-rich clay of MX-80 type the ideal buffer for isolation of HLW? SKB report, TR-99-33, Stockholm, December 1999.
- 6-8 Johansson L-E. Compaction of full size blocks of bentonite for the KBS-3 concept. Initial tests for evaluation of technique. SKB report, R-99-66, Stockholm, December 1999.
- 6-9 Pusch R. Backfilling with mixtures of bentonite/ballast materials or natural smectitic clay? SKB report, TR-98-16, Stockholm, October 1998.
- 6-10 FUD-program 98. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning och utveckling och demonstration av inkapsling och geologisk förvaring. SKB, Stockholm, september 1998.
- 6-11 Lönnerberg B, Pettersson S. Säkerheten vid drift av djupförvaret. SKB rapport R-98-13, Stockholm, september 1998.
- 6-12 Program för forskning m m angående kärnkraftsavfallets behandling och slutförvaring. Miljödepartementet – Regeringsbeslut 25. Stockholm, 1996-12-19.

- 6-13 Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle – KBS-3. Del IV. SKBF/KBS, Stockholm, maj 1983.
- 6-14 SKB 91. Slutlig förvaring av använt kärnbränsle. Berggrundens betydelse för säkerheten. SKB, Stockholm, maj 1992.
- 6-15 An International Peer Review of Safety Report 97: Post-closure Safety of a Deep Repository for Nuclear Spent Fuel in Sweden (preliminärt namn). SKI rapport baserad på NEA/OECD preliminära granskningsrapport beträffande SR 97. Under tryckning.

7 Återtag och mellanlagring av inkapslat bränsle

7.1 Inledning

Under den inledande driften i djupförvaret planeras deponering av 5–10 % av den totala mängden använt kärnbränsle. Detta motsvarar 200 till 400 kapslar med använt kärnbränsle. Parallellt sker en utvärdering vilket bland annat innebär att säkerhets-rapporterna för djupförvaret uppdateras med de erfarenheter som framkommit under denna driftperiod. Behovet att genomföra ändringar i metoder för byggande av bergutrymmen eller barriärer och för kontroll av dessa analyseras. Sådana ändringar kan även vara en följd av den tekniska utvecklingen där andra fördelaktiga metoder kan ha tillkommit. Resultaten av utvärderingen utgör underlag för ett beslut att söka tillstånd att fortsätta deponeringen av det totala antalet kapslar under den reguljära driften. Om man i stället vid denna utvärdering finner det lämpligt att återta deponerade kapslar med använt kärnbränslet från förvaret, måste teknik för detta och anläggningar för mellanlagring av bränslet finnas tillgängliga. Återtag av kapslar ska också vara möjligt i ett senare skede, under reguljär drift av förvaret eller efter dess förslutning.

Ett skäl till återtag kan till exempel vara en framtida önskan att använda bränslets energi-innehåll i form av uran och plutonium. Det är också möjligt att ny och avsevärt bättre teknik för omhändertagande av använt kärnbränsle framkommer, eller att nya krav ställs som den använda metoden med djupförvaring inte visar sig uppfylla.

Tidpunkten för ett beslut om återtag är avgörande för hur tekniskt komplicerat och tidskrävande genomförandet blir. En väsentlig faktor är också om återtagets görs medan CLAB och inkapslingsanläggningen fortfarande är i drift. Dessa anläggningar kan då utgöra lämplig lokalisering för ett mellanlager för kapslarna, vilket ger fördelar då redan fungerande hjälp- och serviceutrustningar kan utnyttjas.

Med hänsyn till tidsperspektivet ska förvaret också uppfylla etiska krav. Under åren har särskilt två krav framhållits:

- Hanteringen av avfallet från dagens energiproduktion ska inte på ett otillbörligt sätt belasta framtida generationer. Detta innebär att utbyggnaden av förvaret ska genomföras utan onödig fördröjning, och förvarets säkerhet efter förslutning ska inte kräva återkommande tillsyn och underhåll.
- Framtida generationer ska ha möjlighet att under eget ansvar fatta beslut om åtgärder som kan påverka förvaret, till exempel att utnyttja resurser i förvaret eller att förändra hur avfallet ska förvaras.

Vid alla beslut som tas under osäkerhet är det viktigt att klargöra möjligheterna att återgå till ett tidigare läge, om detta skulle vara befogat. Möjligheten att kunna återgå till och återställa ursprungliga förhållanden vid olika steg i hantering och deponering betecknas återtagbarhet.

Deponeringen av använt kärnbränsle kommer att omfatta långa tidsperioder. Återtagbarhet i alla led i all hantering och förvaring av kärnbränsle är därför viktigt. SKB:s ambition är dock att återtag inte skall behöva genomföras. Den långsiktiga säkerheten för förvaret, baseras på flera barriärer som utnyttjar naturliga stabila material, har gett en

utformning som ger hög säkerhet och god återtagbarhet både före och efter förvarets förslutning. Det är SKB:s mening att inga åtgärder ska vidtagas i hanteringen av bränslet, och inga arrangemang ska byggas in i förvaret, som onödigtvis försvårar ett återtag. På analogt sätt ska möjligheten till återtag inte främjas på bekostnad av förvarets förmåga att uppfylla kraven på säkerhet och strålskydd.

Inom EU:s program för forskning har synen på återtagbarhet för deponerat kärnbränsle i de europeiska länderna granskats och jämförts /7-1/.

7.2 Hanteringsgång vid friläggning och återtag

7.2.1 Allmänt

Hanteringsgången och vid återtag av deponerade kapslar påverkas starkt av när i tiden återtaget genomförs. Återtag direkt efter deponeringen kan ske med den utrustning som deponerade kapseln. Processen blir mest omfattande om buffertmaterialet börjat svälla. Då krävs en friläggning genom borttagande av buffertmaterialet för att möjliggöra lyft av kapseln ur deponeringshålet. Har hela deponeringstunneln återfyllts och förslutits ökar givetvis arbetsinsatsen för att kunna genomföra ett återtag. Har hela förvaret förslutits efter avslutad deponering, ökar naturligtvis svårighetsgraden och arbetsinsats och kostnader väsentligt.

7.2.2 Återtag i anslutning till deponering av kapseln

I händelse av felfunktion under deponeringsprocessen kan kapseln återtas med samma utrustning som används vid deponeringen.

Bentoniten kring den deponerade kapseln absorberar vatten och börjar svälla och formar en plastisk skyddsbarriär kring kapseln. Sedan svällningen börjat kan friktionen bli för stor för att kapseln enkelt ska kunna lyftas. Försök planeras vid Äspö för att ta bort bentoniten och återföra kapseln till en simulerad strålskärm efter det att bentoniten vattenmättats och svällt /7-2, -3, -4/. I djupförvaret kommer strålningsnivån kring den oskärmade kapseln endast att medge mycket begränsade manuella åtgärder i dess närhet varför strålskärmning under friläggning, upplyft samt transport förutses.

7.2.3 Återtag efter återfyllning av deponeringstunnlarna

När alla deponeringshål har fyllts återfylls deponeringstunneln och öppningen mot transport och stamtunneln avtätas. Om återtag behöver göras i detta skede måste återfyllningen och avtätningar tas bort. Försök som innefattar utgrävning av återfyllnadsmaterial har genomförts i Äspö laboratoriet med gott resultat.

7.2.4 Återtag efter återfyllning av transporttunnlar och schakt

När alla deponeringstunnlar har återfyllts kommer stamtunnlar, transporttunnlar och bergtrum också att återfyllas och djupförvaret förseglas. Sekvensen för detta beror på förvarets geometri och sektionering. Eftersom deponeringsmetoden baseras på kapslar med långsiktig motståndskraft, förväntas inget läckage på grund av korrosion. Det betyder att ett återtag inom en rimlig period av institutionell kontroll är genomförbart utan andra strålningsproblem än de som hänger samman med kapselhanteringen, som nämnts ovan.

Beroende på när ett återtag startas kommer skilda säkerhetsåtgärder för öppningen av förvaret att krävas. Ny utrustning kan behövas och utökad ventilation kan krävas på grund av en förhöjd temperatur i berget. En logisk gräns för avsiktliga ingrepp ges i praktiken av den tid under vilken informationen om avfallet och platsen kommer att upprätthållas.

Förvarets goda geometriska stabilitet kräver inga speciella åtgärder för att exakt peka ut positionen för kapslarna och hur deras återtag ska ske. Inga barriärer har formats eller säkerhetssteg vidtagits för att försvåra återtag.

Återöppnande av ett förslutet förvar

Om förvaret förslutits krävs att återfyllnadsmaterial i bergrum och tunnlar avlägsnas, och att anläggningen läns pumpas. Att avlägsna återfyllnadsmaterialet är väsentligt enklare än det var att ursprungligen bygga tunnarna. Omfattande åtgärder kommer att krävas för inspektioner och bergförstärkningar i tunnelsystem och bergutrymmen. Därefter måste hanteringsutrustning för återtag, som till viss del är likadan som den som använts vid deponering, installeras. Hela denna process sker som konventionell icke radiologisk verksamhet. Troligen måste en stor del av de tidigare anläggningarna ovan jord återetableras eller nya uppföras för verksamheten.

Återöppnande av förslutna deponeringstunnlar

För att man ska nå fram till deponeringshålen måste återfyllnadsmaterialet i deponeringstunnlarna avlägsnas. Denna hantering är också icke-radiologisk och skiljer sig inte principiellt från återöppnandet av övriga underjordsdelar av förvaret. Inspektioner av väggar och tak i deponeringstunneln kommer att krävas inklusive olika former av bergförstärkning, beroende på hur lång tid som förflutit sedan förslutningen.

Återtag av kapslar ur deponeringshål

För att kapslarna ska kunna återtas ur deponeringshålen måste först bentoniten avlägsnas så att kapseln kan lyftas ur. Denna hantering måste ske strålskärmad med hänsyn till strålningen från kapseln. Avlägsnande av löst material i deponeringshålet kan ske med konventionell utrustning så att bentonitblocken friläggs.

Under de senaste åren har ett antal metoder för att avlägsna bentonit studerats /7-5/. Prov i full skala med inaktivt material planeras vid Äspölaboratoriet. De metoder som studerats kan indelas i fyra huvudkategorier: mekaniska, hydrodynamiska, termiska och elektrotekniska metoder. Av dessa har den hydrodynamiska metoden uppvisat de bäst resultaten och den innebär att vatten med hög salthalt upprepade gånger spolat över bentoniten. Detta leder till att bentoniten löses upp och bildar en suspension, som kan pumpas bort från hålet. Bentonitslammet kan sedan avvattnas i en filterpress eller i en centrifug.

Sedan bentoniten runt kapseln avlägsnats kan kapseln lyftas upp med samma typ av maskin som användes vid deponering av kapslar i hålen. För att detta ska kunna genomföras måste kapselns vertikalt, centrerade position i deponeringshålet säkerställas när bentoniten avlägsnas. Den metodik som tidigare användes vid deponering av kapslar, appliceras nu i omvänd ordning för transport av kapseln från djupförvarets deponeringsdel och för vidare transport i transportbehållare till ett mellanlager.

7.3 Mellanlager för inkapslat bränsle

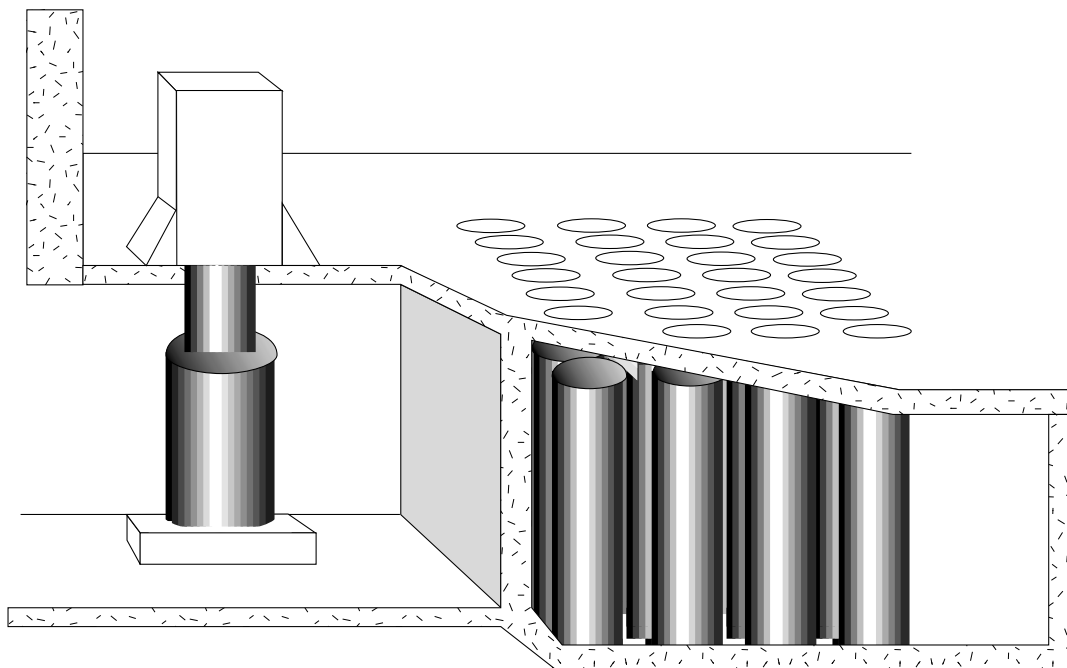
Sedan de deponerade kapslarna återtagits från djupförvaret förs de till någon typ av mellanlager. Om systemet för hantering av använt kärnbränsle fortfarande är i drift vid detta tillfälle, är det rimligt att ett sådant mellanlager förläggs i anslutning till CLAB och inkapslingsanläggningen. I annat fall måste en anläggning för kärnteknisk verksamhet upprättas på lämplig plats.

Ett mellanlager för återtagna kapslar kan utformas på flera olika sätt. Två tänkbara utformningar är ett enklare bergtrum på några tiotal meters djup, eller ett markförlagt förvar i princip enligt figur 7-1. Luftkylning av förvaret krävs oberoende av vilken utformning som väljs.

Ett markförlagt förvar kan utgöras av en gjuten bottenplatta med fack för kapslarna. Den ovanliggande byggnaden innehåller en travers för lyft av kapslarna i vertikal position i dessa fack. Förvaret dimensioneras efter antalet kapslar som ska lagras och efter vilket avstånd som krävs mellan kapslarna med hänsyn till värmeutveckling och kylfunktion. Detta är i sin tur beroende av den tid som förflutit sedan deponeringen.

Enklare bergtrumslager finns idag i Studsvik och vid Oskarshamns kärnkraftverk för mellanlagring av radioaktivt avfall i avvaktan på slutförvaring. Ett bergtrum för kapslar kan utformas i princip likadant som ett markförvar med fack för kapslar i golvet och med utrymme för hantering i det utsprängda bergtrummet ovanför.

Ett antal funktioner kan, vid en lokalisering i anslutning till CLAB och inkapslingsanläggningen, samordnas med den verksamheten. Detta gäller t ex bevakningsfunktionen och befintlig hamn för returtransporterna. Lagring och hantering av tomma transportbehållare kan ske i befintliga anläggningar. Sådana funktioner måste nyanläggas om lagret blir aktuellt efter rivning av CLAB/inkapslingsanläggningen.



Figur 7-1. Mellanlager för återtagna kapslar.

7.4 Långtidsaspekter på mellanlagring av kapslar

Ett återtag av kapslar kan ske under två skeden med för långtidsaspekten principiellt skilda förhållanden:

- under drift av djupförvaret eller kort tid efter dess förslutning när kapslarna fortfarande finns i en oxiderande miljö.
- en längre tid efter förslutning av förvaret när reducerande miljö råder kring kopparkapslarna.

Ett återtag av kapslar vid en tidpunkt när oxiderande förhållanden råder i förvaret innebär att dessa inte utsätts för någon större förändring vad gäller den kemiska miljön. Därmed förändras inte heller korrosionsegenskaperna hos kopparkapseln jämfört med dem som dittills har rått i djupförvaret /7-6/. Den oxidering som kapslar får om de återtas ur reducerande miljö är försumbar.

Korrosionen i mellanlagret kan hållas på en mycket låg nivå genom att en god ventilation ombesörjs kring kapseln för avlägsnande av radiolysprodukter. Vidare ger en luftfuktighet under 40 % och luftkylning av mellanlagret goda förutsättningar för att hålla en låg korrosionshastighet. Om dessa villkor uppfylls kommer en längre tids lagring av kapslar i ett mellanlager inte att förorsaka någon negativ påverkan på kapselns funktion. Det finns då inte heller några hinder för att åter deponera de mellanlagrade kapslarna i ett nytt djupförvar.

En längre tids lagring i ett mellanlager för återtagna kapslar innebär att det fysiska skyddet måste säkerställas för anläggningen under hela denna tid. Lagret måste kontrolleras och övervakas under den tid kapslarna med använt bränsle förvaras.

7.5 Återtag av bränsle från kapslar

Om det visar sig att kopparkapslarna inte uppfyller de ställda kraven, måste bränslet återtas från dessa. Omfattningen på den verksamheten och möjligheten att använda befintliga system och utrustning beror på vid vilken tidpunkt detta återtag görs. Liksom vid mellanlagring av återtagna kapslar gäller här olika förutsättningar beroende på om CLAB och inkapslingsanläggningen är i drift eller ej.

En transportbehållare med inkapslat bränsle kan tas tillbaka in i inkapslingsanläggningen på motsvarande sätt som den tidigare togs ut ur anläggningen. I inkapslingsanläggningen lyfts kapseln ur transportbehållaren med anläggningens maskin för kapselhantering. Den ställs i en lastbärare och förs till arbetsstationen för oförstörande provning och maskinbearbetning. I arbetsstationen skärs kapselns lock av och lyfts bort. Kapseln förs till hanteringscellen där insatsens lock lossas och lyfts av. Bränslet lastas över i en transportkassett placerad i en av torkpositionerna. Kapslarna omhändertas för återvinning efter eventuell dekontaminering. Transportkassetten med bränsle förs tillbaka ner i bassängerna för omlastning till lagringskassetter och vidare in i bränslehissen för transport till CLAB:s lagringsbassänger. Alternativt kan bränslet föras från bränslehissen till CLAB:s mottagningsbassänger för uttransport till ett torrlager.

Om bränslet ska återtas från kapslarna efter inkapslingsanläggningens rivning kommer hanteringsgången med att öppna kapslar och ta ur bränsle att kunna ske i en anläggning speciellt byggd för detta ändamål. I detta fall kan en direkt överföring av det urtagna bränslet göras från en kapsel till en behållare för torrlagring, utan hantering i bassänger.

7.6 Säkerhets- och strålskyddsaspekter vid återtag

7.6.1 Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter vid återtag

Ett återtag av kapslar från djupförvaret ska, som tidigare nämnts, kunna genomföras efter den inledande demonstrationsdeponeringen, men också i ett senare skede och även efter förslutning av förvaret. Ett återtag kan innebära att kapslarna tas upp ur djupförvaret och mellanlagras under kortare eller längre tid i avvaktan på annan slutlig deponering, men det kan också innebära att kapslarna åter öppnas och att bränslet tas ut för mellanlagring i CLAB eller motsvarande. I detta avsnitt antas att eventuellt återtaget bränsle från kapslarna mellanlagras i CLAB. Största delen av hanteringen vid ett återtag blir den samma som vid deponering, men i omvänd ordning, vilket gör att de aspekter på strålskydd och säkerhet som redovisats för drift av djupförvar, transporter, inkapslingsanläggning och CLAB även gäller vid ett återtag av bränsle från förvaret. Det som tillkommer är avlägsnande av bentonit från deponeringshålen innan kapslarna lyfts upp ur dessa, samt ett mellanlager för kapslar i anslutning till CLAB och inkapslingsanläggningen.

Strålskyddet vid anläggningarna upprätthålls på samma sätt som vid deponering av bränsle. Stråldoserna till personal vid djupförvaret kan bli något högre än vid deponering på grund av hanteringen med avlägsnande av bentonit, men dosen blir liten eftersom arbetet måste göras strålskärmad, på grund av kapselns strålning. Det tillkommande mellanlagret dimensioneras enligt de principer som tidigare redovisats, dvs att den genomsnittliga individdosen till personal inte ska överstiga 5 mSv/år.

Utsläpp av små mängder aktivitet till omgivningen sker vid inkapslingsanläggningen och CLAB om bränslet återtas från kapslarna, men hanteringen motsvarar inkapsling och hantering i inkapslinganläggningen och CLAB. Detsamma gäller radioaktivt avfall, som kan uppkomma vid hantering i inkapslingsanläggningen och CLAB vid ett återtag av bränsle från kapslar. I övrigt ska ingen lös aktivitet förekomma vid hanteringen.

Kriticitetssäkerheten vid de olika momenten i hanteringen upprätthålls på samma sätt som vid den tidigare hanteringen av såväl inkapslat som icke inkapslat bränsle.

7.6.2 Konsekvenser vid "normal" drift

Strålskydd och stråldos till personal

Dosbelastningen till personal härrör från de olika delarna av hanteringskedjan: återtag från djupförvaret, transport, mellanlagring av inkapslat bränsle, eventuellt återtag från kapsel och mellanlagring vid CLAB av bränsleelement. Individdosen till personal är av samma storleksordning som vid den omvända hanteringen i samband med deponering, dvs klart under 5 mSv/år. Friläggande av kapslar i djupförvarets deponeringshål medför att dosbelastningen i djupförvaret möjligen kan bli något större än vid deponering, som nämnts ovan. Vidare tillkommer ett mellanlager för inkapslat bränsle, i vilket hantering och lagring ger ett bidrag till den totala dosbelastningen.

Utsläpp från anläggningen och omgivningspåverkan

Utsläpp av radioaktiva ämnen till luft och vatten uppkommer vid normal drift av inkapslingsanläggningen och CLAB. Däremot ger inte djupförvaret och transporterna upphov till några utsläpp till omgivningen, och inte heller ett mellanlager för återtagna kapslar. Utsläppen från inkapslingsanläggningen och CLAB hålls på samma nivå vid ett återtag av bränsle från kapslar som nuvarande lagring i CLAB och inkapsling.

Avfallsproduktion

Radioaktivt driftavfall uppkommer vid CLAB och inkapslingsanläggningen. Detta är av samma typ och mängd, och med likvärt aktivitetsinnehåll som vid tidigare drift inför deponering vid dessa anläggningar.

7.6.3 Missödesanalys

De störningar och missöden som redovisas i tidigare kapitel för de olika delarna i systemet (drift av djupförvar, transporter, inkapslingsanläggning, CLAB) kan också förekomma vid ett återtag av bränsle. Konsekvenserna i form av dos till allmänheten, dos till personal och driftstörningar i anläggningarna blir också desamma vid störningar och missöden i samband med ett återtag som vid den omvända processen.

En anläggning som tillkommer vid ett eventuellt återtag, är ett mellanlager för inkapslat bränsle. Mellanlagrets system för luftkylning är den funktion som principiellt skiljer säkerhetsmässigt från andra delar av systemet och därmed också vad gäller störningar/missöden och konsekvenser av sådana. Om mellanlagret utförs med forcerad ventilation, vilket är den troligaste lösningen i ett inbyggt eller bergförlagt lager, kommer ett bortfall av luftflödet att leda till högre temperatur på kapslarna. Man kan förutsätta att viktigare komponenter i ventilationssystemet dubbleras vilket minskar risken för bortfall. Kapslarna bör ändå ställas upp på sådant sätt att en kylning med egenkonvektion och självdrag erhålls vid totalt bortfall av det forcerade flödet. Kapseltemperaturen stiger men den kan begränsas till acceptabla nivåer, som inte orsakar några skador på kapsel och bränsle.

7.7 Safeguards

Vid återtaget av kapslar ska kapslarnas identitet fastställas och kontrolleras mot dokumentationen från deponeringen. Förfarandet med sigill m m under transport och mellanförvaring överensstämmer med motsvarande vid inkapsling och deponering.

Om bränslet tas ur kapslarna, ska uppföljning och dokumentation genomföras på samma sätt som i proceduren vid inkapsling och i CLAB.

7.8 Miljöpåverkan

Den inverkan på miljön som återtaget kan medföra uppstår endast om ett nytt lager ska uppföras. Detta kan ge en förändrad landskapsbild om det placeras på ett nytt område.

7.9 Sammanfattning och utvärdering

Planeringen av djupförvaret är att återtag av deponerade kapslar inte ska behöva ske. Det är dock viktigt att kunna visa att återtag av deponerade kapslar kan ske under olika skeden och även efter det att djupförvaret är förslutet. Insatsen och kostnaderna för att genomföra återtagat ökar givetvis ju längre tider som kapslarna varit deponerad. Om hela djupförvaret är förslutet uppstår givetvis de största arbetsinsatserna och kostnaderna.

Målet för försöken i Äspö är att demonstrera att friläggning av kapslar som omges av svällande bentonit är möjlig att genomföra.

7.10 Referenser

- 7-1 EC Concerted Action on the retrievability of long lived radioactive Waste in Deep Underground Repositories, Contract No F14W-CT97-003. Rapport under tryckning
- 7-2 Svemar C. Alternative Retrieval Methods Considered by SKB. Proceedings of the 4th International Workshop on Design and Construction of Final Repositories, 1997.
- 7-3 Thegerström C. The Swedish Approach to Spent Nuclear Fuel Disposal – Stepwise Implementation and the Role of Retrievability. Proceedings of the 4th International Workshop on Design and Construction of Final Repositories, 1997.
- 7-4 Sjöblom R, Kalbantner P, Bjurström H and Pusch R. 1999 Application of the general microstructural model to erosion phenomena – mechanisms for the chemical-hydrodynamic conversion of bentonite to a pumpable slurry in conjunction with retrieval. Engineering Geology 54, p 109-116.
- 7-5 Pettersson S, Sjöblom R, Kalbantner P, Retrieval in a KBS-3 type of repository – ongoing work. Proceedings of the Waste Management Symposium 2000, Tucson, USA, 2000.
- 7-6 Mattsson E, Utvändig korrosion hos kopparkapslar i avvaktan på slutförvar och under slutförvarets inledningsskede. SKB Inkapsling Projekt PM 97-3420-22, Stockholm, april 1997.

8 Låg- och medelaktivt långlivat avfall

8.1 Inledning

Låg- och medelaktivt avfall kan delas upp i kort- och långlivat och det uppstår under drift och rivning av de kärntekniska anläggningarna. Rivningsavfall från avvecklingen av kärnkraftverken utgör låg- och medelaktivt kortlivat avfall med undantag för hårdkomponenterna och de interna delarna som är långlivat. Det kortlivade rivningsavfallet från kärnkraftverken planeras att deponeras i en utbyggnad av SFR och den delen av anläggningen går under benämningen SFR3.

Det avfall som kan vara aktuellt för deponering i ett slutförvar i anslutning till djupförvaret för använt kärnbränsle består av följande tre avfallstyper:

- *Driftavfall från CLAB och inkapslingsanläggningen.* Driftavfallet från CLAB transporteras för närvarande till SFR1 och detta planeras att pågå så länge SFR1 är i drift. Om driften vid CLAB och inkapslingsanläggningen pågår efter denna tidpunkt uppstår behov av ett slutförvar för driftavfallet från dessa anläggningar.
- *Hårdkomponenter och interna delar från reaktorerna.* Denna typ av avfall uppstår delvis redan i dag vid utbyte av styrtavar, hårdinstrumentering, etc. Avfall transporteras för närvarande till CLAB för mellanlagring. Vid avvecklingen av kärnkraftverken med rivning av reaktorerna uppstår stora kvantiteter av hårdkomponenter och interna delar. Enligt den ursprungliga planeringen skulle även dessa mängder transporteras till lagringsbassängerna i CLAB för mellanlagring i ca 20 år före inkapsling men alternativ till detta studeras. SKB undersöker bland annat alternativet att mellanlagra denna avfallskategori i behållare i bergrum med slutdeponering i ett förvar efter 20 till 30 års mellanlagring. Mellanlagringen syftar till att minska stråldosen från denna typ av avfall som är mycket hög och huvudsakligen kommer från ^{60}Co med en halveringstid på 5,3 år. En mellanlagring i ca 25 år medför då att dosraten från kobolt har minskat med en faktor 30.
- *Rivningsavfall från avvecklingen av CLAB och inkapslingsanläggningen.* Detta avfall uppstår sent i kedjan och även för denna avfallskategori behövs någon form av slutförvar.

Liksom när det gäller systemet för omhändertagande och förvaring av det använda bränslet finns det fortfarande en betydande handlingsfrihet i utformningen av systemet för omhändertagande av låg- och medelaktivt långlivat avfall. Förvaret för låg- och medelaktivt långlivat avfall kan placeras i anslutning till djupförvaret för använt bränsle, vid SFR eller lokaliseras helt oberoende av övriga slutförvar.

Då denna rapport endast utgör en analys av systemet för omhändertagande av använt kärnbränsle görs här ingen systemanalys av förvaret för låg- och medelaktivt långlivat avfall. SKB har dessutom redan genomfört en preliminär säkerhetsanalys för denna typ av förvar under 1999 /8-1 och 8-2/. Dessa rapporter har granskats av en internationell grupp och ett preliminärt utlåtande finns /8-3/. Den preliminära säkerhetsanalysen utgör ett viktigt steg mot uppförandet av ett förvar som preliminärt inte kommer att tas i drift förrän omkring 30–40 år. Det finns därför god tid för utveckling av designen och fortsätta studier av alternativa koncept.

I det följande beskrivs för fullständigheten skull avfallsmängder och möjlig utformning av förvaret för låg- och medelaktivt långlivat avfall.

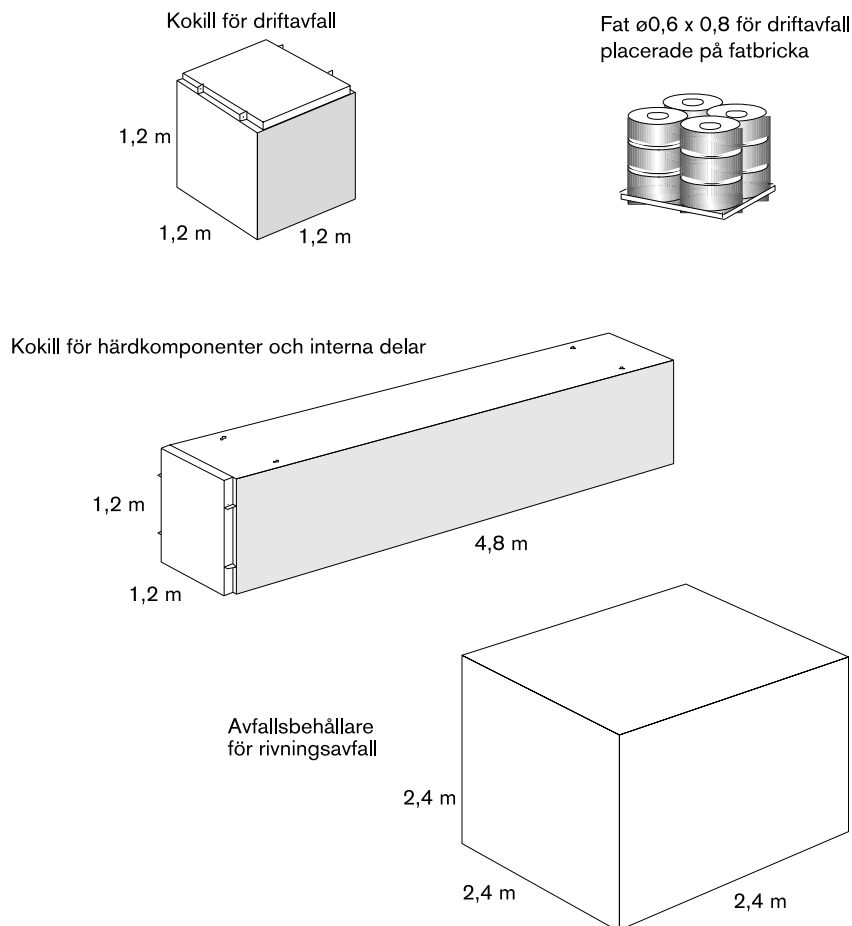
8.2 Avfallstyper, avfallskollin och mängder

Avfallskollin

Olika typer av avfallskollin planeras bli använda vid deponering av låg- och medelaktivt långlivat avfall varav flertalet redan används för kortlivat låg- och medelaktivt avfall (driftavfall):

- Kokiller av betong eller stål med dimensionerna 1,2 x 1,2 x 1,2 m för driftavfallet från CLAB och inkapslingsanläggningen, och för avfall från Studsvik.
- 200-litersfat för avfall från Studsvik. En fatbricka med samma bottenarea som kokillerna ovan rymmer fyra sådana fat.
- Kokiller med dimensionen 4,8 x 1,2 x 1,2 m för härdkomponenter och reaktorernas interna delar. (Ny typ av avfallskolli).
- Avfallsbehållare med dimensionen 2,4 x 2,4 x 2,4 m för rivningsavfall från CLAB och inkapslingsanläggningen inklusive lagringskassetter från CLAB.

Även andra typer av behållare kan komma till användning för långlivat låg- och medelaktivt avfall.



Figur 8-1. Avfallsbehållare för långlivat låg- och medelaktivt avfall.

Härdkomponenter och reaktorernas interna delar

Härdkomponenter och reaktorernas interna delar lagras i CLAB, efter en tids mellanlagring i bassänger på kärnkraftverken. Transporten till CLAB och lagringen i bassänger sker på samma sätt som för använt kärnbränsle. Också hanteringen i inkapslingsanläggningen, där avfallet placeras i kokiller, liknar den som tillämpas för det använda bränslet. En kassett med härdkomponenter förs via bränslehissen från CLAB till bassängerna i inkapslingsanläggningen och vidare till hanteringscellen där den placeras i en kokill. Därifrån förs den fyllda kokillen till två stationer i anläggningen som reserverats för förslutning av kokiller. Efter mätning och eventuell dekontaminering lastas kokillen i en transportbehållare.

Komponenter kan även mellanlagras, efter en eventuell lagring i bassänger på kärnkraftverken, i strålskärnade stålbehållare. Möjlighet till mellanlagring av denna typ av avfall finns i bergrum i Studsvik och vid Oskarshamns kärnkraftverk.

Avfall från drift och rivning av CLAB och inkapslingsanläggningen

Avfall från drift och rivning av CLAB och inkapslingsanläggningen kan i princip slutförvaras i SFR. Detta förvar planeras dock att förslutas medan CLAB och inkapslingsanläggningen fortfarande är i drift. Det avfall som produceras vid dessa anläggningar efter förslutning av SFR förs därför till slutförvaret för annat avfall, liksom avfallet från rivning av anläggningarna. Hantering och emballering av avfallet sker på samma sätt som för det avfall som förs till SFR.

Avfall från Studsvik

Avfall från Studsvik mellanlagras i Studsviks bergrumslager sedan det placerats i avfallsbehållare. Vätskeformigt avfall solidifieras i betong i 200-litersfat, medan annat avfall placeras i betongkokiller. Dessa kokiller är inredda med fack för upp till fem innerbehållare som vid behov är strålskärnade.

Avfallsmängder

Tabellen nedan visar preliminära volymer av låg- och medelaktivt långlivat avfall som planeras deponeras i slutförvaret för låg- och medelaktivt långlivat avfall.

Driftavfall från CLAB deponeras sedan 1988 i SFR och detta planeras fortgå så länge SFR-anläggningen är i drift. Driftavfallet från inkapslingsanläggningen kommer att vara samma kategori som CLAB-avfallet och kan således också deponeras i SFR. Volymen driftavfall från CLAB och inkapslingsanläggningen till detta slutförvar kommer att vara beroende på när deponeringen i SFR av måste upphöra och hur lång tid dessa anläggningar kommer att vara i drift efter denna tidpunkt.

Tabell 8-1. Mängder och flöden av låg- och medelaktivt långlivat avfall.

Avfall till slutförvaret för låg- och medelaktivt långlivat avfall	Totalvolym i slutförvaret i m³
Härdkomponenter och interna reaktordelar samt från Studsvik (långlivat)	9 700
Driftavfall från CLAB och inkapslingsanläggningen samt Studsvik (kortlivat)	5 600
Rivningsavfall från CLAB och inkapslingsanläggningen (kortlivat)	10 000

8.3 Transporter

Låg- och medelaktivt långlivat avfall transporteras till djupförvaret på i princip samma sätt som inkapslat bränsle. Transporterna, som görs från CLAB, inkapslingsanläggningen, Studsvik och eventuellt från kärnkraftverken, pågår under senare delen av den reguljära deponeringen av kapslar. Orsaken till denna senareläggning är främst att strålningsnivån till en början är hög, huvudsakligen beroende på ^{60}Co , som klingar av relativt snabbt.

Planerade transportbehållare för låg- och medelaktivt långlivat avfall rymmer antingen en lång kokill för hårdkomponenter eller fyra standardkokiller med andra typer av avfall. Vid behov kan även andra typer av avfallskollin för låg- och medelaktivt långlivat avfall fraktas i transportbehållare. Behållarna med kokiller är något tyngre än behållarna med inkapslat bränsle, ca 80 ton inklusive lastbärare. De är utformade så att de kan hanteras med samma utrustning som behållarna för inkapslat bränsle i inkapslingsanläggningen, under transport och omlastning samt vid ankomst till djupförvaret.

Transporter från inkapslingsanläggningen och CLAB kan göras på samma sätt och med samma typ av fordon som transporterna av inkapslat bränsle från samma plats. I Studsvik finns en hamn som används för transporter av avfall till SFR i Forsmark med M/S Sigyn. Denna hamn kan också användas för transport av långlivat avfall till djupförvaret eller till en omlastningshamn i dess närhet.

Transportbehållare för kokiller med hårdkomponenter och annat avfall transporteras i huvudalternativet med tåg från omlastningshamnen. Transporterna ordnas lämpligen så att man växelvis hämtar bränslekapslar och annat avfall. Kokillerna med hårdkomponenter och övrigt avfall transporteras i speciella transportbehållare. Samtliga behållare ska kunna placeras på samma upplag som transportbehållare för kapslar både på vagnarna och i bufferten.

Preliminärt skall det vara möjligt att producera och deponera i genomsnitt ca 100 kokiller med hårdkomponenter och övrigt avfall per år under den senare delen av inkapslingsanläggningens drift.

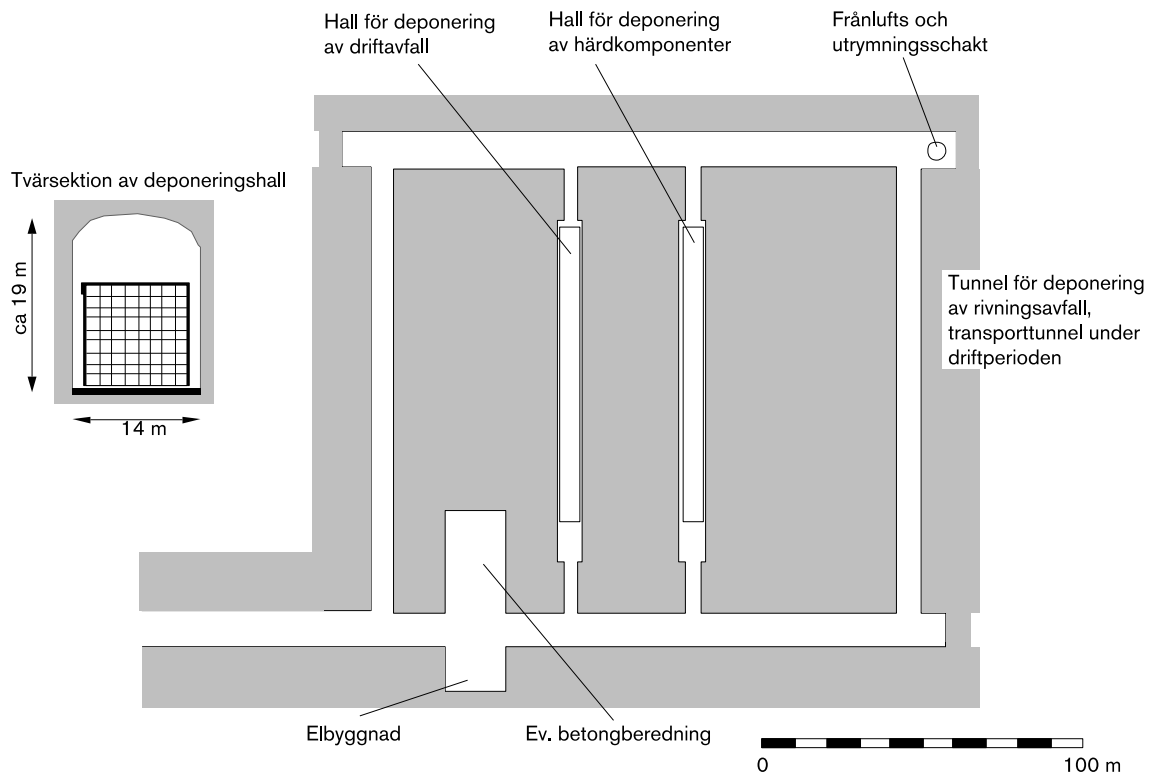
8.4 Beskrivning av slutförvaret för låg- och medelaktivt långlivat avfall

8.4.1 Inledning

Låg- och medelaktivt Långlivat avfall deponeras i ett separat deponeringsområde enligt figur 8-2. Detta deponeringsområde står i förbindelse med underjordsanläggningens centralområde via en transporttunnel. Området består av följande tre deponeringshallar:

- Bergsal för driftavfall från CLAB och inkapslingsanläggningen samt långlivat avfall från Studsvik.
- Deponeringsområde för rivningsavfall från CLAB och inkapslingsanläggningen.
- Bergsal för hårdkomponenter och interna delar.

De två bergsalarna är utformade på liknande sätt som bergsalen för medelaktivt avfall i SFR i Forsmark. Salarna är indelade i sektioner, som avgränsas med betongväggar, var och en med storleken 5x10 m. I dessa deponeras avfallskollina. Varje deponeringshall



Figur 8-2. Djupförvarets deponeringsområde för låglivat låg- och medelaktivt avfall.

betjänas av en travers. Traversen täcker hela hallen och går också ut till lossningsplatsen för truckarna. En lokal elbyggnad innehåller en underfördelning för kraftdistribution inom hallarnas område och troligen även en transformator. Byggnaden har batterier som ger nödförsörjning vid elavbrott. I elbyggnaden finns ett kontrollrum för fjärrstyrning av avfallshanteringen, personalutrymmen och städtrum.

Betong tillförs successivt från marknivån. Den kan dels läggas kring kollina, dels läggs den ovanpå de betongplank som läggs som täckning över de fyllda utrymmena.

Efter avslutad deponering fylls utrymmena med bergkross och tillsluts med betongpluggar.

Deponeringsområdet för rivningsavfall utgörs av tunnarna runt de två bergssalarna. Tunnarna är inredda med en ca 20 cm tjock bottenplatta av betong.

8.4.2 Hanteringsgång vid deponering av låg- och medelaktivt låglivat avfall

Transportbehållare med avfallsbehållare för de två bergsalarna hämtas i driftbyggnaden ovan jord med en truck och förs ner i underjordsanläggningen på samma sätt som transportbehållarna med inkapslat bränsle. Transportbehållaren förs direkt till en lossningsplats i bergsalen. Behållarens lock lyfts av och kokillen lyfts med traversen över en strålskyddsvägg och vidare till sin plats i bergsalen. Hela processen sker fjärrstyrt på grund av den höga gammastrålningen från vissa kokiller. Behållarens lock sätts åter på och trucken återför behållaren till driftbyggnaden. Den transporteras tillbaka till inkapslingsanläggningen för förnyad användning.

Övriga kokiller och fat förs till deponeringshallen för driftavfall, där hanteringen går till på samma sätt.

Utrymmena för dessa avfall är uppdelade i sektioner. Avfallet kan successivt kringgjutas med porös betong om så erfordras. Då en sektion fyllts med avfall förses den med betongplank, på vilka en betongbädd gjuts. Detta skyddar avfallet från eventuellt inläckande vatten. När deponeringen avslutats i bergsalen förses den med en betongplugg i inlastningsänden och återfylls med packad bergkross. Sist gjuts en betongplugg.

När deponeringen i bergsalarna avslutats kan avfallsbehållare med rivningsavfall ställas upp i transporttunnlarna runt dessa. Avfallsbehållarna ställs med hjälp av gaffeltruck direkt på tunnelns botten. Stapling av flera behållare i höjd förekommer inte. I samband med inlastning sker överflyttning av kollina med bergkross.

8.5 Sammanfattning beträffande slutförvaring av låg- och medelaktivt långlivat avfall

Endast begränsade mängder låg- och medelaktivt långlivat avfall har producerats i dagsläget och det som har producerats förvaras i bassängerna vid kraftverken, i bergrum i Studsvik och Simpevarp eller i bassängerna i CLAB. Den stora kvantiteten kommer att uppstå vid avveckling och rivning av kärnkraftverken samt avvecklingen av CLAB och inkapslingsanläggningen. Mot denna bakgrund finns det tid för utveckling av slutförvarssystemet för denna typ av avfall.

Härdkomponenter och interna delar som ingår i denna avfallskategori har mycket höga strålningsnivåer. Av den anledningen krävs mellanlagring för avklingning på samma sätt som det använda kärnbränslet för att underlätta den efterföljande inkapslingen av avfallet.

För att öka flexibiliteten i avfallssystemet studerar SKB möjligheten att mellanlagra härdkomponenterna i behållare torrt i bergsalar. Detta skulle dessutom väsentligt öka lagringskapaciteten för använt kärnbränsle i CLAB. En preliminära säkerhetsanalys har genomförts och utgör ett viktigt steg mot uppförandet av ett förvar som preliminärt inte kommer att tas i drift förrän om cirka 40 år. Det finns därför god tid för utveckling av designen och fortsatta studier av alternativa koncept.

8.6 Referenser

- 8-1 Karlsson F, Lindgren M, Skagius K, Wiborgh M och Engkvist I. Evolution of geochemical conditions in SFL 3-5. SKB Rapport R-99-15.
- 8-2 Djupförvaring av långlivat låg- och medelaktivt avfall. Preliminär säkerhetsanalys. SKB rapport R-99-59.
- 8-3 An International Peer Review of a "Preliminary safety assessment of a deep repository for long-lived low-and intermediate level waste (preliminary title). SKI, report June 2000.

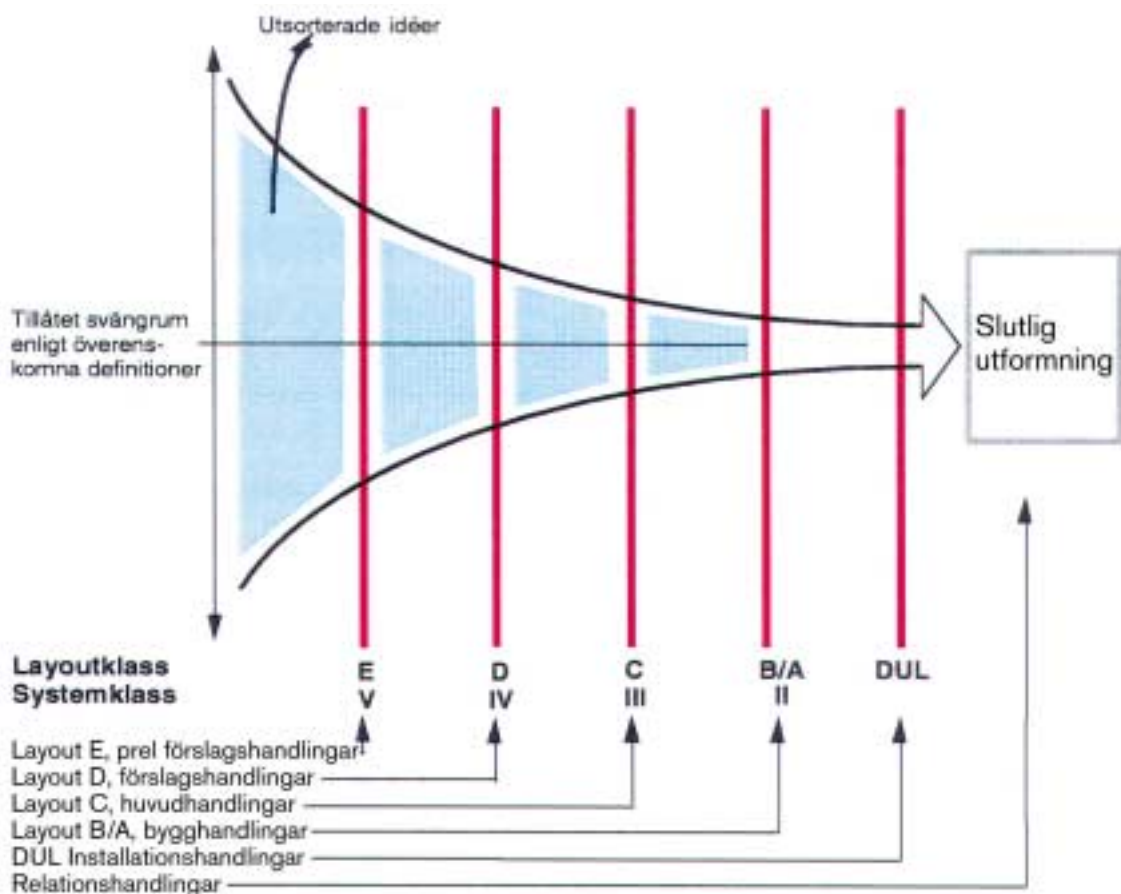
9 Projektering och framtida systemanalyser

9.1 Allmänt om projektering

För att bygga systemet för omhändertagande av det använda kärnbränslet avser SKB att använda den projekteringsmodell som under flera årtionden utvecklats och med gott resultat tillämpats vid genomförandet av stora anläggningsprojekt inom kraftindustrin. Modellens princip är att projekteringen genomförs i ett antal steg, vars antal och innehåll anpassas till det aktuella projektets behov och förutsättningar.

Syftet med projekteringsmodellen är att skapa förutsättningar för att styra projekteringsarbetet mot definierade mål på ett kontrollerat sätt med avseende på funktion, säkerhet, teknik, standard, tid och ekonomi.

En grundläggande tanke med projektarbetsmodellen är att övergripande frågor med avseende på krav och förutsättningar fångas upp och struktureras på ett överskådligt sätt. Projekteringsmodellen ska användas som verktyg för sökande efter tänkbara alternativ och som hjälpmedel för genomförande av systemanalyser för komplexa anläggningsprojekt. Modellen syftar till en stegvis förfining och dokumentering i takt med att ökad kunskap om projektets förutsättningar erhålles. Denna stegvisa detaljering ger en successiv begränsning av handlingsutrymmet för förändringar enligt figur 9-1.



Figur 9-1. Gradvis begränsning av handlingsutrymme under olika projekteringskedan.

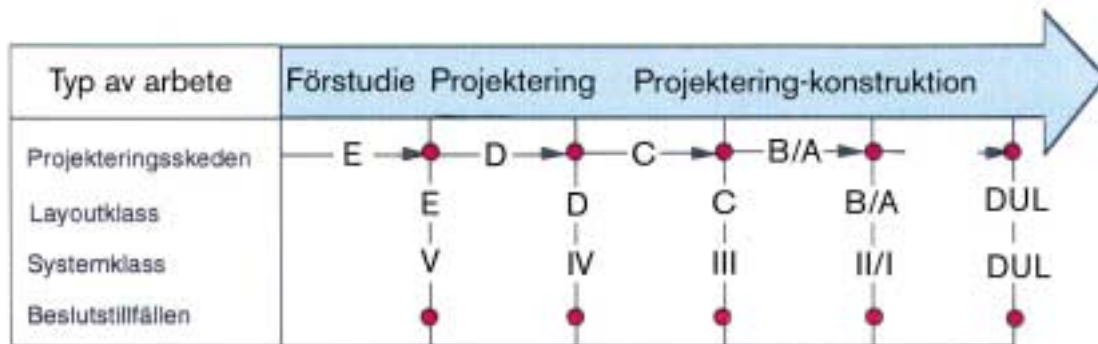
9.2 Projekteringskedan och samband

9.2.1 Generell projekteringsmodell

Stora anläggningsprojekt indelas normalt i ett antal skeden kopplade till beslutsprocessen. Skedena har samma beteckning som motsvarande layoutklasser, E-A samt DUL, som avser detaljerat byggnadsunderlag.

För mindre komplexa anläggningsdelar av ett projekt kan skede A utelämnas. Principer och samband mellan projekteringskedan, layout- och systemklasser samt beslutstillfällen framgår av figur 9-2.

Projekteringsmodellen är avsedd att behandla projektets samtliga anläggningsdelar, tekniska försörjningssystem, maskinutrustning och fordon. Varje projekteringskede avslutas med en dokumentation bestående av anläggnings- och systembeskrivningar, ritningar, scheman, kostnadsberäkningar, tidsplaner m m.



Förklaringar:

Layoutklass

Avser en för varje skede ökande detaljeringsgrad med avseende på utformning av markarbeten, byggnader, tunnlar, schakt och bergrum.

Systemklass

Avser en för varje skede ökande detaljeringsgrad med avseende på funktionskrav och tekniska specifikationer för utformning av tekniska försörjningssystem, maskiner och fordon. Systemklassen ligger till grund för layoutklassen inom samma projekteringskede.

Beslutstillfällen Tidpunkter då två typer av beslut erfordras enligt följande:

- Godkännande av resultat i föregående skede av projekteringsarbetet.
- Beslut att starta fortsatt arbete i nästa skede.

Figur 9-2. Nomenklatur och klassificering som tillämpas i SKB:s projekteringsmodell.

9.2.2 Anpassad projekteringsmodell

Den generella projekteringsmodellen måste bearbetas för att passa de förutsättningar som gäller för djupförvaret.

För djupförvarsprojektet genomförs layoutskede E innan plats specifika data framkommit. Layoutskede D kommer att genomföras under platsundersökningsskedet och delas upp i ett antal steg med hänsyn till lokala förutsättningar och information som kommer fram under genomförandet av platsundersökningarna (PLU). Under skede E och D sker en samlad projektering av hela djupförvaret. Under de efterföljande och mera detaljerade projekterings- och konstruktionsskedena sker en uppdelning på enskilda delar anpassad till tidpunkt för färdigställande. Markarbeten för industri- och driftområden och ramp måste av naturliga skäl uppföras i ett tidigt skede. Uppförandet av byggnader ovan jord och system och utrustningar för hantering av det radioaktiva avfallet kommer att anpassas till behovstidpunkten och de kan därför utföras senare. En mer detaljerad beskrivning av arbetet under respektive projekteringsskede redovisas i avsnitt 9.4.

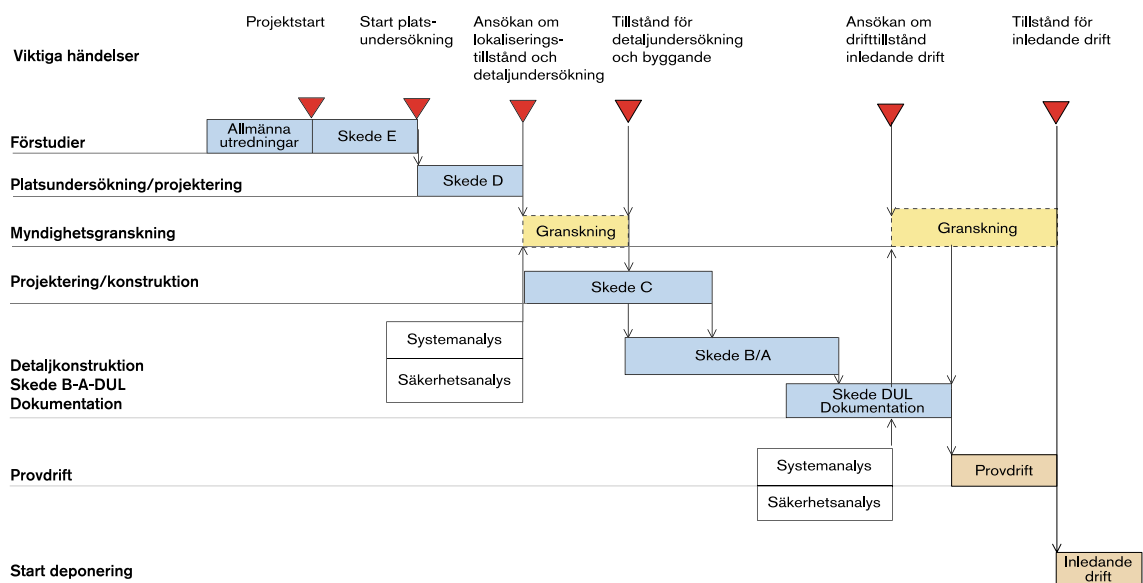
Den anpassade projekteringsmodellen visas schematiskt i figur 9-3.

Typ av arbete	Förstudie	Projektering			Projektering - konstruktion		
Undersökningar		Platsundersökningar			Detaljundersökning		
Projekteringsskeden	E	D0	D1	D2	C	B/A	DUL
Antal platser	Ej platsspecifik	Valda platser för PLU			Vald plats		
Omfattning	Hela projektet	Hela projektet			Detaljerad projektering: industriområde, ramp, bergrum, tunnlar, byggnader ovan mark, försörjningssystem, hanterings- utrustningar fordon etc.		

Figur 9-3. Anpassad projekteringsmodell.

9.3 Logik för projektering, systemanalys och uppförande av djupförvaret

Genomförandet av djupförvarsprojektet kommer att kräva ingående samverkan med myndigheter och kommuner som berörs av platsundersökningarna, detaljundersökningar, byggnation och senare drift av djupförvaret. Under projekteringsskede D kommer en uppdatering av systemanalysen och den långsiktiga säkerhetsanalysen att genomföras och ingå i ansökningshandlingarna för start av detaljundersökning och byggarbeten för den inledande driften. Inför ansökan om drifttillstånd för den inledande driften kommer ytterligare en systemanalys och en säkerhetsanalys att genomföras. En översiktlig illustration av logik och samspel mellan projektering, systemanalys samt säkerhetsarbete framgår av figur 9-4.



Figur 9-4. Samverkan mellan berörda instanser under olika skeden av genomförandet av djupförvarsprojektet.

9.4 Beskrivning av arbeten under respektive projekteringsskede

9.4.1 Projekteringsskede E – Förstudier

Under skede E sker huvudsakligen en probleminventering med syfte att identifiera samtliga systemdelar och definiera deras funktion och samband. Skede E för projekt ”djupförvar för använt kärnbränsle” pågår med upprättande av en anläggningsbeskrivning med ritningar som redovisar anläggningens funktion, storlek och omfattning. Beskrivningen är generell och inte anpassad till en specifik plats. Alternativa utformningar av system och anläggningsdelar studeras och en rad speciella utredningar genomförs beträffande layoutstyrande försörjningssystem (systemklass V) och utrustningar för att underbygga anläggningens utformning.

Anläggningsbeskrivningen ska utgöra en förutsättning för val av drivningsteknik för bergarbeten och utarbetande av *preliminära förslagshandlingar* för berg- och byggnadsarbeten samt funktionsprogram med krav på layoutstyrande försörjningssystem inom underjordsanläggningen såsom ventilation, bergdränage och elförsörjning. Materialet ger också förutsättningar för utformning av maskiner och fordon.

Anläggningsbeskrivningen under skede E planeras att färdigställas under september 2001. Anläggningsbeskrivningen utgör en del av det underlag som kommer att ligga till grund för planeringen av de geologiska undersökningarna av de områden som väljs för platsundersökningar.

9.4.2 Projekteringsskede D0 och D1 – Projektering

Skede D påbörjas när platsundersökningarna inleds. Under perioden med platsundersökningar på valda platser och genomförande av projekteringsskede D pågår ett nära samarbete mellan de grupper som arbetar med undersökningar, projektering och säkerhetsanalys för djupförvaret. Varje steg av mer detaljerad layout i skede D kommer att utgöra delunderlag för undersökningsprogrammet i platsundersökningsskedet. Detta finns beskrivet i en separat rapport /9-2/.

Under platsundersökningarna kommer skisser och ritningar på placeringen av ovanjordsanläggningens funktioner och byggnader att utarbetas baserade på undersökningsresultat och fördjupade kontakter med berörda kommuner. Med de kunskaper som erhålles från platsundersökningarna kommer också djupförvarets underjordsanläggningar att preliminärt placeras med val av nerfart till förvarsnivån med centralområde, transporttunnlar, deponeringsområden för den inledande och reguljära driften samt schakt för hissar, ventilation, elkraftmatning etc. Försörjningssystemen beskrivs så att en funktions- och säkerhetsanalys kan genomföras som underlag för en *preliminär säkerhetsrapport* för djupförvarsanläggningen.

Layout D0 utgör de första skisserna på djupförvaret baserade på resultat av ytundersökningar men utan tillgång till geologisk information från borrhningar i berggrunden. Flera alternativa layouter kan komma att tas fram för en studerad plats. D0 syftar till att dels illustrera att en undersökt plats är tillräckligt stor för djupförvaret, dels utgöra underlag till tidiga samråd.

Layout D1 utgörs i huvudsak av ett geografiskt anpassat förslag till anläggningsutformning baserat på underlaget från projekteringsskede E. Underlaget för geologisk anpassning är begränsat till preliminär kunskap om främst lägen för större svaghetszoner.

Layout D1 har därför endast en preliminär anpassning i plan men inte i valt djup. Typ av nerfart till förvarsnivå ska preliminärt väljas med hänsyn till de aktuella platsernas förutsättningar. Erforderliga driftområden ovan jord anpassas till de lokala förutsättningarna. Förslag till anslutning mot platsens infrastruktur utarbetas. Layout D1 kan komma att utarbetas för ett antal platser.

Utredningar beträffande bland annat utrustning för hantering av bentonit och deponering av kapslar och återfyllning av deponeringstunnlar och bergrum kommer att fördjupas under denna period. Fördjupade utredningar av drivningsmetoder för tillredning av ramper, schakt samt transport- och deponeringstunnlar kommer också att göras baserade på den första plats-specifika geologiska informationen.

9.4.3 Projekteringsskede D2 – Projektering

Under projekteringsskede D2 sker en fördjupad bearbetning av anläggningens utformning och dess platsanpassning. Den bygger på resultaten av den kompletta platsundersökningen, preliminära konstruktionsförutsättningar samt preliminära drift- och dimensioneringsuppgifter. Lösningarna beaktar kravspecifikationerna för bland annat deponering, transporter och försörjningssystem. Underjordsutrymmenas preliminära läge i plan och djupled baseras på undersökningsresultat och projekteringsarbetet.

Parallellt med arbetet med försörjningssystem, utrustning och layoutbearbetning pågår geovetenskapliga platsundersökningar och arbete med djupförvarsanläggningens långsiktiga säkerhet. Layout D2 dokumenteras i form av *en anläggningsbeskrivning, systembeskrivningar (systemklass IV), situationsplaner och layoutritningar* med förklarande texter. Layout D2 kommer att ligga till grund för utarbetande av *förslagshandlingar* inklusive preliminära ritningar för bergdrivningen samt för skedets kompletta säkerhetsanalys. Redovisade preliminära lösningar beaktar layoutpåverkande informationer från förekommande försörjningssystem, maskiner och utrustningar.

I skede D2 ingår framtagning av underlaget för ansökan om erforderliga tillstånd för djupförvarets lokalisering och för genomförande av detaljundersökningar och utbyggnad för den inledande driften.

9.4.4 Projekteringsskede C – Projektering/Konstruktion

Eftersom utbyggnaden av djupförvaret kommer att göras etappvis kommer projekteringen av olika områden i anläggningen att utföras med viss förskjutning i tiden. Denna förskjutning börjar dock först när projekteringen går in i ett detaljskede då lösningar och utformning m m läses som underlag för genomförande och investeringsbeslut. Detta sker från och med projekteringsskede C.

Lösningen bygger på förslagshandlingar från skede D. Layout C utgör den teoretiska anläggningsutformningen så långt den kan genomföras med utgångspunkt från tillgängliga förutsättningar.

Utbyggnaden av djupförvaret kommer att ske i steg och kommer bland annat att innehålla följande huvudaktiviteter:

Huvudaktivitet ovan jord:

- etablering av byggområde inklusive utbyggnad av erforderliga vägförbindelser, elkraft, vatten och avloppssystem,
- uppförande av byggprovisorier såsom kontorsbaracker, raststugor, byggmatsal, informationslokaler, fältverkstäder och byggmaterialförråd,
- etablering av deponeringsområden för bergmassor,
- byggande av erforderliga delar av ventilationsbyggnad för tilluft till underjordsdelen.

Huvudaktivitet under jord:

- tillredning av ramp eller schakt samt transporttunnlar på förvarsnivå,
- detaljundersökning omfattande tillredning av undersökningstunnlar i planerade deponeringsområden samt borrhningar och karakterisering av bergmassan i planerade deponeringsområden för verifiering av prognoser från platsundersökningarna,
- installation av servicesystem såsom ventilation, elkraftmatning, bergdränage, telefoni, belysning, etc samt tillredning av utrymmen och byggnader för dessa system.

Under detta skede sker även en uppdatering av underlag och detaljplanering av utbyggnaden för den inledande driften. Säkerhetsanalysen kommer att uppdateras baserad på den platsspecifika informationen som erhållits vid genomförandet av detaljundersökningen och byggande av schakt, ramp och undersökningstunnlar.

Under berg- och byggnadsarbetets genomförande kan lokala geologiska förhållanden påverka detaljer i layouten för underjordsutrymmen. Hänsyn till detta måste tas som en del av planering och genomförande av arbetet. Under anpassningen till de lokala förhållandena beaktas också ett antal på förhand bestämda parametrar, till exempel:

- tunneltvårsnitt med hänsyn till transportprofil och installationer i tunnlar,
- lutningar för tillfartsramp,
- kurvradier för ramp och transporttunnlar,
- inbördes nivåförhållanden,
- inbördes avstånd mellan tunnlar.

Skyddskraven för anläggningen ska fastställas och beaktas i anläggningens utformning. Resultatet av de speciella utredningar som genomförts, till exempel för deponeringsutrustning, återfyllning, pluggning, drivning och passage av vattenförande zoner, ska inarbetas i utformningen. Industriområdet ovan jord ska vara väl inordnat i terrängen och anknutet till aktuell infrastruktur på platsen.

Anläggningen ska vara utformad i samråd med kommun och sakägare samt godkänd av berörda myndigheter. Layout C dokumenteras i form av *en anläggningsbeskrivning med situationsplaner och layoutritningar* med förklarande texter. I dokumentationen ingår även *huvudhandlingar, bygghandlingar, tekniska specifikationer och systembeskrivningar* (systemklass III), m m. Layout C ska läggas till grund för utarbetande av bygghandlingar (ritningar och beskrivningar) samt underlag för ansökan om bygglov.

Layout C-ritningar anger definitiva uppgifter om byggnaders grundläggning, bärande stomme, bjälklagshöjder och horisontellt och vertikalt kommunikationssystem inklusive huvudstråk för ventilationskanaler, kablar och rör. Stomkomplettering i form av icke bärande väggar, dörrplaceringar och så vidare är preliminär. Arkitektonisk målsättning ingår med avseende på såväl yttre som inre miljö inklusive fasadritningar.

Layout C-dokumentationen för tunnlar, schakt och bergsalar består av ritningar för bergschaktning inklusive principritningar för sonderingsborrning, injektering, bergförstärkning och dränering. Layoutritningarna innehåller även huvudstråken för tekniska försörjningssystemen såsom ventilation, elkraftmatning etc.

Under detta skede uppdateras systembeskrivningarna till systemklass III.

9.4.5 Projekteringsskede B/A – Projektering/Konstruktion

Layout B redovisar en slutligt fastställd planlösning som innebär att stomkompletteringsdelen i byggnader ovan jord och i bergrum fixeras. Större fundament, lyftanordningar och större håltagningar för installationer och montage fastställs.

Layout B ska ligga till grund för *detaljkonstruktion*, rumsbeskrivning, kulörprogram, möbleringsprogram samt tekniska installationer ovan och under jord. I detta skede tas definitiva *kravspecifikationer* på hanteringssystemen för det radioaktiva avfallet fram.

Layout A kan behöva utarbetas för delar av anläggningen som innehåller konstruktioner där komplexiteten är stor.

Under detta skede uppdateras systembeskrivningarna till systemklass I.

9.4.6 Definitivt underlag (DUL) – Konstruktion och dokumentation

Under DUL-skedet levereras slutgiltiga detaljuppgifter i bygghandlingar, installationer, system, maskinutrustning, etc i tillräcklig omfattning för att kunna färdigställa arbetshandlingar, installations- och relationsritningar.

Under detta skede sker framtagning av definitiva systembeskrivningarna för försörjningssystemen, hanteringsutrustningar, fordon, etc.

9.5 Referenser

- 9-1 FUD-program 92. Kärnkraftavfallens behandling och slutförvaring. Komplettering till 1992 års program sammanställt med anledning av regeringsbeslut 1993-12-16. SKB, augusti 1993.
- 9-2 Program för undersökning och utvärdering av platser för djupförvaret. SKB rapport, R-00-30, juni 2000.

Jämförelse av deponeringsmetoder Sammanfattning av JADE-studien

1 Introduktion

KBS-3 V är sedan 1984 referensmetod för deponering av det svenska utbrända kärnbränslet. Bränslet placeras i kapslar av koppar/stål och deponeras i vertikalt borrade deponeringshål. Metoden baseras på ett flerbarriärsystem i kristallint berg på ca 500 m djup /B-1/.

SKB har också utvärderat andra deponeringsmetoder med gott resultat. Under 1986–1989 studerades WP-Cave och jämfördes med KBS-3 V. Resultatet av utvärderingen visade att WP-Cave bedömdes uppfylla högt ställda krav på långtidfunktion och säkerhet, men KBS-3 V ansågs fördelaktigare.

Tre andra system, VDH (Very Deep Holes), VLH (Very Long Holes) och MLH (Medium Long Holes) har också utvecklats. Dessa utvärderades mot KBS-3 V i projektet PASS /B-2/.

I PASS jämfördes både kapselutformning och deponeringsmetod. Jämförelsen av deponeringsmetod delades upp i tre delar:

- långtidfunktion och säkerhet,
- teknik,
- kostnader.

I PASS placerades KBS-3 V och KBS-3 MLH högre än de andra metoderna. Resultatet av jämförelsen mellan KBS-3 MLH och KBS-3 V var inte så tydlig. KBS-3 V bedömdes vara mer robust i teknik och mer flexibel för deponeringsprocessen. KBS-3 MLH bedömdes vara mer kostnadseffektiv. En slutlig jämförelse mellan de två metoderna placerade KBS-3 V högre än KBS-3 MLH på grund av nackdelar i den senares deponeringsprocess.

1996 initierade SKB en ny och detaljerad jämförelse, projektet JADE, (Jämförelse av Alternativa Deponeringsmetoder), mellan vertikala och horisontella deponeringsmetoder vid ca 500 m djup. Dessa alternativ var de mest lovande i PASS-studien. Analysen utfördes på samma sätt som i PASS men hänsyn togs till senare teknisk utveckling. Dessutom finns nu underlag för en mer detaljerad analys av långtidfunktion och säkerhet, som har utarbetats i SR 97.

2 Presentation av deponeringsmetoderna i JADE

Fyra separata utredningar har gjorts i JADE som underlag för jämförelsen av deponeringsmetoderna, nämligen:

- Uppdatering av KBS-3 MLH-studien.
- Studie av betydelsen av strålskärning.
- Utveckling av metoder och teknisk utrustning för deponering.
- Geologiska studier.

Betydelsen av strålskärning inkluderades i utvecklingen av metoder och teknisk utrustning för hantering och deponering av kapseln. En oberoende expertgrupp har också utvärderat denna fråga.

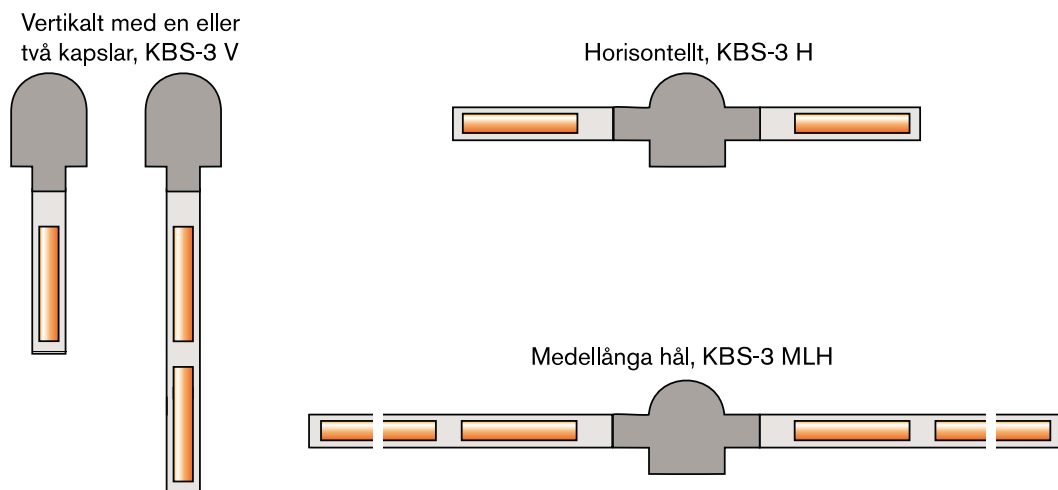
Skillnaderna beträffande långtidfunktion och säkerhet baseras på de beroendematriser som utvecklats för buffert, närområdet och fjärrområdet i SR 97 /B-3/.

Jämförelsen omfattar tre deponeringsmetoder. Stora delar av djupförvaret är lika för alla tre, såsom de markförlagda delarna, centralområdet samt delar av transporttunnlarna. Jämförelsen i JADE avser teknik och kostnader och är därför begränsad till transport- och deponeringstunnlar och deponeringshål.

- KBS-3 V är basmetoden i jämförelsen. Kapseln sätts ner i vertikala deponeringshål i botten på deponeringstunneln.
- KBS-3H, där kapseln placeras i horisontella hål i deponeringstunnelns väggar, bedöms vara ekonomiskt attraktiv, eftersom längden av deponeringstunnlar reduceras.
- KBS-3 MLH består av ca 250 m långa deponeringshål borrade i väggen av en transporttunnel. Kapslarna deponeras i en rad efter varandra i positioner som separeras med kompakterad bentonit.

Den karakteristiska skillnaden mellan metoderna framgår av figur 1.

Möjligheter att placera två kapslar i varje deponeringshål övervägs men utgör en framtida möjlig optimering av KBS-3 V-systemet beroende på tillåten värmebelastning i djupförvaret.



Figur 1. KBS-3 med varianter på deponeringsmetoden.

3 Underlag för jämförelsen

3.1 Uppdatering av KBS-3 MLH-metoden

De tekniska förutsättningarna för KBS-3 MLH har förändrats sedan PASS-studien genomfördes vilket medfört behov av en översyn av kunskapsläget om metoden som underlag för jämförelsen.

Tidigare utformning av KBS-3 MLH-metoden baserades på borrning av deponeringshål med horisontell stigortsborrning. Detta innebär att det är nödvändigt att utföra borrarngen mellan två tunnlar. En viktig förutsättning vid översynen av KBS-3 MLH-metoden har varit att deponeringshålen ska borraras med tunnelbörningsteknik (TBM). Härvid erfordras inga så kallade "baktunnlar" som måste återfyllas vid förslutning av djupförvaret.

Översynen av KBS-3 MLH-metoden har bland annat omfattat studier av teknik för TBM-borrning av långa horisontella deponeringshål och deponering av kapslar. Den bormaskin som under 1998 och 1999 har använts för borrning av deponeringshål i Äspö är en ombyggd maskin för horisontell tunnelbörning med en diameter på ca 1,75 m. Horisontell börning med sådana maskiner är vanlig dock ej i hårt berg. Erfarenheter från borrarngen av 13 stycken, ca 8 meter djupa deponeringshålen i Äspö, har varit goda. Baserat på dagens kunskapsläge har en kostnadsberäkning och byggriskvärdering för börning av horisontella deponeringshål med aktuell diameter utförts.

Uppdateringen visar att KBS-3 MLH-metoden bör kunna uppfylla högt ställda krav på funktion och säkerhet.

3.2 Metod- och maskinutveckling för deponering av kapslar

Som underlag för jämförelsen av deponeringsmetoder har idéstudier avseende olika deponeringsmetoder och maskinutrustningar för deponering av kapslar med använt kärnbränsle utförts. Målsättningen har varit att visa att det går att genomföra en säker deponering samt att, baserat på föreslagna maskinutrustningar, bestämma lämplig storlek på deponeringstunnlarna.

Studerade maskiner och deponeringsmetoder omfattar alternativ med eller utan omslutande strålskydd i deponeringstunnlarna, alternativ där kapseln vrids inne i deponeringstunneln och alternativ där kapseln hanteras stående eller liggande under hela deponeringsprocessen. Analysen omfattar fördelar och nackdelar för respektive metod samt en felfunktionsanalys som underlag för analysen om deponeringen ska utföras med eller utan strålskyddad kapsel. Baserat på kravet om ett omslutande strålskydd och tekniska förutsättningar rekommenderas några olika metoder för det fortsatta utvecklingsarbete.

En expertgrupp har bistått SKB med råd avseende maskinutveckling. Expertgruppen har bedömt det möjligt att konstruera och tillverka väl fungerande deponeringsutrustningar för både vertikal och horisontell singeldeponering (KBS-3 V och H). Expertgruppen har vidare bedömt det möjligt att utveckla och bygga en väl fungerande deponeringsutrustning för seriell, horisontell deponering i långa deponeringshål (KBS-3 MLH).

3.3 Analys av strålskyddets betydelse under deponeringen

KBS-3-systemet baserades fram till 1996 på hantering av kapslarna i deponeringstunnlarna utan omslutande strålskydd. Allt deponeringsarbete planerades att utföras med fjärrstyrning. Vid deponering var det tänkt att skärma av deponeringstunnlarna med en strålskyddsvägg. Motivet till denna lösning var att minimera storleken på deponeringstunnlarna för att därigenom reducera kostnaden för djupförvaret.

Utförda studier av strålskyddets betydelse omfattade en genomgång av några möjliga deponeringsmetoder och maskinutrustningar, med och utan omslutande strålskydd, från strålningssynpunkt. Genomgången omfattar dels en normal deponeringsprocess, dels strålningsaspekter vid fel och missöden. Baserat på dessa genomgångar utfördes en "feleffektanalys" för några studerade maskinkonstruktioner. Syftet med analysen var bland annat att ta fram ett underlag för en värdering av hanteringen av kapslar med eller utan strålskydd i deponeringstunnlarna.

Kostnaden för deponering med strålskydd bedömdes vara ca 100 Mkr högre (1997 års prisnivå) än för alternativet utan strålskydd. I kostnadsjämförelsen ingår kostnader för avhjälpandet av möjliga fel och olyckshändelser. Den högre kostnaden för deponering med strålskydd beror på att deponeringstunneln måste byggas med större tvärsnitt för att rymma deponeringsutrustningen.

Baserat på den utförda studien och bedömningar av anlitade experter har SKB beslutat att kapslarna under hela deponeringsprocessen ska vara skyddade av ett omslutande strålskydd. Strålskyddet kommer att bestå av en cylinder av stål och plast, ensam eller tillsammans med den bentonit som ska omgärda kapslarna i deponeringshålen vid det alternativ när "hela paket" deponeras.

3.4 Utformning av deponeringsområdet som underlag för jämförelse

Jämförelsen av studerade varianter av KBS-3-systemet begränsades till en jämförelse med avseende på deponeringshål och deponeringstunnlar. I tabell 1 redovisas en sammanställning över viktiga tekniska data för respektive deponeringsmetod.

Utformningen av transporttunnlarna blir i princip densamma för de olika varianterna men med vissa variationer beroende på avståndet mellan deponeringstunnlarna. För att rymma tunnelborrningsmaskiner och möjliggöra fri passage under borring av deponeringshål har bredden på transporttunnlarna ökat med 1 m för KBS-3 MLH.

Avståndet mellan kapslarna bestäms av maximalt tillåten temperatur på kapslarnas yta samt i den omgivande bentoniten. För att fastställa det minsta avståndet mellan kapslarna och lämpligt avstånd mellan deponeringstunnlar och deponeringshål har temperaturberäkningar för respektive metod utförts.

Med hänsyn till den höga kostanden för att bygga och försluta deponeringstunnlarna har förslag till deponeringsutrustningar där målsättningen har varit att minimera storleken på deponeringstunnlarna tagits fram. Storleken på deponeringstunnlarna baseras på föreslagna deponeringsmetoder och maskinutrustningar för respektive deponeringsmetod.

Tabell 1. Tekniska specifikationer för olika deponeringsmetoder.

Förvarsdel	KBS-3 V	KBS-3 H	KBS-3 MLH
Kapslar:			
Deponeringsposition	Vertikal	Horisontell	Horisontell
Dimension L/Ø (m)	4,83/1,05	4,83/1,05	4,83/1,05
Förvarsutformning:			
Deponeringstunnlar, L (m)	250	250	–
Deponeringstunnlar, Ø (m)			
Tunnlar borras	5,0	6,2	–
Avstånd mellan Deponeringstunnlar (m)	40	60	–
Deponeringshål Ø (m)	1,75	1,75	1,75
Deponeringshål L (m)	7,83	7,83	250
Centrumavstånd mellan deponeringshål (m)	6,3	7,1 (i resp. vägg)	40
Centrumavstånd mellan kapslar (m)	6,3	7,1 (i resp. vägg)	6,0 (centrumavstånd)
Bentonitbarriär:			
Material	Kompakterad bentonit	Kompakterad bentonit	Kompakterad bentonit
Tjocklek vid deponering, sida/botten/topp (m)	0,29/0,5/1,5	0,31/0,5/1,5	0,31/0,5/0,6
Tjocklek efter svällning, sida/botten/topp (m)	0,35/0,5/1,5	0,35/0,5/1,5	0,35/0,5/0,6
Återfyllnad av deponeringstunnlar:			
Plugg mellan bentonit och deponeringstunnel	1 m bentonit/ bergkross (15/85)	1 m bentonit/ bergkross (15/85)	–
Deponeringstunnel	Bentonit/bergkross (15/85)	Bentonit/bergkross (15/85)	–
Plugg mot transporttunnel	Betong, eventuellt inklusive bentonit	Betong, eventuellt inklusive bentonit	Betong, eventuellt inklusive bentonit

4 Metodik för jämförelse och rangordning

4.1 Inledning

Jämförelsen av deponeringsmetoderna har utförts med en systematisk metodik där olika kriterier för jämförelse organiseras i hierarkiska strukturer. Jämförelsen och rangordningen av metoderna har utförts i två steg. I ett första steg utförs jämförelsen med avseende på delmålen ”Långsiktig funktion och säkerhet”, ”Teknik” och ”Kostnader” var för sig. I ett andra steg görs en sammanvägning av jämförelsen av delmålen till en slutlig rangordning av metoderna.

Jämförelsen med avseende på ”Långsiktig funktion och säkerhet” har i tillämpliga delar baserats på den metodik som använts vid genomförandet av Säkerhetsanalysen SR 97 /B-2/.

Omfattningen av de tre delmålen beskrivs nedan:

- ”Långsiktig funktion och säkerhet” berör fastställda krav och kriterier samt den känslighet olika barriärers funktion har mot existerande osäkerheter och mot varierande händelser i förvarets geologiska miljö efter förslutning.
- ”Teknik” berör de metoder och processer som erfordras för att åstadkomma produkten (deponerad kapsel och ett förslutet djupförvar) med den kvalitet som erfordras för att uppnå erforderlig långsiktig funktion och säkerhet.
- ”Kostnader” omfattar de frågor och faktorer som i princip skiljer systemen åt genom olika utföranden och att billigare eller dyrare metoder eller utrustningar kan användas.

Jämförelsen med avseende på delmålen ”Långsiktig funktion och säkerhet” och ”Teknik” baseras på en bedömning av fördelar (+) och nackdelar (–) för olika kriterier i hierarkin. Jämförelsen med avseende på delmålet ”Kostnader” baseras på kostnadsberäkningar för de olika metoderna.

Jämförelsen av deponeringsmetoderna har begränsats till att omfatta de aktiviteter som berör deponeringstunnlarna och deponeringshålen. Övriga delar av djupförvaret som ramp ner till centralområdet, schakt till markytan, centralområdet och transporttunnlarna påverkar inte jämförelsen då dessa anläggningsdelar i stort blir lika för samtliga studerade metoder.

4.2 Jämförelse av deponeringsmetoder med avseende på långsiktig funktion och säkerhet

4.2.1 Metodik för jämförelse av säkerhet

Jämförelsen med avseende på långsiktig funktion och säkerhet har fokuserats på deponeringsprocessen och de processer som påverkar de olika barriärernas funktion: kapsel, bentonitbarriären kring kapseln och återfyllnaden av tunnelsystemet under förvarets livslängd på minst 100 000 år. Scenarier som påverkan av glaciation och jordbävningar samt mänskliga aktiviteter berörs endast översiktligt.

Inom ramen för arbetet med Säkerhetsstudien SR 97 har de processer som påverkar den långsiktiga funktionen och säkerheten identifierats. Betydelsen av de olika processerna har klassats och jämförelsen av deponeringsmetoderna baseras på de processer som kan ge tydlig påverkan på den långsiktiga funktionen och säkerheten. Processer som bedöms ge liten inverkan, eller där det är osäkert om processen påverkar säkerheten, har inte behandlas i jämförelsen.

Jämförelsen och rangordningen av deponeringsmetoderna har utförts med avseende på:

- långsiktig funktion och säkerhet för förvarssystemet,
- migration av radionuklider från en korroderad kapsel. Kapselns livslängd är minst 100 000 år,
- migration av radionuklider från en kapsel med en upptäckt defekt vid tillverkningen, till exempel por i en svets.

Analysen av transporten av radionuklider från en kapsel med ett outhärdat hål vid deponeringen baseras på att bentonitbarriärens egenskaper uppfyller gällande konstruktionsförutsättningar.

Jämförelsen och rangordningen har utförts i två steg:

1. Jämförelse av deponeringsmetoderna med avseende på funktionen hos respektive barriär.
2. Identifiering av betydelsefulla olikheter som påverkar rangordningen av deponeringsmetoderna.

Vid jämförelsen och rangordningen av deponeringsmetoderna har hänsyn tagits till om långsiktig funktion och säkerhet kan påverkas och förbättras genom olika tekniska åtgärder.

4.2.2 Rangordning

Jämförelsen av deponeringsmetoder med avseende på långsiktig funktion och säkerhet. Jämförelsen baseras på betydande olikheter mellan metoderna som påverkar valet av deponeringsmetod. Jämförelsen med avseende på migration av radionuklider baseras främst på risken för degradering av kapslarna. Risken för migration av nuklider från en kapsel med en initial skada bedöms vara mycket liten då sannolikheten för eventuella skador redan vid deponeringen är mycket liten och för att barriärernas funktion inte ska vara de förväntade vid tidpunkten för eventuella utsläpp.

Kapsel

Valet av deponeringsmetod påverkas inte av några frågeställningar som berör kapseln med använt bränsle. Förekommande skillnader med avseende på migration av radionuklider från en stående respektive liggande kapsel har inte bedömts påverka valet av deponeringsmetod.

Tabell 2. Jämförelse med avseende på långsiktig funktion och säkerhet. Jämförelsen redovisas som bättre +, sämre - eller lika med KBS-3 V. Bedömningar inom parentes () innebär att skillnaderna är små.

Barriär	Långsiktig funktion och säkerhet		Möjlighet att påverka jämförelsen genom tekniska åtgärder	
	KBS-3 H	KBS-3 MLH	Ja	Nej
Kapsel	=	=		X
Bentonitbarriären	(-)	-	X	
Återfyllnad	(+)	+	(X)	X
Närfältsberget	=	=		X
Omgivande berg	=	(+)		X

Bentonitbarriär

Horisontell inplacering kan med föreslagen teknisk utformning medföra något lägre densitet och ojämn svällning av bentonitbarriären. Osäkerheten bedöms öka vid deponering i långa horisontella deponeringshål (KBS-3 MLH). Genom lämplig utformning av bentonitbarriären och utveckling av teknik för inplacering av bentonitblocken bedöms det vara tekniskt möjligt att minska rådande osäkerheter och bedömda skillnader mellan deponeringsmetoderna.

Det har bedömts att behovet av konstruktionsmaterial, till exempel injekteringsmedel och bergbultar, och mängden främmande material från olika typer av aktiviteter som till exempel fragment från däck kommer att bli större i de långa horisontella deponeringshålen, KBS-3 MLH, jämfört med deponeringshålen vid singeldeponering. Dessa material kan negativt påverka bentonitbarriärens egenskaper på lång sikt. Genom att undvika ett berg som kräver omfattande injektering och förstärkning, samt genom att begränsa mängden främmande material, är det möjligt att minska förekommande skillnader.

Återfyllning av tunnlar

Tunnlarna i djupförvaret kan utgöra transportvägar för radionuklider om återfyllnadsmaterialet bryts ner eller om uppställda konstruktionskrav inte kan innehållas under byggandet. Den tunnelvolym som måste återfyllas är avsevärt lägre för KBS-3 MLH jämfört med övriga studerade metoder. Denna skillnad beror på layouten för respektive metod och kan inte påverkas genom olika tekniska åtgärder.

Förekomsten av konstruktionsmaterial och främmande material samt förekommande biologisk aktivitet i tunnlar kan negativt påverka såväl den kortsiktiga som de långsiktiga egenskaperna i återfyllnadsmaterialet. Genom tekniska åtgärder kan inverkan från dessa processer i viss mån reduceras.

Omgivande berg

Förekomsten av deponeringstunnlar för KBS-3 V och KBS-3 H kan eventuellt öka transporten av radionuklider genom berget närmast deponeringstunnlarna om den hydrauliska konduktiviteten i tunnelns återfyllnadsmaterial blir högre än i omgivande berg. Någon ytterligare skillnad av betydelse relaterad till det omgivande berget har inte identifierats. Försök visar att utbredningen av den påverkade zonen kring sprängda tunnlar normalt är större än kring borrarade tunnlar. Om detta är fallet kan denna effekt ge negativ inverkan på KBS-3 V och KBS-3 H men inte för KBS-3 MLH som saknar deponeringstunnlar. Om deponeringstunnlarna byggs med hjälp av tunnelborrning kommer inverkan av denna olägenhet att reduceras.

Övriga scenarier

Händelser orsakade av glaciation (istider), jordbävningar och mänskliga aktiviteter kan påverka funktionen av djupförvaret och förutsättningarna för transporter av radionuklider till biosfären. Den största skillnaden mellan metoderna med avseende på dessa händelser är skillnaden i mängden utbrutet berg och layouten av djupförvaret. Mängden utbrutet berg blir avsevärt mycket större för KBS-3 V och KBS-3 H jämfört med KBS-3 MLH. Det råder relativt stora skillnader mellan metoderna med avseende på antalet tunnlar och kapslarnas inbördes placering. För KBS-3 V och KBS-3 H placeras kapslarna var och en i individuella deponeringshål medan kapslarna för KBS-3 MLH ligger efter varandra i ett långt deponeringshål åtskilda av ca 1m kompakterad bentonit.

Sannolikheten för någon form av påverkan bedöms vara mindre för KBS-3 MLH på grund av mindre volym utbrutet berg medan effekten vid eventuella händelser kan bli mera omfattande eftersom flera kapslar kan bli påverkade.

4.2.3 Värdering av jämförelse av säkerhet

De huvudsakliga skillnaderna mellan deponeringsmetoderna som kan påverka den långsiktiga funktionen och säkerheten utgörs av:

- Avståndet mellan kapslarna och förekomsten av återfyllda deponeringstunnlar.
- Uttagen bergvolym.
- Riktningen på deponeringshålerna (vertikal eller horisontell).

Vissa olikheter kan påverkas genom tekniska åtgärder. Jämförelsen visar att skillnaden mellan varianterna av KBS-3-systemet är små med avseende på långsiktig funktion och säkerhet. Ingen av de identifierade skillnaderna är av sådan betydelse för den långsiktiga funktion och säkerhet eller risken för spridning av radionuklider att någon av de studerade deponeringsmetoderna kan bedömas var olämplig. KBS-3 MLH har stora möjligheter att utvecklas till ett robust förvarssystem med fördelar i ett långsiktigt perspektiv. Det erfordras dock ett relativt omfattande forsknings- och utvecklingsarbete för att KBS-3 MLH ska bli en lika förtroendegivande och robust metod som referensmetoden KBS-3 V.

Skillnaden mellan KBS-3 V och KBS-3 H är liten. Fördelarna med KBS-3 H är relaterade till färre deponeringstunnlar och därigenom en något mindre utbruten bergvolym. De huvudsakliga nackdelarna med KBS-3 H är relaterade till horisontell inplacering av bentonitbarriären och kapslarna. Jämförelsen visar att det inte finns någon anledning att överge KBS-3 V för KBS-3 H med avseende på långsiktig funktion och säkerhet.

4.3 Jämförelse av deponeringsmetoder med avseende på teknik

4.3.1 Metodik för jämförelse av teknik

Den jämförelse mellan KBS-3 V och H som gjorts är baserad på borrade deponeringstunnlar men jämförelsen är lika relevant för system där deponeringstunnlarna byggs genom borrhning och sprängning.

Som underlag för jämförelsen har olika kriterier som kan påverka valet av deponeringsmetod med avseende på teknik sammanställts i en hierarkisk struktur. På hierarkisk nivå 1 har jämförelsen utförts med avseende på följande kriterier:

- Teknisk genomförbarhet.
- Geundersökningar.
- Projektering.
- Utbyggnad.
- Deponering (drift).
- Miljö.
- Mänskligt intrång efter förslutning.

Jämförelsen med avseende på teknik som beskrivs i föreliggande rapport är utförd stegvis på basis av en kvalitativ jämförelse av olika kriterier enligt följande:

- Identifiering och beskrivning av kriterier som kan påverka jämförelsen.
- Vid en första genomgång av kriterierna fastställs vilka som har signifikant betydelse för jämförelsen (klassning av kriterierna) och som ska ingå i den slutliga jämförelsen.
- Slutlig jämförelse och värdering. I värderingen ingår en bedömning av behovet av teknisk utveckling för de olika deponeringsmetoderna.

4.3.2 Beskrivning av kriterier för jämförelse av teknik

Teknisk genomförbarhet

Utgångspunkten för jämförelsen har varit att alla studerade deponeringsmetoder bedöms vara tekniskt genomförbara i fråga om utbyggnad samt deponering och förslutning. Skillnader föreligger dock mellan metoderna vilka i varierande grad är baserade på ”känd teknik”, ”delvis känd teknik” och ”oprövad teknik”.

Geoundersökningar

Jämförelsen med avseende på geoundersökningar omfattar förutsättningarna för att utföra undersökningar från markytan och på förvarsnivån. Av stor betydelse är signifikansen i den slutliga geologiska modellen som kan variera beroende på förvarsutformningen. Jämförelsen omfattar möjligheterna att utföra erforderliga undersökningar och prediktioner med avseende på planerade förvarsutformningar.

Eftersom layouterna är relativt lika begränsas jämförelsen till en analys av möjligheterna att identifiera strukturer (sprickor i berget) som inte får skära deponeringstunnlarna eller deponeringshålen.

Projektering

Jämförelsen omfattar möjligheten att anpassa förvaret till rådande geologiska förhållanden, flexibilitet med avseende på deponeringsnivå, möjligheten att bygga ett förvar på flera nivåer i bergmassan (ca 100 m mellan nivåerna), den geografiska utbredningen av förvaret samt inverkan på förvarets utformning av varierande geologiska förhållanden.

Utbyggnad

Jämförelsen med avseende på utbyggnad är begränsad till byggandet av deponeringstunnlar och borrhål av deponeringshål. Jämförelsen innefattar arbetarskydd och säkerhet för förvaret och dess funktion under utbyggnadsskedet.

Deponering (drift)

Deponering, driftsskedet, omfattar samtliga aktiviteter från inplacering av bentonitbarriären i deponeringshålen, transport och deponering av kapslar samt återfyllnad av deponeringstunnlarna med en blandning av bergkross och bentonit. Kriteriet deponering omfattar också säkerheten för kapslarna och arbetarskyddet under deponeringsprocessen samt övervakning och kontroll efter förslutningen av förvaret.

Miljö

Jämförelsen med avseende på miljö omfattar bygg- och driftsskedet. Frågeställningar som berör utsläpp av radionuklider ingår i jämförelsen med avseende på långsiktig funktion och säkerhet. De kriterier som jämförs är areell utbredningen av förvaret, volym utbrutet berg, olika byggnadsaktiviteter och emissioner på markytan av buller, avgaser etc, påverkan på grundvattnet i anslutning till djupförvaret och förbrukning av icke förnybara resurser. Skillnaderna med avseende på miljön är främst relaterad till uttagen bergvolym, det vill säga storleken på förvaret.

Mänskligt intrång efter förslutning

Mänskligt intrång efter förslutning omfattar avsiktligt och oavsiktligt intrång. Avsiktligt intrång kan som exempel innebära att någon med vilja fysiskt skadar förvaret. Exempel på oavsiktligt intrång är om någon borrar in i lagret av misstag, till exempel vid malm-prospektering.

4.3.3 Jämförelse med avseende på bästa tekniska lösning

I tabell 3 presenteras en jämförelsen mellan studerade deponeringsmetoder med avseende på ”bästa tekniska lösning”. I tabellen jämförs deponeringsmetoderna KBS-3 H och KBS-3 MLH med referensmetoden KBS-3 V. Jämförelsen redovisas som bättre (+), sämre (-) eller lika (=) med referensmetoden.

Av tabell 3 framgår det att KBS-3 V bedöms vara den bästa, eller vara likvärdig, med övriga studerade metoder med avseende på alla studerade kriterier förutom ”Miljö”.

Samtliga deponeringsmetoder har bedömts vara tekniskt genomförbara. Eftersom KBS-3 V har studerats mest ingående, utvecklingsarbetet har pågått under lång tid och att vissa bedömningar kan baseras på fullskaliga försök vid Äspö, måste metoden värderas före de två andra studerade metoderna. Detta innebär inte att KBS-3 H och KBS-3 MLH är sämre metoder ur teknisk synvinkel utan att fördjupade studier erfordras för att en värdering ska kunna göras med samma signifikans.

Då metoderna baseras på, i princip, samma grundlayout och deponeringsdjup föreligger inga avgörande skillnader mellan metoderna med avseende på kriterierna ”Geundersökningar” och ”Projektering”.

KBS-3 V och KBS-3 H baseras på samma utformning av deponeringstunnlar och deponeringshål. Genom likartad utformning kommer samma, och väl beprövade bergschaktnings- och borrhingsmetoder att kunna tillämpas vid utbyggnaden av förvaret.

Tabell 3. Jämförelse med avseende på bästa tekniska lösning. Jämförelsen redovisas som bättre +, sämre - eller lika = med KBS-3 V.

Kriterium på hierarkisk nivå 1	KBS-3 H	KBS-3 MLH
Teknisk genomförbarhet	-	-
Geundersökningar	=	=
Projektering	=	=
Utbyggnad	=	-
Deponering	-	-
Miljö	=	+
Mänskligt intrång efter förslutning	=	=

Erforderliga maskiner för borrhningen av deponeringshålen för KBS-3 MLH finns tillgängliga på marknaden. Borrhning av hål i aktuell dimension och i hårt kristallint berg är dock inte lika förekommande som tunnelborrhning i mera normala dimensioner. För KBS-3 MLH erfordras specialanpassad utrustning för att utföra injekterings- och förstärkningsarbeten i de små och långa deponeringshålen. KBS-3 MLH måste därför i dagsläget rangordnas efter KBS-3 V och H med avseende på "Utbyggnad". Det bedöms dock att KBS-3 MLH med måttliga utvecklingsinsatser kan nå samma tekniska mognad som KBS-3 V och H.

Tyngdpunkten vid en jämförelse ska läggas på kriterier som påverkar den långsiktiga funktionen och säkerheten. Med nuvarande utformning kommer bentonitbarriären att erhålla något högre densitet och därmed lägre konduktivitet vid vertikal deponering. Detta beror på möjligheten att efterfylla spalten mellan berg och bentonitbarriären med bentonitpellets. För att påskynda bentonitens vattenmättnad och homogenisering finns det ett önskemål att efterfylla kvarstående spalter med vatten. Om vattenfyllning blir ett krav, måste speciella metoder utvecklas för vattenfyllning vid horisontell deponering. Med hänsyn till bentonitbarriärens funktion rankas KBS-3 V före metoderna med horisontell deponering.

En tydlig fördel för KBS-3 V och KBS-3 H är att deponeringen av kapslar utförs i individuella deponeringshål. Varje deponering blir en avslutad deponeringsprocedur vilket bedöms vara fördelaktigt ur kvalitets- och säkerhetssynpunkt.

Utveckling av deponeringsmetoder och maskinella utrustningar har nått olika lång men det bedöms att det går att utveckla metoder och utrustningar för samtliga studerade deponeringsmetoder.

Med avseende på "Miljö" finns det fördelar för KBS-3 MLH på grund av mindre utbruten bergvolym. Skillnaden mellan metoderna är i praktiken liten då den utbrutna bergvolymen för samtliga alternativ är måttliga jämfört med andra stora anläggningsprojekt och gruvverksamhet. Dessutom blir, på grund av den långa projekttid, den årliga uttagna bergvolymen relativt liten.

Baserat på dagen kunskapsläge (1999) rankas deponeringsmetoderna i nedanstående ordning med avseende på "bästa tekniska lösning" där det lägsta nummer utgör den bästa metoden:

- 1) KBS-3 V
- 2) KBS-3 H
- 3) KBS-3 MLH

Genom fortsatt teknisk arbete bedöms det fullt möjligt att utveckla samtliga studerade metoder till fungerande djupförvarssystem. För horisontell deponering är det nödvändigt att se över uppbyggnaden av bentonitbarriären och eventuellt behov av efterfyllnad med vatten. För KBS-3 MLH utgör inflödet av vatten till det långa deponeringshålet en speciell förutsättning som måste studeras i detalj. Eventuell påverkan på bentonitbarriären samt eventuella krav på ett begränsat inflöde av grundvatten måste studeras. För att nå samma tekniska mognad måste horisontell deponering genomgå fullskaleförsök på samma sätt som nu utförs i Äspö HRL för vertikal deponering.

4.4 Jämförelse av deponeringsmetoderna med avseende på kostnader

4.4.1 Metodik

Kostnadsberäkningar för de olika varianterna av KBS-3 metoden har utförts med den så kallade successiva kalkylmetoden. Metoden har anpassats till SKB:s behov och en detaljerad beskrivning av metoden framgår bland annat av PLAN 97 rapporten /B-4/. Även kostnadsdata och vissa tekniska data har hämtats från PLAN 97 rapporten.

Den successiva kalkylmetoden är framförallt framtagen för tidiga projektskeden där osäkerheterna är relativt stora. Genom den successiva kalkylmetoden erhålls ett mått på osäkerheterna i upprättade kalkyler och den visar på punkter eller områden där osäkerheten är som störst och som behöver analyseras närmare.

Kalkylmetoden bygger på att kostnaderna delas upp på ett antal väldefinierade aktiviteter. Aktiviteterna omfattar olika delar av förvaret och olika aktiviteter som exempel deponering av kapslar. För varje aktivitet ansätts tre kostnadsnivåer; en högsta, en trolig och en lägsta kostnad. Baserat på dessa värden ansätts sannolikhetsfunktioner som beskriver olika kostnadsutfall. Den slutliga kostnaden bestäms genom Monte Carlosimulering.

4.4.2 Kostnadsjämförelse

Målet med kostnadsberäkningen har varit att beräkna kostnadsskillnaderna mellan KBS-3 H och KBS-3 MLH jämfört med SKB:s referensmetod KBS-3 V. Sammanfattningsvis är KBS-3 H med 70 % konfidens ca 400 MSEK billigare än KBS-3 V och KBS-3 MLH är ca 1 000 MSK billigare i 1997-års penningvärde.

Den lägre kostnaden för KBS-3 H beror främst på färre deponeringstunnlar medan den lägre kostnaden för KBS-3 MLH främst beror på att denna deponeringsmetod inte har separata deponeringstunnlar utan enbart transporttunnlar.

Vid en värdering av resultatet av kostnadsjämförelsen är det nödvändigt att ta hänsyn till den tekniska mognaden för de olika metoderna och ingående system. För KBS-3 V bedrivs sedan länge ett intensivt utvecklingsarbete som även innefattar fullskaliga försök i Äspö laboratoriet. Detta innebär att det i praktiken inte föreligger någon kostnadsskillnad mellan KBS-3 V och KBS-3 H.

5 Resultat av jämförelse av deponeringsmetoder

En rangordning mellan de studerade deponeringsmetoderna med avseende på delmålen "Långsiktig funktion och säkerhet", "Teknik" och "Kostnader" framgår av tabell 4. I tabellen redovisas även en sammanvägd rangordning av deponeringsmetoderna.

Baserat på dagens kännedom om deponeringsmetoderna utgör deponering av en kapsel i vertikala deponeringshål, KBS-3 V, den rekommenderade deponeringsmetoden. Konceptet är robust och varje kapsel är i närområdet omgiven av en individuell bentonitbarriär. Genom individuell inplacering av kapslarna begränsas möjligheten till påverkan mellan näraliggande kapslar.

Tabell 4. Rangordning av studerade deponeringsmetoder. En ranking med 1 utgör den bästa metoden med avseende på respektive delmål och slutlig rangordning.

Deponeringsmetod	"Långsiktig funktion och säkerhet"	"Teknik"	"Kostnader"	"Rangordning av deponerings-metoderna"
KBS-3 V	1	1	2	1
KBS-3 H	1	2	2	3
KBS-3 MLH	1	3	1	2

Kostnaden för KBS-3 H-metoden är av samma storleksordning som för KBS-3 V-metoden. Med hänsynstagande till kostnaderna för nödvändigt utvecklingsarbete för KBS-3 H och att inga tydliga fördelar har identifierats planeras inget utvecklingsarbete med denna metod i dagsläget.

Utförda analyser visar att KBS-3 MLH-metoden har stor potential för att bli en kostnadseffektiv deponeringsmetod. KBS-3 MLH inbegriper även vissa egenskaper som kan vara fördelaktiga med avseende på långsiktig funktion och säkerhet och som bör studeras mera i detalj.

6 Referenser

- B-1 Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle – KBS-3. Del I–IV. SKBF/KBS, Stockholm, maj 1983.
- B-2 Projekt AlternativStudier för Slutförvar (PASS). Slutrapport. SKB, Stockholm, september 1992.
- B-3 SR 97 – Djupförvarets säkerhet efter förslutning. SKB rapport november 1999.
- B-4 Kärnkraftens slutsteg. Plan 97. Kostnader för kärnkraftens radioaktiva restprodukter. SKB, Stockholm, juni 1997.