

## Systemanalys

**KBS-3-systemet – beskrivning  
med viktiga vägval under systemets  
utveckling samt validering av  
kapseltillverkning och inkapsling**

**Lägesredovisning 2006**

Svensk Kärnbränslehantering AB

November 2006

**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**

**KBS-3-systemet – beskrivning  
med viktiga vägval under systemets  
utveckling samt validering av  
kapseltillverkning och inkapsling**

**Lägesredovisning 2006**

Svensk Kärnbränslehantering AB

November 2006

# Förord

Under huvudrubriken *Systemanalys* har SKB inordnat ett antal dokument som har det gemensamt att de till sitt innehåll omfattar slutförvarssystemet för använt kärnbränsle i sin helhet.

SKB går nu in i ett skede med ansökan för de återstående anläggningarna i slutförvarssystemet. I samband med denna ansökan görs utvärderingar av systemet med avseende på säkerhet, strålskydd och miljö i enlighet med kraven i lagstiftningen. Rapporten omfattar en beskrivning av systemet utifrån ett helhetsperspektiv med redovisning av kopplingar mellan systemets huvuddelar för att få en klar bild av systemet som grund för dessa utvärderingar. Den redovisar också de vägval som gjorts vid utformningen av systemet och de frihetsgrader som i dag finns.

Säkerhetsanalyser avseende slutförvarets långsiktiga funktion baserade på den utformning som SKB ansöker om, den så kallade referensutformningen, redovisas under benämningen SR-Can respektive SR-Site. De förutsättningar som säkerhetsanalyserna bygger på måste kunna uppnås under bygg- och driftskedena och att belägga detta, så kallad validering, är ett av syftena med denna rapport. Valideringen avser systemet i sin helhet vilket förklarar varför rapporten sorteras in under huvudtiteln *Systemanalys*. Rapporten har dock upprättats i anslutning till ansökan för Clab och inkapslingsanläggningen enligt kärntekniklagen (KTL) och valideringen begränsas därför nu till att gälla för kapseltillverkning och inkapsling. Senare, i anslutning till ansökan rörande slutförvaret för använt kärnbränsle, kommer valideringen att redovisas för hela systemet.

Stockholm november 2006

*Per-Arne Holmberg*

Projektledare

## Sammanfattning

Syftet med föreliggande rapport, som ingår i en serie SKB-rapporter under huvudtiteln Systemanalys, är att ge en samlad bild över KBS-3-systemet och utvecklingen fram till dagens utformning samt att inleda valideringen av produktionsprocessen. Beskrivningen tar fasta på det underlag som tagits fram för inkapslingsprocessen och som nu ligger till grund för ansökan för Clab och inkapslingsanläggningen enligt kärntekniklagen KTL.

Arbetet med rapporten startade utifrån ett behov av en omfattande sammanhållen beskrivning och analys av hela KBS-3-systemet och dess kopplingar internt och mot omgivningen, en rapport som skulle kunna utgöra ett fristående underlag till ansökan för Clab och inkapslingsanläggningen. Det stod dock klart relativt tidigt att utvecklings- och projekteringsarbetet för slutförvarsanläggningen inte skulle vara framme så långt att det erforderliga underlaget för helhetsbilden av systemet skulle finnas att tillgå och kunna redovisas. Såväl arbetet som rapporten har därför beskrivits till att omfatta i första hand inkapslingsprocessen men, där så varit möjligt, kompletterat med en överblick av helheten där frågor relaterade till slutförvarsanläggningen behandlats mer utifrån en generisk bakgrund. Geosfären och konstruktioner i berg har helt utelämnats. Senare, i anslutning till ansökan för slutförvarsanläggningen kommer redovisning att utökas till att omfatta hela KBS-3-systemet.

Arbetet med denna rapport har pågått en längre tid samtidigt som annan viktig och systemövergripande dokumentation har tagits fram inom SKB. Fördelningen av hela ämnesområden eller enskilda frågeställningar mellan olika dokument har under arbetets gång varit en i hög grad dynamisk process. Bland de dokument som i dag kompletterar föreliggande rapport inom viktiga områden kan främst nämnas säkerhetsanalysen SR-Can för analys av den långsiktiga säkerheten samt ansökansunderlag för Clab och inkapslingsanläggningen. I den senare ingår som bilagor miljökonsekvensbeskrivning (MKB), dvs miljöanalysen, och en beskrivning av hur de allmänna hänsynsreglerna beaktats.

Av de centrala begrepp som förklaras och används i rapporten är det några som är särskilt viktiga för det valda angreppssättet när det gäller beskrivning av systemet och validering av inkapslingsprocessen.

Referensutformningen är en beskrivning av den tänkta utformningen av olika delar av systemet kopplad till en viss tidpunkt. Referensutformningen kan vara generell eller en specifik platsanpassning av slutförvarsanläggningen. I denna rapport utgör referensutformningen den utformning som föreligger vid ansökan enligt kärntekniklagen för Clab och inkapslingsanläggningen hösten 2006 och utgör basen för den övervägande delen av de beskrivningar som återfinns i rapporten.

Rapporten bygger på antagandet att KBS-3-systemet kan delas upp i två delsystem benämnda KBS-3-förvaret och produktionsanläggningarna. Det förra, som även benämns produkten för att visa förhållandet till produktionsanläggningarna, utgör de delar av slutförvarsanläggningarna som har en långsiktig funktion och som således kopplar direkt till den långsiktiga säkerheten. Produktionsanläggningarna å andra sidan är tidsbegränsade delar i KBS-3-systemet vilka efter avslutad deponering ska avvecklas och rivs.

Begreppet validering ansluter till definitionen enligt den europeiska kvalitetsstandardEN ISO 9000. För produktionsanläggningarna kan det formuleras så att valideringen ska (i) visa att den utformning och de kvalitetskrav som tillsammans utgör specifikationen för KBS-3-förvaret kan uppnås samt (ii) att det finns metoder för att under driftskedet verifiera att dessa specificerade krav är uppfyllda. För delsystemet KBS-3-förvaret avser valideringen att belägga den långsiktiga säkerheten vilket sker i säkerhetsanalysen och redovisas i SR-Can och senare i SR-Site.

Vid sidan av de inledande delarna i rapporten samt en avslutande del som är framåt-blickande och som riktar in sig i första hand på den kommande redovisningen vid nästa ansökan omfattar rapporten fyra centrala delar fördelade kapitelvis. De fyra paragrafer som följer behandlar vart och ett av dessa.

### **Använt kärnbränsle**

Det använda kärnbränslet som ska omhändertas utgörs nästan uteslutande av bränsle från våra kraftproducerande reaktorer. Beroende på reaktortyp talar vi om BWR-bränsle respektive PWR-bränsle. För inkapsling och deponering är skillnaden mellan dessa främst riktad mot uran-innehåll och dimensioner hos de så kallade bränsleelementen dvs den minsta fysiska enhet som normalt hanteras i reaktorn och vid inkapslingen. Skillnaden resulterar i att 12 BWR-element kan rymmas i en kapsel mot 4 PWR element.

Andra typer av bränsle finns i liten mängd, bland annat så kallat MOX-bränsle och äldre bränsle från framförallt Ågestareaktorn. Detta bränsle kan kapslas in i samma typ av kapsel som det övriga bränslet.

Mängden bränsle avgörs av den framtida driften vid reaktorerna. I rapporten exemplifieras detta genom det antal kapslar som erfordras vid olika driftscenarier. Vid 40 års drift skulle detta innebära ca 4 500 kapslar. 60 års drift ger ett kapselantal något över 6 000 och 80 års drift något över 8 000. Referensutformningen bygger på 40 års drift.

### **Vägval under KBS-3-systemets utveckling**

Den historiska utvecklingen av KBS-3-systemet, främst beträffande de så kallade ingenjörsmässiga barriärerna (bränsle, kapsel, buffert etc) beskrivs utifrån tre aspekter (i) den energipolitiska, (ii) SKB:s program för forskning och utveckling samt (iii) systemets utveckling. Beskrivningen utgår från de tidiga åren då det svenska kärnavfallsprogrammet formulerades och inriktningen lades fast och slutar vid den referensutformning som vi i dag baserar vår ansökan på för Clab och inkapslingsanläggningen. Beskrivningen försöker visa på utvecklingen som ett samspel mellan kravställning, forskning och teknikutveckling samt systemutformning och utvärdering av systemet. I rapporten har vi valt att beteckna detta förlopp som en stegvis genomförd systemanalys. Det ena steget har lett till det andra och det är därför svårt att peka på något vägval som skulle vara viktigare än något annat. Med kapseln i fokus kan vi dock nämna några milstolpar.

1983. KBS-3-metoden presenteras i samband med den förestående drifttagningen av Forsmark 3 och Oskarshamn 3.

1992. SKB genomförde en brett upplagd alternativstudie avseende olika kapseltyper både med ett ytterhölje av koppar och som självbärande stål kapsel. Uppföljningen gav 1995 i princip den kapsel vi har i dagens referensutformning: 5 cm kopparhölje som omger en bärande insats av gjutjärn med kanaler för de enskilda bränsleelementen.

2005. Efter ett långt utvecklingsarbete är SKB framme vid den metod för försegling av kapseln som valts att ligga till grund för referensutformningen. Påsvetsning av kopparlocket ska ske genom så kallad friction stir welding, FSW.

Slutligen kan nämnas att beslutet om inriktningen av det kärnbränsleprogram SKB nu följer togs fram första gången 1992 i Fud-program 92. Programmet var viktigt i den bemärkelsen att det nu framlades en konkret plan för hur en djup geologisk deponering av inkapslat använt bränsle skulle realiseras.

### ***KBS-3-förvaret – den färdiga produkten***

Valideringen i denna rapport är riktad mot produktionsanläggningarna och SKB:s förmåga att genom dessa åstadkomma de förhållanden och uppfylla de krav som KBS-3-förvaret innebär och som valideras i säkerhetsanalysen. Med utgångspunkt från detta ges i rapporten en beskrivning av de olika delarna i KBS-3-förvaret och pekas på de egenskaper och den kvalitet som så att säga utgör ”produktspecifikationen” och som ska innehållas vid ”leverans”. Detaljer kan dock endast redovisas för kapseln av skäl som angavs ovan.

### ***Produktionsanläggningarna***

Som en inledning till kapitlet om validering beskrivs produktionsanläggningarna översiktligt. Beskrivningen utgår från ett system uppdelat i ett antal komponenter. Systemet utgör delsystemet produktionsanläggningar och komponenterna är Clab, inkapslingsanläggningen, slutförvarsanläggningens tidsbegränsade delar samt kapselfabriken och transportsystemet. Beskrivningen vänder sig mot fyra områden (i) flödesschema för systemet med avseende på använt kärnbränsle och material för buffert och återfyllning (bergmassor undantagna i denna rapport), (ii) beskrivning av komponenterna (dvs anläggningarna) till utformning och funktion, (iii) beskrivning av kopplingar inbördes mellan komponenterna respektive mellan systemet och omgivningen samt (vi) en översikt av de aktiviteter som återstår från i dag och fram till rutinmässig drift av inkapslingsprocessen och deponeringen.

En viktig aspekt som framkommer vid beskrivningen av kopplingarna är att det andra delsystemet, KBS-3-förvaret, genom det sätt vi ser på systemanalyser, tillhör omgivningen. Frågan om den långsiktiga säkerheten blir för delsystemet produktionsanläggningar på det viset en fråga om att innehålla de specifikationer som gäller för KBS-3-förvarets olika delar. Konsekvensen av avvikelser eller förändrade förutsättningar för dessa delar hanteras inom säkerhetsanalysen.

Beskrivningen av kopplingarna stannar i denna rapport just vid en beskrivning. Användningen av informationen uppkommer först senare när slutförvarsanläggningen integreras fullt ut i beskrivningen. Först då kommer en analys av varianter i anläggningars utformning (berör primärt endast slutförvarsanläggningen) eller variationer i övergripande förutsättningar att bli meningsfull. Dagens begränsning till inkapslingsanläggningen ger inget underlag för uppställning av sådana varianter eller variationer i denna rapport.

### ***Validering av inkapslingsprocessen***

Valideringen utgår ifrån en schematisk uppställning av systemet där alla kontrollstationer är inplacerade och angivna till sin karaktär. Schemat täcker hela systemet men beträffande kontrollpunkterna är det endast de som täcker inkapslingsprocessen som beskrivs detaljerat, medan övriga kontrollpunkter är preliminära och redovisas endast översiktligt. (Kontroller med avseende på berg och bergkonstruktioner är som tidigare påpekats inte medtagna.)

Valideringen tillgår så att vi i rapporten på punkt efter punkt beskriver vad som sker i anläggningen vid den aktuella stationen, vad syftet med detta är, hur arbetsmetoden tagits fram och verifierats samt hur verifieringen ska gå till vid den framtida driften för att säkerställa att kvalitetsmålet har uppfyllts.

De slutsatser som kan dras av beskrivningen i denna rapport begränsas till inkapslingsprocessen. En validering av hela systemet kommer att ske i samband med nästa ansökan om slutförvaret.

Slutsatsen rörande inkapslingsprocessen, med stöd av den beskrivning som ges i föreliggande rapport, är att produktionsprocessen med betryggande säkerhet kommer att kunna möta uppställda kvalitetskrav så som de definieras i dag och så som de utgör underlag för säkerhetsanalysen presenterad i SR-Can.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	11
1.1	Bakgrund	11
1.2	Kort om KBS-3-metoden och anläggningarna i systemet	12
1.3	Varför KBS-3 – en sammanfattning	13
1.4	Kort om tillämpliga lagar och föreskrifter	17
1.5	Expert- och samrådsmöten	18
<b>2</b>	<b>Centrala begrepp samt syftet med rapporten</b>	21
2.1	Centrala begrepp	21
2.1.1	Referensutformning	21
2.1.2	Systemanalysen i SKB:s verksamhet	21
2.1.3	Validering	23
2.1.4	KBS-3-förvaret respektive produktionsanläggningarna	23
2.2	Avgränsningar	26
2.3	Vidareutveckling av syftet med rapporten	29
<b>3</b>	<b>Använt kärnbränsle att omhänderta</b>	31
3.1	Det svenska kärnkraftsprogrammet	31
3.2	Det använda bränslet från kärnkraften	32
3.2.1	Egenskaper hos bränslet	32
3.2.2	Olika typer av bränsle	33
3.2.3	Bränslemängder	35
3.2.4	Bränslets väg mot slutförvaring	36
3.2.5	Läckande bränsle	37
3.3	Övrigt bränsle att omhänderta	38
<b>4</b>	<b>Vägval under KBS-3-systemets utveckling – historik och motiv</b>	39
4.1	KBS-3 – En kort historik	39
4.1.1	Från upparbetning till direktdeponering	40
4.2	SKB:s program för forskning och utveckling	41
4.3	Systemets utveckling	45
4.4	Val av plats för de nya anläggningarna – historik och motiv	52
<b>5</b>	<b>KBS-3-förvaret – den färdiga produkten</b>	55
5.1	Inledande översikt	55
5.2	Kapsel	56
5.2.1	Utformning	57
5.2.2	Krav och förutsättningar	58
5.2.3	Specifikation för kapsel (initialtillståndet)	59
5.3	Buffert	60
5.3.1	Utformning	60
5.3.2	Krav och förutsättningar	61
5.3.1	Specifikation för buffert (initialtillstånd)	61
5.4	Återfyllning i deponeringstunnlar	62
5.4.1	Utformning	62
5.4.2	Krav och förutsättningar	63
5.4.3	Specifikation för återfyllningen (initialtillstånd)	63
<b>6</b>	<b>Produktionsanläggningarna – ett delsystem i KBS-3-systemet</b>	65
6.1	Delsystemet ”produktionsanläggningar”	65
6.2	Schematisk överblick av systemet samt flödesschema	66

6.3	Anläggningarna	70
6.3.1	Clab	70
6.3.2	Kapsel fabriken	72
6.3.3	Inkapslingsanläggningen	72
6.3.4	Slutförvaret för använt bränsle	74
6.3.5	Transportsystemet	76
6.4	Kopplingar mellan systemets komponenter och mot omgivningen	77
6.4.1	Kopplingar mellan komponenterna	78
6.4.2	Kopplingar till omgivningen (exklusive till KBS-3-förvaret)	80
6.4.3	Kopplingar med avseende på den långsiktiga säkerheten	83
6.5	Tiden fram till rutinmässig drift – vad återstår att göra	83
6.5.1	Kapsel fabriken	85
6.5.2	Clab och inkapslingsanläggningen	85
6.5.3	Slutförvaret	85
6.5.4	Transportsystemet	86
<b>7</b>	<b>Validering av kapseltillverkning och inkapsling</b>	<b>87</b>
7.1	Validering av produktionsanläggningarna – en översikt	87
7.2	Kvalitetsledning	87
7.3	Kapslar – tillverkning och inkapsling	89
7.4	Kommentarer rörande deponering och återfyllning	96
<b>8</b>	<b>Referensutformningen – en plattform för fortsatt utveckling</b>	<b>99</b>
	<b>Referenser</b>	<b>101</b>
	<b>Bilaga 1</b> Olika typer av bränsle som är godkända för förvaring i Clab	<b>103</b>
	<b>Bilaga 2</b> Schema med kontrollpunkter	<b>105</b>



# 1 Introduktion

I detta kapitel tar vi upp följande frågeställningar:

- vad avses med begreppet KBS-3-systemet och vad ska detta system prestera,
- varför KBS-3 och vad kännetecknar KBS-3-metoden,
- vilka övergripande krav, främst lagar och förordningar, har relevans för validering och annat som redovisas i rapporten,
- kort om expert- och samrådsmöten som genomförts under utarbetandet av denna rapport.

## 1.1 Bakgrund

SKB har för att möta regeringens krav på en särskild redovisning av systemanalysen för slutförvarssystemet lagt upp en serie rapporter med olika innehåll men med det gemensamma att de utgår från KBS-3-systemet som en helhet. Rapporterna är inordnade under den gemensamma huvudtiteln *Systemanalys*. Syftet med denna rapport, som ingår i denna serie, är att ge en samlad bild över KBS-3-systemet och utvecklingen fram till dagens utformning genom att ta fasta på det underlag som tagits fram för inkapslingsprocessen samt att inleda valideringen av produktionsprocessen. Syftet kommer att beskrivas mer i detalj i kapitel 2 i samband med att vissa centrala begrepp förklaras, bland annat validering.

Bakgrunden till att redovisning enbart tar fasta på KBS-3-systemet, som bygger på den så kallade KBS-3-metoden<sup>1</sup>, utvecklas inte vidare här men en sammanfattning av den systemanalys som lett till slutsatsen att denna metod enligt SKB:s mening är den mest ändamålsenliga ges i avsnitt 1.3.

Arbetet med denna rapport har pågått en längre tid samtidigt som annan viktig och systemövergripande dokumentation har tagits fram inom SKB. Främst kan nämnas säkerhetsanalysen SR-Can för analys av den långsiktiga säkerheten samt ansökansunderlag för Clab och inkapslingsanläggningen. I den senare ingår som bilagor miljökonsekvensbeskrivning (MKB), dvs miljöanalysen, och en beskrivning av hur de allmänna hänsynsreglerna beaktats. Fördelningen av hela ämnesområden eller enskilda frågeställningar mellan de olika dokumenten har under arbetets gång varit en i hög grad dynamisk process och den omfattning av innehållet som presenteras här skiljer sig därför på väsentliga punkter från vad som tidigare presenterats i olika sammanhang. I avsnittet om avgränsningar kapitel 2 ges en närmare presentation av fördelningen så som den ser ut i dag.

Det övergripande syftet med rapporten har också ändrats under arbetets gång, även det i viss mån sammanhängande med utvecklingen inom andra områden eller projekt inom SKB. Arbetet med rapporten startade utifrån ett behov av en omfattande sammanhållen beskrivning och analys av hela systemet och dess kopplingar internt och mot omgivningen, en rapport som skulle kunna utgöra ett fristående underlag till ansökan för Clab och inkapslingsanläggningen. Avsikten var att senare skulle en motsvarande rapport tas fram vid ansökan för slutförvaret.

---

<sup>1</sup> Beteckningen KBS (kärnbränslesäkerhet) tillkom på 70-talet som ett namn på det utvecklingsarbete som krävdes för att fullgöra förpliktelseerna enligt den s k villkorlagen /SFS 1977:140/. Tre huvudrapporter togs fram, KBS-1, KBS-2 och KBS-3. Den senare (1983) beskrev på ett principiellt plan den metod som därefter och fram till i dag utgjort huvudspåret i SKB:s utvecklingsarbete och som nu ligger till grund för SKB:s ansökningar om tillstånd för uppförande av de återstående anläggningarna i systemet. Läs mer om detta i kapitel 4.

Det stod klart relativt tidigt att utvecklings- och projekteringsarbetet för slutförvarsanläggningen inte skulle vara framme så långt att det erforderliga underlaget för helhetsbilden av systemet skulle finnas att tillgå och kunna redovisas i den rapport som nu presenteras. Som en följd av det gavs rapporten då karaktären av en mall eller modellrapport för den rapport som skulle följa i samband med ansökan för slutförvaret. Samtidigt förlorade då rapporten statusen av underlagsrapport i ansökan men av olika skäl bibehölls ambitionen att presentera den för myndigheterna som ursprungligt planerat. Alltså i samband med ansökan för Clab och inkapslingsanläggningen.

Den utveckling som rapportens struktur och innehåll har genomgått under framtagandet har naturligtvis även tagits som en indikation på att det inte torde vara möjligt att i dag, med någon större säkerhet, uttala sig om struktur och innehåll i den motsvarande rapport som är planerad till nästa ansökanstillfälle. Den nu liggande rapportens roll som mall har därför tonats ner vilket bland annat lett till att kapitel eller avsnitt som huvudsakligen har en roll i studiet av slutförvaret har sammanslagits eller utgått.

## 1.2 Kort om KBS-3-metoden och anläggningarna i systemet

KBS-3-metoden är benämningen på en metod att omhänderta använt kärnbränsle för slutlig förvaring och isolering från människor, djur och miljö. I Sverige utgörs det använda bränslet av långa knippen av bränslestavar, så kallade bränsleelement. Detta bränsle kan efter en viss tids avkylning placeras i särskilda behållare (kapslar) för vidare transport till slutförvaring (deponering). Metoden att på detta sätt inkapsla bränsleelementen intakta benämns ”direktdeponering”. Alternativt skulle bränslet kunna upparbetas innebärande att bränsleelementen sönderdelas och, efter att vissa ämnen kemiskt avskiljts, nytt bränsle framställas. Denna metod var aktuell även för Sveriges del i början av 80-talet men övergavs för direktdeponering.

Den primära funktionen hos ett KBS-3-förvar är att isolera det använda kärnbränslet. I andra hand, om isoleringen av någon anledning skulle gå förlorad, ska förvaret fördröja utsläppet av radioaktiva ämnen (radionuklider).

På uppslaget, figur 1-2a och figur 1-2b, illustreras det svenska systemet som bygger på KBS-3-metoden. På vänster sida sammanfattas de delar i systemet som har en långsiktig funktion och i princip kvarstår efter att förvaret förslutits och övergivits. På höger sida visas de anläggningar som därutöver krävs för genomförandet. Uppslaget syftar främst till att ge en snabb överblick av systemet samt att ge en förklaring till flera av de begrepp och uttryck som återkommer frekvent i rapporten.

Principen att skilja mellan långsiktig funktion och genomförande, dvs vänster och höger uppslag, bör observeras då den är central för beskrivningen av hur valideringen beaktas i detta arbete relativt i säkerhetsanalysen. Vänster uppslag kan härvid få illustrera produkten, dvs det som är målet med verksamheten och det som kommer att bestå. Det är också den delen som i första hand är kopplad till den långsiktiga säkerheten, dvs slutförvarets förmåga att isolera bränslet under mycket lång tid. Höger sida illustrerar produktionsanläggningarna vilka kommer att avvecklas när målet är uppnått och verksamheten avslutad. Produkt respektive produktionsanläggningar är två begrepp som återkommer senare i rapporten.

## 1.3 Varför KBS-3 – en sammanfattning

Valet av KBS-3 som huvudinriktning för SKB har en lång historia vilket inte minst kommer att framgå av den historiska återblick som görs i kapitel 4. I slutet av 90-talet, och baserat på det utredningsmaterial som samlats under åren, gjordes en sammanställning av kunskapsläget inom och utom SKB, följt av en systemanalys med syftet att utröna vilket system för omhändertagande av använt kärnbränsle som vid den tiden skulle befinnas vara mest ändamålsenligt.

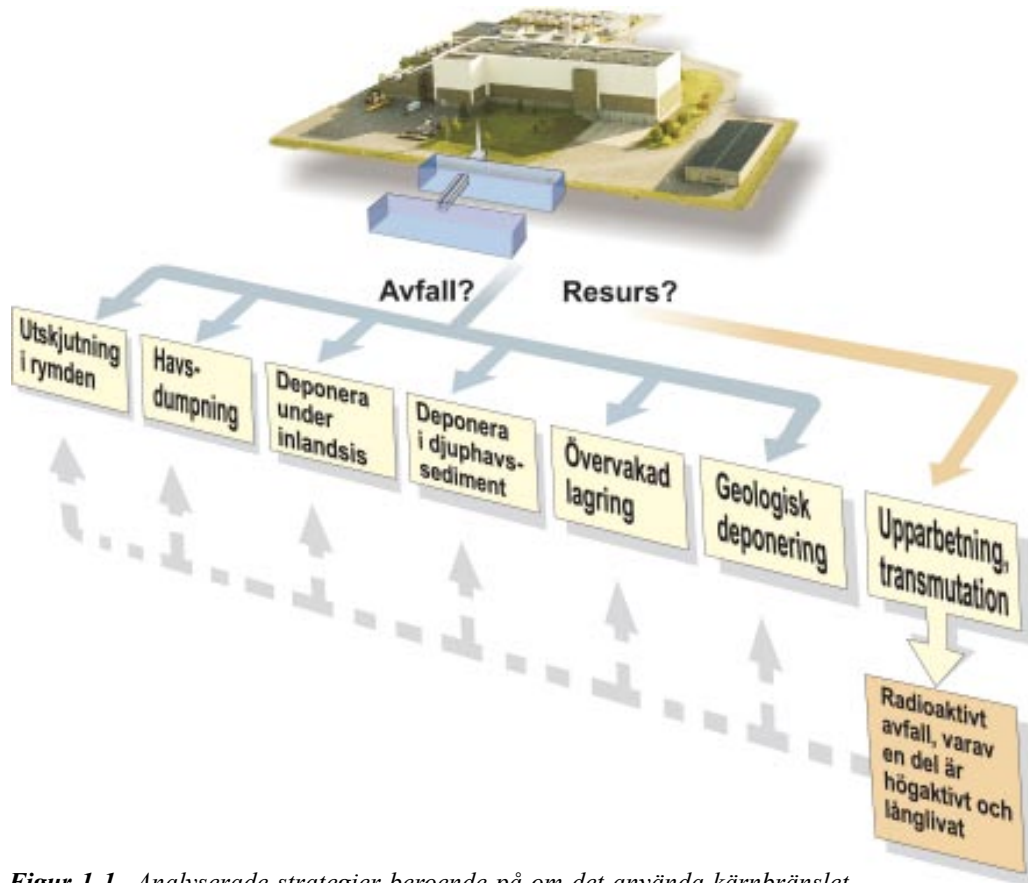
Redovisningen presenterades i rapporten *Systemanalys, Val av strategi och system för omhändertagande av använt kärnbränsle* /1/. Nedanstående utgör en sammanfattning av den diskussion och de slutsatser som presenterades där.

Syftet med rapporten var att genom en systematisk genomgång samlat redovisa de överväganden och argument som lett fram till den föreslagna strategin och metoden. Studien var uppdelad i två steg där det första steget behandlade utvärderingen av olika strategier och det andra utvärderingen av olika metoder inom den strategi som föll ut i första steget. I figur 1-1 visas de strategier som ingick i analysen.

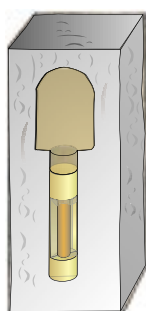
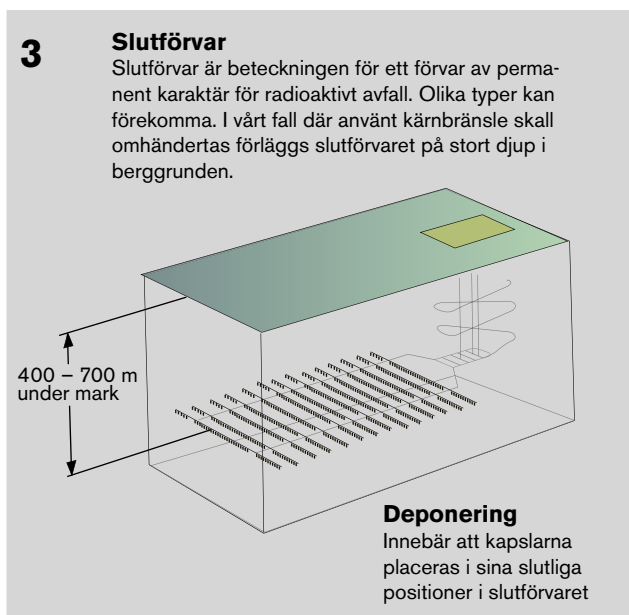
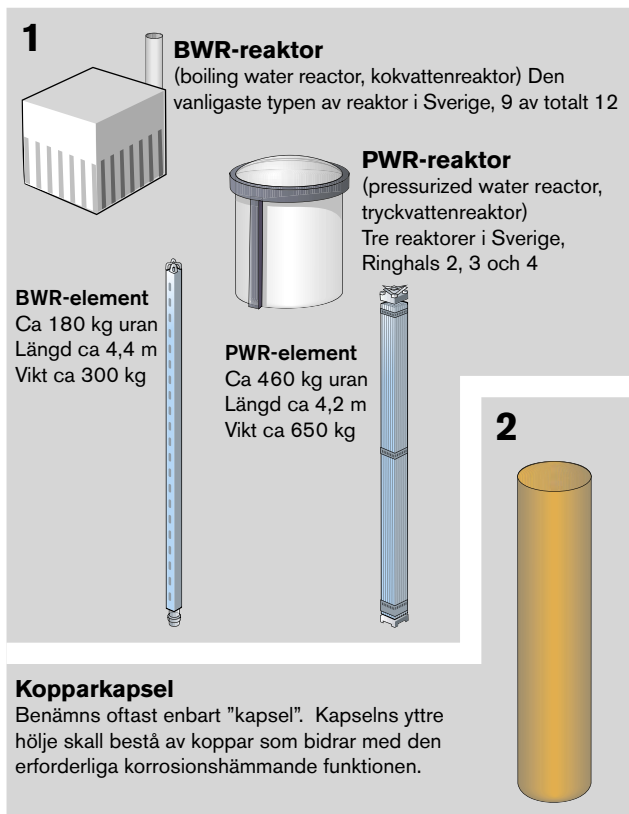
### Krav

Som utgångspunkt för utvärdering av de olika strategierna hade en kravspecifikation upprättats. I denna hade olika krav hämtats in från såväl internationella överenskommelser som svensk lagstiftning med åtföljande föreskrifter. De krav som ingick i utvärderingen delades in enligt följande: (i) övergripande krav, (ii) miljökrav, (iii) säkerhetskrav, (iv) strålskyddskrav samt (v) krav på safeguards (rutiner för kontroll av att kärnämne och kärnavfall inte olovligt sprids).

Med **övergripande krav** menas till exempel att ägarna till kärnkraftverken ansvarar för kärnavfallet ska tas hand om inom landet och att det kan ske på ett säkert sätt. Ett annat exempel på övergripande krav är att man ska sträva mot att undvika att lägga otillbörliga bördor på kommande generationer. Exempel på **miljökrav** är att kommande generationer tillförsäkras en god och hälsosam miljö, samt att återanvändning och återvinning och annan hushållning med material, energi och andra resurser främjas. Exempel på **säkerhetskrav** är att säkerheten ska vila på flerfaldiga barriärer och att händelser och förhållanden som kan påverka barriärerna ska identifieras. Enligt **strålskyddskraven** ska bland annat den joniserande strålningens påverkan på människa och miljö beräknas och kunna accepteras både vid hanteringen av det använda kärnbränslet och i framtiden.



**Figur 1-1.** Analyserade strategier beroende på om det använda kärnbränslet betraktas som ett avfall eller som en resurs.



#### Buffert och bentonit

Bufferten har uppgiften att skydda kapseln samt fördröja utsläpp om kapselns kopparskikt skulle penetreras. Den består av en lera benämnd bentonit som sväller vid vattenupptagning. I torrt tillstånd kan bentoniten genom högtryckspressning formas till block som kan appliceras utanpå kapseln i samband med att denna sätts ner i hålet.

## KBS 3-metoden (tre principer)

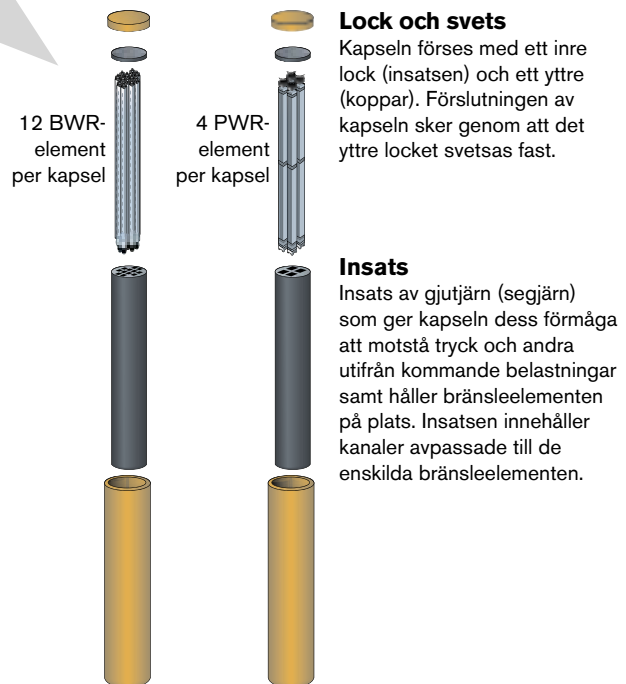
- 1 Direktdeponering av använt kärnbränsle d v s bränslet genomgår ingen uppberedning eller annan behandling före deponering
- 2 Inkapsling av det använda kärnbränslet i kapslar med ett yttre hölje av koppar
- 3 Slutlig förvaring av kapslarna med bränsle på stort djup i det svenska urberget (geologisk deponering). Kapslarna placeras i borrarade hål i berget och omges av en buffert av bentonit.

### Flerbarriärprincipen

Säkerheten efter förslutning ska baseras på flera barriärfunktioner upprätthållna genom ett system av passiva barriärer. Det innebär att slutförvaret efter förslutning ska isolera det använda kärnbränslet från människa och miljö och om isoleringen bryts, fördröja utsläpp av radionuklider från förvaret. Barriärfunktionernas isolering och fördröjning upprätthålls av kapsel, buffert och berg med återfyllda tunnlar.

### Referensutformning

Beskrivning av utformning som är giltig från en definierad tidpunkt och som ska gälla som förutsättning och jämförelsegrund för vidareutveckling av det som beskrivits och sådant som är beroende av det beskrivna för sin vidareutveckling.



### Bränsleelement

Den bränsleenhet som laddas i reaktorn. I en BWR-reaktor ryms samtidigt 450 – 700 element beroende på storleken av reaktorn. I en PWR-reaktor ryms ca 160 element. Ungefär en femtedel av elementen tas ut i en BWR-reaktor varje år och ersätts med nya, medan en tredjedel tas ut och ersätts med nya varje år i en PWR-reaktor.

### Utbränningsgrad

Är ett mått på den energi som utvunnits ur ett element. När utbränningsgraden nått en viss nivå byts elementet ut.

### Resteffekt

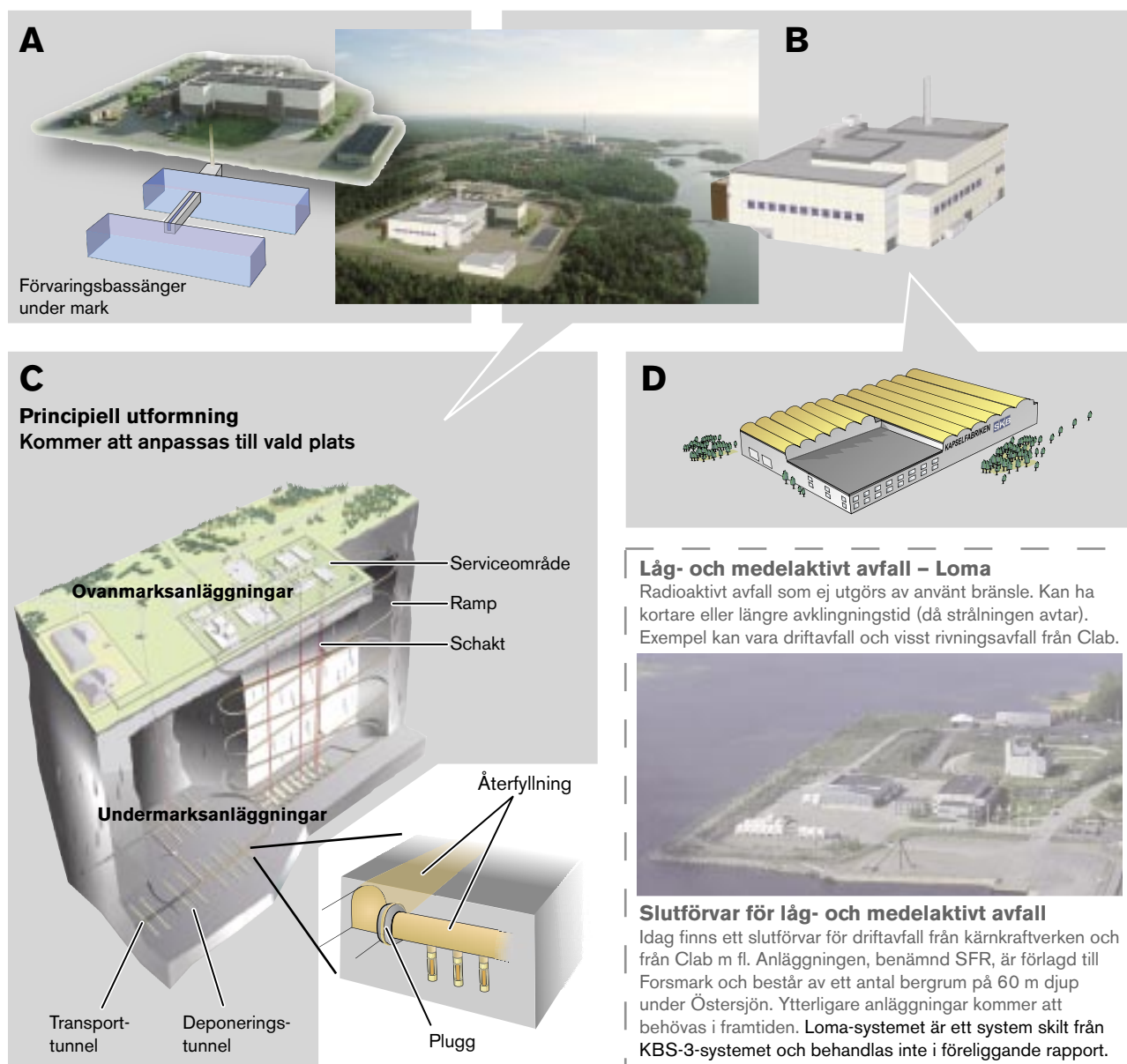
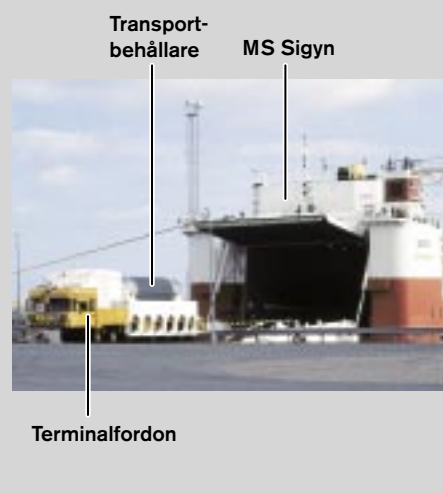
Är ett mått på den värme elementet avger efter att det tagits ur reaktorn. Resteffekten avtar med tiden. Ett element som tagits ur reaktorn måste kylas under lång tid (25 år eller mer) innan det kan inkapslas och slutförvaras.

Figur 1-2a. Olika begrepp inom KBS-3-systemet.

## KBS-3 – Anläggningar

- A** Clab – centralt mellanlager för använt kärnbränsle där bränslet kyls i bassänger och får avklinga (strålning och värmeavgivning avtar) i avvaktan på inkapsling och slutförvaring
- B** Inkapslingsanläggning där det använda kärnbränslet inkapslas i kopparkapslar för vidare transport till slutförvaret
- C** Slutförvar där kopparkapslarna deponeras. Slutförvaret omfattar förutom deponeringsutrymmet för kapslarna alla de sekundära anläggningsdelar och servicefunktioner som krävs för att få kapslarna på plats och i möjligaste mån återställa bergets egenskaper efter avslutad verksamhet.
- D** Kapselns huvuddelar slutbearbetas och kontrolleras. Här inpassas insatsen i det yttre kopparröret. Tillverkningen av huvuddelarna sker hos utvalda leverantörer.
- E** Transportsystem för transport av använt kärnbränsle och färdiga kapslar samt annat radioaktivt avfall. På längre distanser sker i Sverige all sådan transport med fartyg eftersom alla berörda nukleära anläggningar ligger vid kusten.

**E**



Figur 1-2b. Olika begrepp inom KBS-3-systemet.

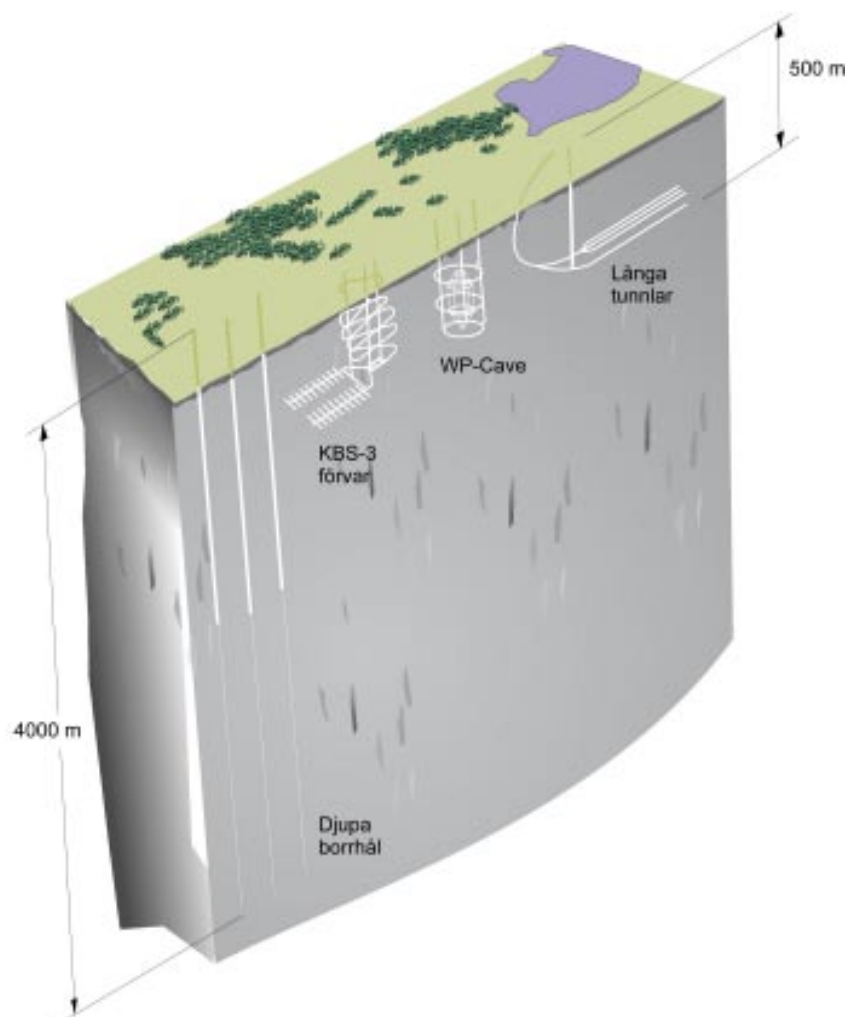
## Geologisk deponering

I en samlad utvärdering mot de uppställda kraven framstod geologisk deponering som det mest fördelaktiga alternativet. Strategin kunde visas uppfylla samtliga krav medan andra strategier kunde ha fördelar avseende vissa krav men inte alla. Till exempel kunde deponering i djuphavs-sediment ha miljö-, säkerhets- och strålskyddsmässiga fördelar, men denna strategi uppfyllde inte kravet på att havet och havsbotten inte får utnyttjas. Utskjutning i rymden kunde ha fördelar avseende safeguards men nackdelar t ex avseende miljö och resursutnyttjande.

Geologisk deponering innebär att det använda bränslet deponeras på djupet i en geologisk miljö som är stabil på mycket lång sikt. I Sverige utgör det kristallina urberget en lämplig geologisk miljö. Grundprincipen för geologisk deponering är att avfallet ska omges av flera passiva barriärer som stöder och kompletterar varandra.

Flera olika metoder att bygga slutförvar i kristallint berg är möjliga, se figur 1-3. De som studerats i Sverige och som ingick i jämförelsen var:

- KBS-3 (avfallet deponeras i ett system av kortare tunnlar på cirka 400–700 m djup).
- Mycket långa tunnlar (avfallet deponeras i ett fåtal parallella flera kilometer långa tunnlar på cirka 400–700 m djup).
- WP-Cave (avfallet placeras tätpackat i en bergvolym inom vilken vattenomsättningen minskats genom olika ingenjörsmässiga ingrepp).
- Djupa borrhål (avfallet deponeras i flera tusen meter djupa borrhål).



Figur 1-3. Exempel på geologisk deponering.

### **KBS-3**

I en samlad utvärdering mot de krav som ställts upp bedömdes KBS-3 vara det mest fördelaktiga alternativet. De argument som talade för KBS-3 var dels hanteringen i driftskedet som medgav individuell kontroll av buffert och kapslar, dels fördelar vid ett eventuellt återtagande av en eller flera kapslar. Vidare ansågs flexibiliteten vid förvarsutformningen tala till fördel för KBS-3. Exempelvis skulle denna kunna medge en bergrumsutformning som kräver mindre uttag av berg om den möjligheten skulle visa sig i framtiden.

## **1.4 Kort om tillämpliga lagar och föreskrifter**

Nedan listas och kommenteras de lagar och föreskrifter som styr utformning, byggande och drift av anläggningarna i systemet liksom den lösning som KBS-3-metoden innebär. Detta rättsliga ramverk kan sägas lägga fast de övergripande kraven på systemet. Till detta kommer olika funktions- och genomförandekrav som bestäms av andra hänsyn. Mer om detta senare står att finna i beskrivningarna under kapitel 5 och 6.

Det är i första hand följande föreskrifter och förordningar som ställer krav på utformningen av systemet samt byggande, drift och avveckling av de ingående anläggningarna:

- Lagen om kärnteknisk verksamhet (SFS 1984:3).
- Strålskyddslagen (SFS 1988:220).
- Föreskrifter kopplade till dessa lagar från tillsynsmyndigheterna SKI (Statens kärnkraftinspektion) och SSI (Statens strålskyddsinstitut).
- Miljöbalken (SFS 1998:808).
- Allmänna krav på industriell verksamhet t ex arbetarskydd.
- Internationella överenskommelser avseende bland annat icke-spridning av kärnämne och kärnavfall – safeguards.

### ***Lagen om kärnteknisk verksamhet (SFS 1984:3) och föreskrifter från SKI***

Lagen om kärnteknisk verksamhet, här kallad kärntekniklagen, innehåller bestämmelser som syftar till att upprätthålla säkerheten vid kärnteknisk verksamhet samt att förhindra spridning av kärnämne. Kärntekniklagen anger att reaktorinnehavaren har det tekniska och ekonomiska ansvaret för att på ett säkert sätt hantera och slutförvara det använda kärnbränslet och det kärnavfall som uppkommer i verksamheten.

Tillsynsmyndigheten SKI, Statens kärnkraftinspektion, beslutar om föreskrifter kopplade till kärntekniklagen. Föreskrifterna innehåller bestämmelser för hur kärntekniklagens intentioner ska tillämpas. De föreskrifter som ur KBS-3-systemets synpunkt reglerar:

- Åtgärder som krävs för att upprätthålla säkerheten vid kärntekniska anläggningar (SKIFS 2004:1).
- Säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall (SKIFS 2002:1).
- Åtgärder som krävs för att skydda kärntekniska anläggningar mot obehörigt intrång och sabotage samt obehörig befattning med kärnämne eller kärnavfall, så kallade fysiskt skydd (SKIFS 2005:1).

### ***Strålskyddslagen (SFS 1988:220) och föreskrifter från SSI***

Syftet med strålskyddslagen är att skydda människor, djur och miljö mot skadlig verkan av strålning.

Tillsynsmyndigheten SSI, Statens strålskyddsinstitut, beslutar om föreskrifter kopplade till strålskyddslagen. Föreskrifterna innehåller bestämmelser för hur strålskyddslagens intentioner ska tillämpas. De föreskrifter som ur KBS-3-systemets synpunkt reglerar:

- Skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall (SSI FS 1998:1).
- Personskydd i verksamhet med joniserande strålning vid kärntekniska anläggningar.

### **Miljöbalken (SFS 1998:808)**

Enligt miljökraven i miljöbalken ska kommande generationer tillförsäkras en god och hälsosam miljö, samt återanvändning och återvinning och annan hushållning med material, energi och andra resurser främjas.

### **Allmänna krav på industriell verksamhet t ex arbetarskydd**

Utöver lagar och förordningar som riktar sig till kärnteknisk verksamhet finns flera lagar av mer allmän karaktär som ställer krav på systemet. Bland dessa lagar kan särskilt nämnas:

- Arbetsmiljölagen (SFS 1977:1160) vars huvudsakliga ändamål är att förebygga ohälsa och olycksfall i arbetet.
- Plan- och bygglagen (SFS 1987:10) som innehåller bestämmelser om planläggning av mark och vatten samt byggande.

### **Internationella överenskommelser och konventioner**

Utöver den svenska lagstiftningen finns internationella överenskommelser och konventioner som Sverige förbundit sig att följa.

1968 undertecknade Sverige det så kallade icke-spridningsavtalet. Detta innebär att vi förbundit oss att använda kärnenergi enbart för fredliga syften och att svenskt kärnämne får kontrolleras av IAEA<sup>2</sup>. Enligt avtalet ska systemet för omhändertagande av använt kärnbränsle vara utformat så att olovlig befattning med kärnämne eller kärnavfall förhindras.

Sverige har även förbundit sig att följa IAEA:s avfallskonvention. Denna trädde i kraft år 2001. Konventionen behandlar säkerhetsfrågor vid hantering av kärnavfall. De övergripande målen är att skydda människor, samhället och miljön mot skadlig strålning och att lindra skadeverkningarna vid en eventuell olycka. Bland annat anger konventionen att inget land kan tvingas ta emot avfall från andra länder.

1972 års konvention om dumpning av avfall och annat material i havet, den så kallade Londonkonventionen, innefattar även dumpning av radioaktivt avfall. I protokoll från 1996 i Londonkonventionen görs ett antal förtydliganden vilka bland annat går ut på att ”Sub-Seabed Disposal” (deponering i havsbottensediment) ska klassas som dumpning i oceanerna och därför förbjudet i internationell lag.

## **1.5 Expert- och samrådsmöten**

Samrådsförfarandet, både för ansökningar enligt miljöbalken (MB) och kärntekniklagen (KTL), regleras av miljöbalkens 6:e kapitel. För en verksamhet som kräver tillstånd enligt miljöbalken, ska samråd hållas med länsstyrelsen, tillsynsmyndigheten och de enskilda som kan antas bli särskilt berörda.

---

<sup>2</sup> IAEA är FN:s atomenergiorgan med säte i Wien.



För vissa typer av verksamheter, till exempel kärnteknisk verksamhet, ska samråd även hållas med de övriga statliga myndigheter, de kommuner, den allmänhet och de organisationer som kan antas bli berörda. Samrådet ska, enligt miljöbalken, avse verksamhetens lokalisering, omfattning, utformning och miljöpåverkan samt innehåll och utformning av miljökonsekvensbeskrivningen.

Både inkapslingsanläggningen och slutförvaret för använt bränsle kräver en samrådsprocess. Eftersom dessa två anläggningar ingår i systemet för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle har SKB samordnat dessa samråd. Samrådsprocessen påbörjades år 2002 och kommer att pågå till dess att ansökan om att få uppföra slutförvaret görs. Varje år upprättas en redogörelse för hur samråden har gått till och vilka frågor som kommit upp. Dessa redogörelser ingår i respektive MKB-dokument.

I regeringsbeslutet från granskningen av Fud-kompletteringen 2001 har regeringen uttryckt att SKB bör samråda med myndigheterna (SKI och SSI) i frågor som rör SKB:s arbete med system- och säkerhetsanalys samt med platsundersökningar. Denna typ av samråd ligger utanför de som regleras av miljöbalkens 6:e kapitel enligt ovan.

## 2 Centrala begrepp samt syftet med rapporten

I detta kapitel tar vi upp följande frågeställningar:

- vad innebär begreppen *referensutformning*, *systemanalys* och *validering* så som de används i SKB:s verksamhet och i denna rapport,
- vad innebär i denna rapport begreppen *produkt*, *produktionsanläggningar* och *leverans*, vad innebär *tekniska specifikationer* för produkten (*produktspecifikationer*) och hur förhåller sig dessa till *initialtillståndet* som är ett centralt begrepp i säkerhetsanalysen,
- vilka avgränsningar avseende delsystem och områden som analyseras och redovisas gäller för innehållet i denna rapport,
- vad är syftet med rapporten mot bakgrund av begreppen ovan och de avgränsningar som anges och hur är rapporten disponerad med avseende på detta.

### 2.1 Centrala begrepp

#### 2.1.1 Referensutformning

I den stegvisa utformningen av KBS-3-systemet använder SKB begreppet *referensutformning*. Med det menar vi i princip den aktuella utformningen av systemet. Praktisk betydelse har begreppet enbart för de tillkommande delarna i systemet där referensutformningen uppdateras stegvis allt eftersom resultaten från forskning, teknikutveckling och säkerhetsanalys blir tillgängliga.

Referensutformningen är alltså en beskrivning av den tänkta utformningen av olika delar av systemet kopplade till en viss tidpunkt. Referensutformningen kan vara generell eller en specifik platsanpassning av slutförvarsanläggningen.

I denna rapport utgör referensutformningen den utformning som föreligger vid ansökan enligt kärntekniklagen för Clab och inkapslingsanläggningen.

#### 2.1.2 Systemanalysen i SKB:s verksamhet

Ett system definieras som ett visst antal komponenter (delsystem) som inbördes samverkar med det gemensamma syftet att lösa en eller flera uppgifter. Denna uppgift eller dessa uppgifter är således relaterade till systemet som en helhet och utgör systemets övergripande målsättning. Systemanalys är analys av denna helhet.

Syftet med en systemanalys kan variera. Alltifrån att utvärdera systemets totala effektivitet till att analysera enskilda prestationsmått såsom säkerhet, begränsningar i miljöpåverkan, produktkvalitet etc. Likaså kan metoden för genomförandet av en systemanalys variera. Även här är spannet stort. Från ett vetenskapligt matematiskt närmande till enkla mer eller mindre subjektiva överväganden och jämförelser.

För SKB:s del, med ett utvecklingsarbete som pågått obrutet i tre decennier, har systemanalyser i olika former tagits fram. Detta gällande för såväl hela KBS-3-systemet som olika delsystem. Även på en högre nivå har systemanalyser genomförts, exempelvis den strategi- och metodutvärdering från år 2000 som sammanfattades i kapitel 1.

Ramverket för en systemanalys är definitionen av (i) systemet, (ii) uppgiften, (iii) prestationsmättet och (iv) prestationen. Med exempel från KBS-3-systemet i sin helhet är uppgiften att omhänderta och slutförvara använt kärnbränsle, ett prestationsmått (av flera) den tid som bränslet ska vara isolerat och tillhörande prestation minst 100 000 år.

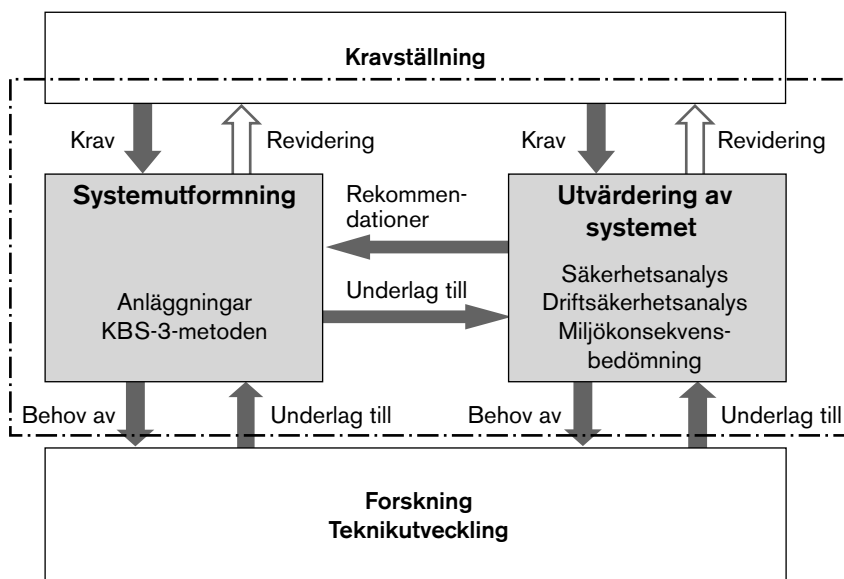
Om vi begränsar systemet till att omfatta enbart produktionsanläggningarna blir systemets uppgift att åstadkomma den produkt som efterfrågas, produktionsmålet rör olika kvalitets-, miljö- och effektivitetsaspekter och prestationen innehållandet av därtill kopplade krav. (Att visa att produktionsanläggningarna för kapseltillverkning och inkapsling har de rätta egenskaperna utgör ett av syftena med denna rapport. Kapitel 7 ägnas till större delen åt detta.)

I ett utvecklingsarbete av den omfattning och med den tidsutdräkt som KBS-3-systemet har kommer systemanalysen för systemet i sin helhet att utgöras av själva den iterativa arbetsmetod som tillämpas. Detta förlopp illustreras i figur 2-1 som bygger på redovisningen ansökanplanen /2/.

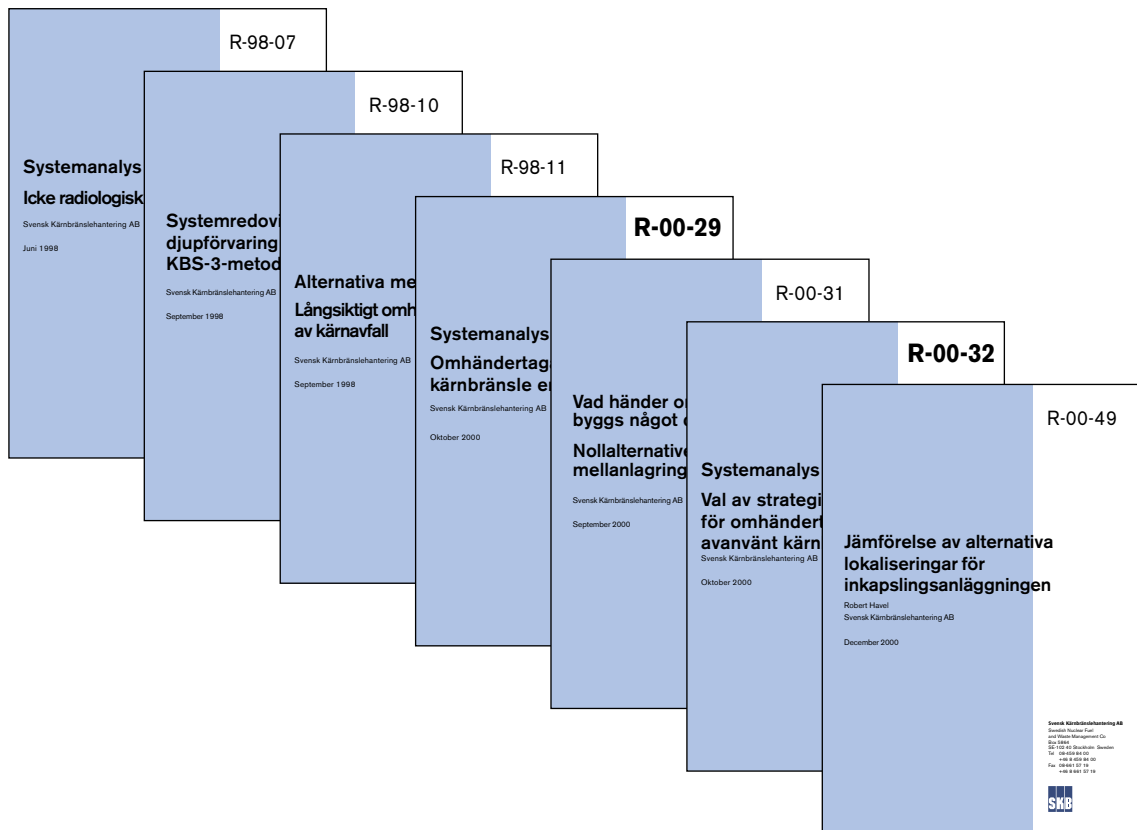
Utvecklingen drivs av samspelet mellan de fyra huvudkomponenterna *kravställning*, *systemutformning*, *utvärdering* och *forskning/teknikutveckling*. Den iterativa återkopplingen mellan framförallt systemutformning och utvärdering kan här sägas utgöra systemanalysen för helheten så som SKB tolkar den. Detta är i figuren markerat genom en streckprickad inramning. Även en del av kravställningen utgör ett objekt i denna systemanalys och faller innanför ramen. Det ska dock noteras att en betydande del av kravställningen utgörs av övergripande krav som relativt KBS-3-systemet ska ses som yttre förutsättningar, till exempel gällande lagstiftning, vilka inte kan eller ska påverkas av systemets utformning.

Historiskt sett har med vissa intervall dokumenterade avrapporteringar gjorts av systemanalyserna. Ibland har det skett i samband med viktiga steg eller vägval i utvecklingen. I andra fall kan det ha skett på begäran från myndigheterna eller internt inom SKB när ett behov har uppstått.

I figur 2-2 ges en sammanställning av några av de dokumenten i en sådan serie. Dokumenten ger så att säga den tidsmässiga anknytningen av den ovan beskrivna iterativa processen. Förutom rapporterna i figuren kommer med viss regelbundenhet rapporteringen av SKB:s reguljära forsknings- och säkerhetsprogram men detta behandlas framförallt i kapitel 4.



**Figur 2-1.** Illustration av det iterativa arbetet med utformningen av KBS-3-systemet. Den streckprickade ramen markerar de arbetsmoment som kan sägas sammantaget representera systemanalysen i SKB:s utvecklingsarbete.



Figur 2-2. Ett antal dokument som redovisar systemanalyser i olika skeden.

### 2.1.3 Validering

**Validering och verifiering är två begrepp som används inom kvalitetsstyrning.**

Validering innebär kort att man ska visa (föra i bevis) att en produkt eller tjänst uppfyller den avsedda funktionen (specificerad tillämpning). Vanligtvis kan detta göras efter att produkten eller tjänsten färdigställt men i vissa fall krävs en validering under utvecklings- eller tillverkningskedet. Detta senare gäller i hög grad för KBS-3-systemet.

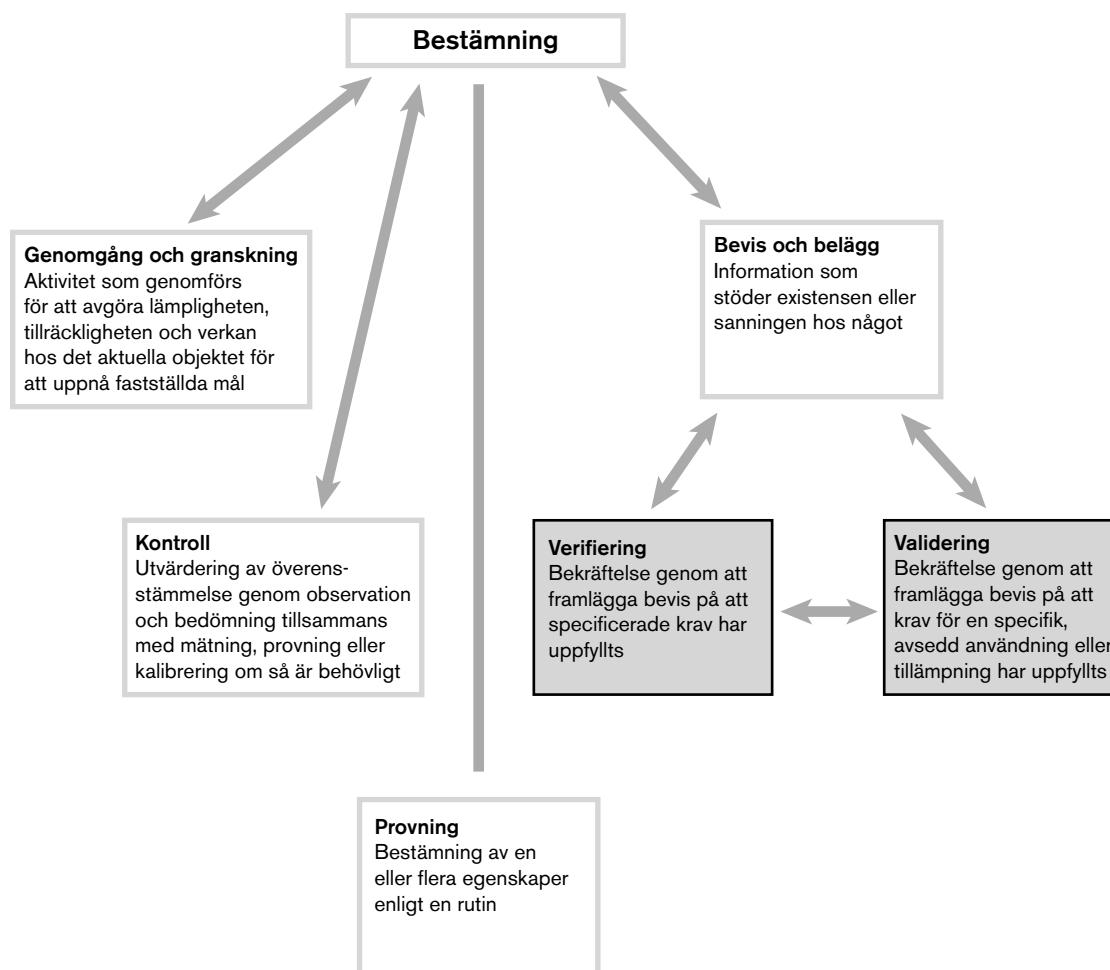
Verifiering, å andra sidan, utgör en bekräftelse av att vissa material- eller tillverkningskrav är uppfyllda. Detta görs vanligtvis genom övervakning och mätning. I figur 2-3 nedan ges definitionen av validering och verifiering tillsammans med några andra närliggande termer såsom de uttrycks i europastandarden EN ISO 9000<sup>3</sup>.

### 2.1.4 KBS-3-förvaret respektive produktionsanläggningarna

I denna rapport finns det ett behov av att dela upp KBS-3-systemet i två delsystem. Anledningen, som vi ska se nedan, är att valideringen av KBS-3-systemet görs inom två separata områden. Dels avseende systemets långsiktiga funktion, dels avseende möjligheten att förverkliga den lösning som SKB föreslagit.

Låt oss betrakta dessa två delsystem. Det ena avser KBS-3-förvaret dvs det system som har som uppgift att hålla det använda kärnbränslet isolerat under mycket lång tid. Detta system består enkelt uttryckt av de delar som kvarstår efter att SKB deponerat allt bränsle, rivit installationerna, återfyllt och förseglat undermarksdelarna av slutförvarsanläggningen samt avvecklat alla markförlagda anläggningar inklusive transportsystemet.

<sup>3</sup> Svensk standard SS-EN ISO 9000:2000 (SIS)



**Figur 2-3.** Validering, verifiering och några andra termer såsom de uttrycks i europastandarden EN ISO 9000<sup>4</sup>.

Det andra delsystemet består då av de tidsbegränsade anläggningarna, på såväl slutförvarsplassen som på andra platser, samt transportsystemet.

För att tydliggöra uppdelningen kan vi ta en normal industriell verksamhet som förebild. En produkt ska framställas och en produktionsanläggning etableras för detta ändamål. Produkten blir då i vårt fall KBS-3-förvaret och produktionsanläggningen blir hanterings- och tillverkningsanläggningarna sammantagna.

Därvid erhåller vi tre system som vardera har sin särskilda roll vid utvärderingen av olika aspekter av KBS-3-systemet.

1. KBS-3-systemet i sin helhet
  - a. KBS-3-förvaret (produkten dvs de kvarstående delarna av KBS-3-systemet med långsiktig funktion).
  - b. Produktionsanläggningarna (dvs de tidsbegränsade anläggningarna som krävs för att åstadkomma KBS-3-förvaret).

De två senare systemen, a. och b. utgör delsystem i det första (1).

För att vidareutveckla analogin med en industriell verksamhet kan gränssnittet mellan dessa båda delsystem sägas utgöras av dels en produktspecifikation, dels en leverans som sker vid

<sup>4</sup> Hämtat ur Svensk Standard SS-EN ISO 9000

ett visst tillfälle. Produktspecifikationen utgör summan av alla de konstruktionsförutsättningar och utformnings- och kvalitetskrav som ställs på produkten och som ska vara uppfyllda vid leveranstillfället.

De två delsystemen kan illustreras med figur 2-4. För båda systemen gäller att de har sin specifika funktion och båda systemen har en utformning som är ändamålsenlig med hänsyn till denna funktion. Den vänstra sidan i figuren representerar KBS-3-förvaret, dvs produkten. Den högra sidan produktionsanläggningarna. Jämför även figur 1-1 där samma uppdelning använts.

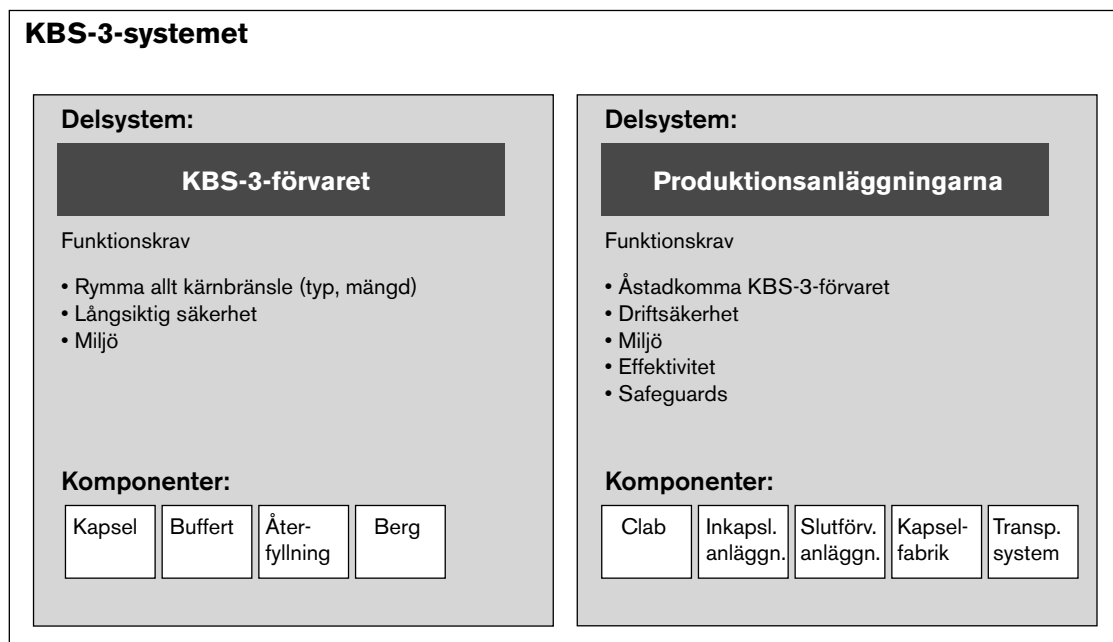
Varje system (delsystem) kan brytas ner i ett antal komponenter som på olika sätt samverkar i systemet. Till vilken nivå nedbrytningen ska ske bestäms av sammanhanget. Till vänster i figuren är nedbrytningen gjord på ett sätt som ansluter till barriärprincipen och är naturlig med avseende på analysen av den långsiktiga säkerheten. Till höger är nedbrytningen gjord för att ge en lämplig struktur åt de ämnen som behandlas i denna rapport.

För att återknyta till valideringen av KBS-3-systemet så sker den för vardera delsystemet. Uppdelningen och syftet med valideringen illustreras i figur 2-5. Där ser vi också att verifieringen av det verkliga utfallet, vilket sker under driftfasen senast vid leverans, endast avser det delsystem som omfattar produktionsanläggningarna (verifiering av leveransen). Verifiering av KBS-3-förvarets långsiktiga funktion kan av naturliga skäl inte genomföras.

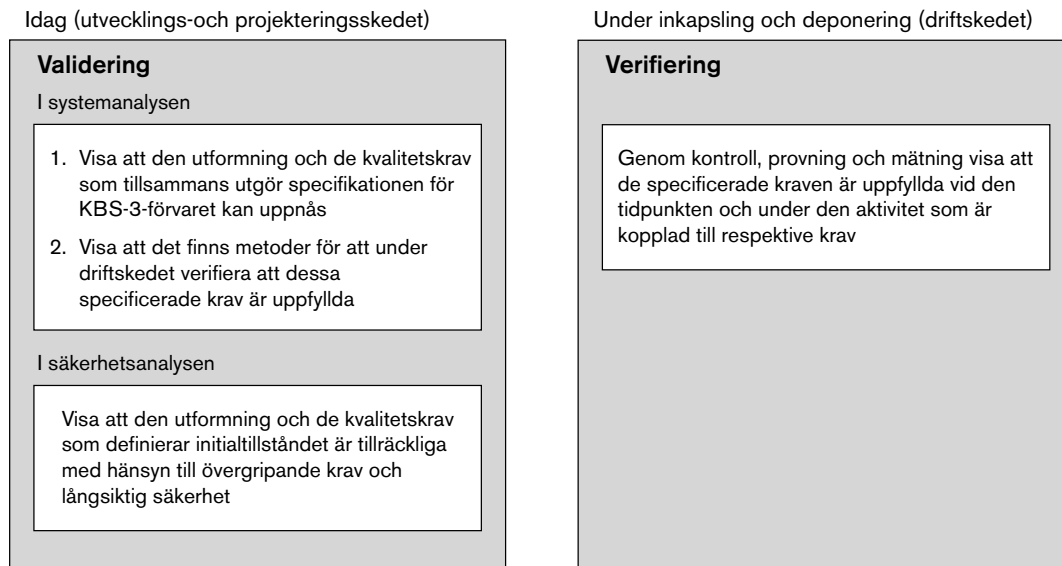
### **Leveranstillfällen och initialtillstånd**

Innan begreppen KBS-3-förvaret respektive produktionsanläggningarna lämnas bör något nämnas om leveranstillfällen och det så kallade initialtillståndet.

Det karakteristiska för slutförvaret är bland annat att det drivs under lång tid och under successiv utbyggnad. Detta innebär att KBS-3-förvarets komponenter (exklusive geosfären) inte kan rymmas inom en sammanhållen leverans. Det blir istället fråga om ett stort antal delleveranser. Den första leveransen utgörs av tidiga bergkonstruktioner där särskilda krav ställs på exempelvis sprängningsteknik, förstärkningsarbeten, avtätningar m m. Den sista leveransen utgörs av den slutliga återfyllningen och förseglingen av tillfartsramp och schakt. Däremellan det stora antalet kapslar med tillhörande buffert samt deponeringstunnlarna en efter en.



**Figur 2-4.** Figur som illustrerar de två delsystemen inom KBS-3-systemet. Till vänster slutprodukten dvs KBS-3-förvaret med sin långsiktiga funktion, till höger produktionsanläggningarna som är temporära och som ska avvecklas när allt kärnbränsle är slutligt omhändertaget.



**Figur 2-5.** Validering kontra verifiering. Systemanalysen i vänster figur representeras av kapitel 7 i denna rapport (med de begränsningar till enbart inkapslingsprocessen som gäller här).

Den produktspecifikation som nämndes ovan avser den berörda komponentens status vid respektive leveranstillfälle. Betydelsen av detta är exempelvis att verifieringen av att egenskaperna hos en kapsel uppfyller ställda krav avslutas i samband med att kapseln sätts ner i sitt hål och täcks med buffertmaterial. När förvaret långt senare försluts och överges kan en tidig kapsel och dess buffert ha uppnått en avsevärd ålder. Någon hänsyn till detta ryms inte inom vårt synsätt med delleveranser.

De egenskaper som de olika komponenterna ska ha vid leveranstillfället och som vi kallar produktspecifikationer har sin motsvarighet i säkerhetsanalysen. Där benämns de *initialtillståndet*. Detta på grund av att egenskaperna utgör startläget (initialvillkor) för de analyser av de fortsatta processerna som görs och som syftar till att pröva den långsiktiga säkerheten.

En skillnad mellan initialtillståndet och produktspecifikationen finns vilket förklarar varför vi inte använder samma begrepp i båda sammanhangen. Skillnaden berör berget och bergkonstruktionerna (geosfären). I säkerhetsanalysen refererar initialtillståndet till det orörda berget medan i valideringen av produktionsanläggningarna (denna rapport) produktspecifikationerna utgör krav rörande de ingrepp i berget vi gör i samband med utbyggnad och återställning<sup>5</sup>. Detta innebär inte att säkerhetsanalysen bortser ifrån dessa ingrepp utan bara att begreppen inte är helt kompatibla och därför med hänsyn till risken för missförstånd ska hållas isär.

I den mån begreppet initialtillstånd används i denna rapport refererar det till KBS-3-förvarets egenskaper med undantag av berget.

## 2.2 Avgränsningar

I kapitel 4 ges en historisk tillbakablick över kärnavfallsprogrammet i Sverige och viktiga milstolpar i utveckling av KBS-3-systemet. I kapitel 5 beskrivs delsystemet *KBS-3-förvaret* i sin egenskap av systemet slutprodukt. I båda dessa kapitel ligger fokus på de delar av systemet som utgör de ingenjörsmässiga barriärerna och således har en långsiktig funktion dvs kapsel, buffert och återfyllning. Parallellt och i samspel med utvecklingen av dessa delar har även

<sup>5</sup> Denna rapport behandlar inte bergkonstruktionerna på detaljnivå varför anmärkningen har en mer principiell innebörd.

produktionsanläggningarna utvecklats fram till dagens referensutförning. Viktiga steg i denna utveckling sammanhänger främst med tillverkning och försegling av kapseln.

I kapitel 6 och 7 behandlas enbart delsystemet *produktionsanläggningarna*. I kapitel 6 beskrivs anläggningarna, befintliga såväl som kommande. Av de senare beskrivs inkapslingsanläggningen mot bakgrund av ett långt framskridet projekteringsunderlag medan slutförvarsanläggningen beskrivs på ett mer principiellt sätt eftersom valet av plats och därtill hörande platsanpassning ej är avslutat.

Detta delsystem, *produktionsanläggningarna*, skulle i sin vidaste mening kunna innefatta alla de åtgärder av organisatorisk, finansiell eller teknisk art, inklusive forskning och utveckling, som kraftföretagen alternativt SKB har att vidta för att uppnå målet för KBS-3-systemet nämligen ett komplett KBS-3-förvar. Det begränsas dock här till de huvudanläggningar och system som är direkt involverade i hanteringen av använt kärnbränsle. Dessa delar framgår av punktlistan nedan.

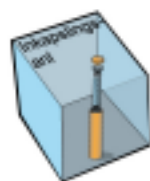
Anläggningarna representerar den nedbrytning av delsystem *produktionsanläggningar* som befunnits lämplig i denna rapport. Anläggningarna representerar således systemets komponenter. Beteckningen komponenter används i de sammanhang där delarnas samverkan beskrivs eller analyseras.

Anläggningarna kommer i rapporten att representeras eller utmärkas av så kallade ikoner där så är lämpligt med hänsyn till ökad läsbarhet. I punktlistan nedan introduceras dessa ikoner.

Följande anläggningar, inklusive kopplingar mellan dessa, innefattas i delsystemet *produktionsanläggningar*:



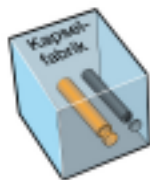
- Clab, centralt mellanlager för använt bränsle,



- inkapslingsanläggningen för använt bränsle,



- slutförvarsanläggningen för använt bränsle exklusive kopparkapslar och andra delar med långsiktig funktion,



- kapselfabrik för bearbetning och montering av de i kapseln ingående delarna,



- transportsystemet för transport av använt bränsle och färdiga kapslar (i dag baserat på sjötransporter med fartyget Sigyn).



## **Avgränsningar rörande systemets kopplingar mot omgivningen**

KBS-3-systemets kopplingar gentemot omgivningen behandlas under beskrivningen av produktionsanläggningarna i kapitel 6. Den viktigaste kopplingen, den till långsiktig säkerhet, dvs målet med verksamheten, behandlas i detta kapitel indirekt genom delsystemet *KBS-3-förvaret*. Anledningen till detta är att denna koppling i huvudsak behandlas i säkerhetsanalysen, SR-Can /3/ och senare SR-Site. I kapitel 6 betraktas *KBS-3-förvaret*, i egenskap av systemets produkt, som tillhörande omgivningen och kopplingen mellan produktionsanläggningarna och produkten utgör därmed i praktiken kopplingen till den långsiktiga säkerheten.

För delsystemet *produktionsanläggningar* definieras omgivning som allt som ligger utanför detta begränsat på det sätt som angavs i ovanstående punktlista. Omgivningen är således inte bara samhälle och miljö utan alla de intressenter, aktiviteter och anläggningar som ej ingår i delsystemet. Detta även om de skulle falla inom SKB:s ansvarsområde. Särskilt gäller detta *KBS-3-förvaret* (produkten).

I kapitel 6 ställs de viktigaste kopplingarna till omgivningen upp. Vissa av dessa behandlas inte vidare eftersom de tas upp i annat sammanhang och i annan dokumentation. Främst gäller detta kopplingar avseende lokal samhällelig påverkan eller med anknytning till den yttre miljön<sup>6</sup>.

De kopplingar som diskuteras i kapitel 6 är i första hand följande:

- lagar och förordningar,
- övergripande förutsättningar med hänsyn till det svenska kärnkraftsprogrammet och SKB:s planering av genomförandet av kärnbränsleprogrammet,
- radiologisk miljöpåverkan och säkerhetsfrågor under driftfasen,
- resursanvändning i form av personal, energi och material (insatsmaterial av särskild betydelse),
- safeguards (ickespridning).

## **Särskilda hänsyn rörande systemets kopplingar till systemet för omhändertagande av låg- och medelaktivt avfall – Loma**

Som framgick av figur 1-2 ingår i den totala bilden även anläggningar för omhändertagande av låg- och medelaktivt avfall, det så kallade Loma-systemet. Kopplingen mellan KBS-3-systemet och Loma-systemet är emellertid mycket svag i dag och kommer så att vara under överskådlig tid. Vi har därför funnit det motiverat att helt utesluta Loma-systemet ur de fortsatta diskussionerna i denna rapport.

I dag utgörs Loma-systemet av en anläggning i Forsmark, SFR, samt del i transportapparaten för radioaktivt avfall (med ro/ro-fartyget Sigyn som den viktigaste komponenten). SFR tar huvudsakligen emot driftavfall från kärnkraftverken.

Kopplingen mellan KBS-3-systemet och Loma-systemet utgörs av behovet av att slutligt omhändertar aktivt driftavfall från den integrerade anläggningen Clab/inkapslingsanläggningen. Längre fram i tiden ska även aktivt rivningsavfall omhändertas när dessa anläggningar avvecklas. I dag sänds det slutbehandlade (paketerade) driftavfallet från Clab till SFR och placeras i samma berggrum som driftavfall från kärnkraftverken. Avfallsmängderna från Clab är i jämförelse förhållandevis små, cirka 1,5 procent av den i dag inlagrade volymen.

Kopplingen mellan KBS-3-systemet och Loma-systemet är i dag relativt okomplicerad och kommer att vara så åtminstone så länge det nuvarande SFR finns och är knutet till driften av kärnkraftverken. Dessutom är en förlängning av drifttiden för SFR med ytterligare 10 till 15 år trolig då det i planeringen inför framtiden ligger en utvidgning av SFR för att förvaret ska kunna ta emot även rivningsavfallet från kärnkraftverken<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> Främst i ansökansunderlaget /4/.

<sup>7</sup> Denna utvidgning går under benämningen SFR 3.

Det kommer dock en period i slutet av KBS-3-systemets livscykel då det radioaktiva avfallet från behandlingsanläggningarna måste kunna hanteras självständigt istället för som nu, som ett marginellt avfall vid sidan av reaktoravfallet. Inför detta finns av naturliga skäl inga bestämda planer i dag. Frågan aktualiseras inte förrän om kanske 30-40 år. En lösning som inte är osannolik är att driften vid SFR tillåts fortsätta så länge behov av denna typ av förvar föreligger. Detta antagande utgör exempelvis del i det scenario som ligger till grund för avsättningen av medel till kärnavfallsfonden. I detta scenario ryms även ett antagande om ett djupförlagt slutförvar för långlivat låg- och medelaktivt avfall likaså förlagt till SFR. Det ska dock betonas att lokaliseringen av förvaret inte är beslutad. Ett sådant beslut behöver fattas först långt fram i tiden.

## 2.3 Vidareutveckling av syftet med rapporten

Mot bakgrund av den genomgång av olika begrepp m m som gjordes i avsnitten 2.1 och 2.2 ska vi nu se närmare på syftet med rapporten.

Syftet är flerfaldigt. Ett av syftena är att ge en sammanfattande beskrivning av den historiska utvecklingen av KBS-3-systemet för att därmed ge läsaren en överblick över samspelet mellan systemutformning, säkerhetsanalyser och utvärdering i olika skeden. Denna sammanställning presenteras i kapitel 4 under rubriken *Vägval under KBS-3-systemets utveckling*. Framställningen fokuserar främst på förvarets långsiktiga funktion men i viss utsträckning berörs även frågor som har att göra med själva genomförandet, exempelvis optimal kapselstorlek, lokalisering av anläggningar m m.

Ett annat syfte med rapporten är att validera delsystemet *produktionsanläggningarna* med avseende på kapseltillverkning och inkapsling. Med detta avses att visa att de produkt-specifikationer som är en del av referensutformningen är trovärdiga och realistiska. Med andra ord, att föra i bevis att vi kan förverkliga en kapsel enligt givna specifikationer och innehålla samtliga de kvalitetskrav som däri ingår. Valideringen behandlas främst i kapitel 7 och där framgår även hur valideringen går till.

Slutligen det tredje syftet med rapporten som består i att tillhandahålla en beskrivning av KBS-3-systemet utifrån ett helhetsperspektiv där sambanden och kopplingarna mellan systemets olika komponenter belyses och mellan systemet och omgivningen. Beskrivningen är i huvudsak fördelad på två kapitel. Dels kapitel 5 där beskrivningen relaterar till KBS-3-förvarets ingenjörsmässiga barriärer, dels kapitel 6 där beskrivningen avser referensutformningen av produktionsanläggningarna. I kapitel 8 diskuteras dessutom möjligheten till förändringar i framtiden efter att slutförvarsanläggningen tagits i drift.

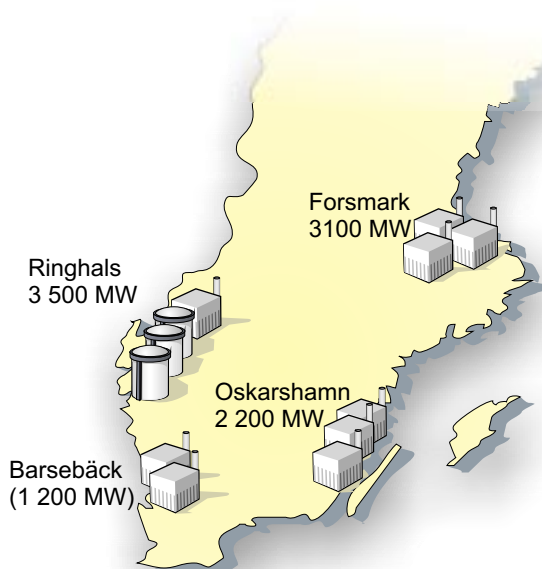
## 3 Använt kärnbränsle att omhänderta

I detta kapitel redogör vi för:

- det svenska kärnkraftsprogrammet med en kort återblick (en fylligare historisk återblick återfinns i kapitel 4),
- hur bränslet ser ut och vissa tekniska data,
- vilka mängder av bränsle som behöver omhändertas under olika driftscenarier för kärnkraften,
- de olika steg i bränslehanteringen som involveras i mellanlagrings- och deponeringsprocesserna,
- vilka ytterligare mängder bränsle utöver kärnkraftens som ska tas om hand (relativt sett mycket små mängder).

### 3.1 Det svenska kärnkraftsprogrammet

Fram till och med 2005 har det svenska kärnkraftsprogrammet genererat cirka 1 670 TWh elenergi och har därmed gett upphov till bestrålat<sup>8</sup> bränsle motsvarande cirka 6 300 ton uran<sup>9</sup>, se tabell 3-1 och tabell 3-2, se /5/. Den första reaktorn (Oskarshamn 1) togs i kommersiell drift 1972 och de senaste reaktorerna (Forsmark 3 och Oskarshamn 3) togs i drift 1985. I figur 3-1 illustreras Sveriges reaktorer, kokvattenreaktorer (BWR) och tryckvattenreaktorer (PWR), med installerad nettoeffekt i MW.



*Figur 3-1. Sveriges kärnkraftverk med installerad nettoeffekt.*

<sup>8</sup> Bestrålat bränsle är sådant som befunnit sig eller befinner sig i reaktorn.

<sup>9</sup> Bränslemängden anges vanligen i form av ton uran dvs vikten uran i bränslet när det sätts in i reaktorn (vikten minskar under utbränningen). De bränsleelement som ska tas om hand och inkapslas väger betydligt mer då där även ingår alla de detaljer som inkapslar och håller samman bränslet.

Sedan mitten av 70-talet och fram till senare delen av 90-talet präglades kärnenergiprogrammet av det riksdagsbeslut om stopp för vidare kärnkraftsutbyggnad som följde på den så kallade villkorlagen. Antalet reaktorer begränsades till de som var i drift eller under planering och byggande. Totalt omfattade detta de nuvarande tolv reaktorerna. Drifttiden begränsades till 2010.

Ett viktigt beslut togs av riksdagen 1997 i den så kallade energiuppgörelsen då slutåret 2010 togs bort och avvecklingstidpunkten istället knöts till säkerheten i respektive anläggning. Därmed kunde reaktorinnehavarna planera för drifttider som styrdes av tekniska och ekonomiska faktorer istället för den tidigare politiskt bestämda tidpunkten. Detta påverkade givetvis även underlaget för SKB:s planering där nu längre drifttider förutses och därmed större mängd använt bränsle.

År 2000 beslöt SKB:s styrelse att planeringsunderlaget för det så kallade referensscenariot i KBS-3-systemet skulle motsvara bränslemängder härrörande från 40 års drift av reaktorerna, med undantag av Barsebäck 1 och 2 som nu är avställda. För närvarande bygger emellertid kraftföretagens investeringsprogram för moderniseringar samt säkerhets- och effekthöjande åtgärder för ett flertal reaktorer på drifttider som är betydligt längre än 40 år. Det är alltså inte osannolikt att den totala bränslemängden som ska omhändertas kommer att överstiga dagens referensscenario om 40 års drift.

Tabell 3-1 visar energiproduktionen i de svenska reaktorerna t o m 2005 och en uppskattning för referensscenariot, dvs 40 års drift av samtliga reaktorer (förutom B1 och B2 som stängdes 1999 respektive 2005).

## 3.2 Det använda bränslet från kärnkraften

### 3.2.1 Egenskaper hos bränslet

Bränslet innehåller uranisotopen U-235 som kan klyvas av neutroner. Vid klyvningen utvecklas energi och nya neutroner bildas som i sin tur kan klyva nya uranatomer. Naturligt uran består av 0,7 procent U-235 och resterande del av isotopen U-238. För att kunna användas som bränsle i svenska reaktorer måste det naturliga uranet anrikas. Detta innebär att andelen U-235 höjs till tre till fem procent.

**Tabell 3-1. Energiproduktion vid samtliga kärnkraftverk /5/.**

Start kommersiell drift	Termisk effekt/ nettoeffekt MW	Energiproduktion Twh t o m 2005	Totalt enligt referensscenario Drift till och med	Energiproduktion TWh	
B1(BWR)	1975-07-01	1 800 / 600	93	1999-11-30	93
B2(BWR)	1977-07-01	1 800 / 600	108	2005-05-31	108
R1(BWR)	1976-01-01	2 500 / 830	141	2015-12-31	207
R2(PWR)	1975-05-01	2 570 / 870	154	2015-04-30	215
R3(PWR)	1981-09-09	2 780 / 920	147	2021-09-08	284
R4(PWR)	1983-11-21	2 780 / 920	141	2023-11-20	290
O1(BWR)	1972-02-06	1 375 / 440	82	2012-02-05	104
O2(BWR)	1974-12-15	1 800 / 600	123	2014-12-14	165
O3(BWR)	1985-08-15	3 300 / 1 160	170	2025-08-14	385
F1(BWR)	1980-12-10	2 930 / 970	170	2020-12-09	302
F2(BWR)	1981-07-07	2 930 / 970	168	2021-07-06	306
F3(BWR)	1985-08-22	3 300 / 1 160	174	2025-08-21	383
BWR totalt		21 735 / 7 330	1 229		2 053
PWR totalt		8 130 / 2 710	442		790
Samtliga totalt		29 865 / 10 040	1 670		2 843

Under driften i reaktorn bildas en lång rad olika ämnen i bränslet. Många av dessa ämnen är radioaktiva. Efter uttaget ur reaktorn sönderfaller (avklingar) de radioaktiva ämnena med olika hastigheter, varvid de så småningom övergår till stabila, icke-radioaktiva, ämnen. Det radioaktiva sönderfallet ger en joniserande strålning och en värmeeffekt (kallad resteffekt). På grund av strålningen måste bränslet skärmas så att inte personal och omgivning skadas. Bränslets resteffekt medför att det måste kylas för att temperaturen ska hållas på en rimlig nivå. Allteftersom avklingningen fortskrider avtar resteffekten och strålningen. I tabell 3-2 anges resteffekten för BWR- respektive PWR-element 30 år efter att det tagits ut ur reaktorn.

Utbränning är ett mått på den energi som utvunnits ur ett element och den anges i megawattdygn per kg uran (MWd/kgU). När utbränningen nått en viss nivå byts elementet ut. Ett elements slutliga utbränning beror till stor del av dess ursprungliga andel U-235, dvs anrikningsgrad. I och med den tekniska utvecklingen av bränslet har både utbränningen och anrikningsgraden successivt ökat sedan reaktorerna togs i drift. Motivet till detta är att få en så ekonomiskt fördelaktig drift av reaktorerna som möjligt. Det är sannolikt att utbränningen kommer att öka ytterligare något med tiden.

### 3.2.2 Olika typer av bränsle

De kraftproducerande reaktorerna i Sverige är av två typer: kokvattenreaktorer (BWR) och tryckvattenreaktorer (PWR). Tryckvattenreaktorer har ett högre tryck än kokvattenreaktorer. Det medför att vattnet i reaktorn inte kokar. De båda reaktortypernas bränsle skiljer sig åt i mått och konstruktion. För respektive reaktortyp finns det dessutom olika bränsletyper med varierande antal bränslestavar och mått. De data som kapselns dimensioner baseras på anges i tabell 3-2.

**Tabell 3-2. Dimensionerande bränsledata för BWR- respektive PWR-element (data ur /5/ och /6/).**

Bränsletyp	BWR	PWR
Total längd	4 398 mm	4 243 mm
Tvärsnitt	140×140 mm	214×214 mm
Utbränningsgrad, max	55 MWd/kgU	60 MWd/kgU
Utbränningsgrad, medel	38 MWd/kgU	42 MWd/kgU
Resteffekt per element vid avklingning 30 år	100–150 W	300–450 W
Uranvikt per element	cirka 180 kg	cirka 460 kg
Totalvikt per element	cirka 300 kg	cirka 650 kg

Ett grundämne består oftast av flera delar med identiskt samma kemiska egenskaper, men med olika atomvikter. Dessa delar kallas **isotoper**. Uranet i **kärnbränslet** består av två isotoper, en med atomvikten 238, betecknad U-238, och en med atomvikten 235, U-235. Det är i huvudsak U-235 som upprätthåller kärnreaktionen och klyvs till andra ämnen under värmeavgivning.

De ämnen som bildas under reaktordriften, främst genom klyvningen av U-235, utgör ett helt spektrum av grundämnen. De flesta uppträder med flera isotoper, varav många är **radioaktiva**, vilket innebär att de med tiden **sönderfaller** och till slut blir stabila ämnen. Tiden varierar från bråkdelar av en sekund till miljarder år.

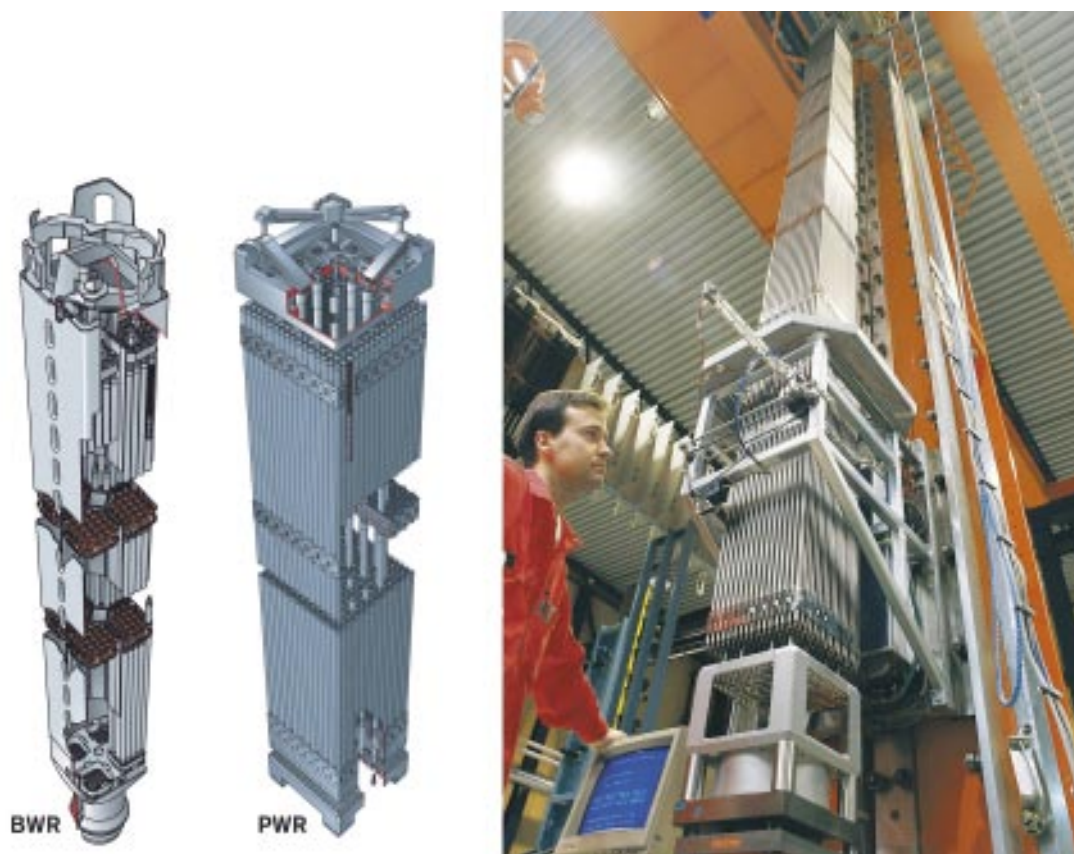
Använt bränsle innehåller fem till tio procent mindre uran än det obestrålade. Detta beror huvudsakligen på att U-235 till största delen bränns ut, men även att en mindre del av U-238 omvandlas till andra ämnen.

Kärnbränslet består av så kallade kutsar av urandioxid som placeras inuti ett slutet, stavformigt höljerör, vanligen av zirkaloy, en zirkoniumlegering. Stavarnas diameter varierar för olika bränsletyper men är cirka 10 millimeter. Ett antal bränslestavar monteras ihop till ett bränslelement, som är den enhet som sätts in i reaktorn. Stavarna hålls på rätt avstånd till varandra med små spridare så att kylvatten kan strömma förbi och så att en optimal konfiguration av bränslet fås. Se figur 3-2.

Ett BWR-element består av mellan 64 och 100 bränslestavar. Stavarna omges av en kanal, oftast kallad box, genom vilken det kylande reaktorvattnet förs. Boxen har två handtag där bränsleelementet lyfts vid hantering. Ungefär en femtedel av reaktorns bränsle byts varje år. Använt bränsle med boxar förs till Clab för förvaring och avklingning före slutförvaring.

Ett PWR-element har mellan 225 och 289 stavar. Det har ingen box. Kylvattnet strömmar fritt mellan elementen i reaktorn. I PWR-bränsle sitter oftast styrstavar i form av smala stänger inuti rör som ingår i elementets struktur av stavar. En styrstav består av ett neutronabsorberande ämne och används till att styra reaktorn. I en tryckvattenreaktor byts ungefär en tredjedel av bränslet varje år.

Bränsleelementens längd och tvärsnitt styrs av reaktorns konstruktion. Måtten kan skilja sig något åt mellan olika reaktorer, Oskarshamn 1 (O1) har till exempel ett något kortare bränsle än de andra BWR-reaktorerna. De bränsletyper som är godkända för förvaring i Clab framgår av bilaga 1. I tabell 3-2 redovisas de dimensionerande mått som används vid utformningen av kapseln. I måtten ingår boxar (BWR-bränsle) respektive styrstavar (PWR-bränsle). Man måste även ta hänsyn till att bränsleelementen blir några mm längre under driften i reaktorn.



**Figur 3-2.** Bränsleelement för BWR och PWR samt tillverkning av PWR-element.

**Tabell 3-3. Bränsleförbrukning vid samtliga kärnkraftverk /5/.**

	Bränsle t o m 2005 ton uran	Totalt enligt referensscenariot	
		Drift till och med	Använt bränsle ton uran
B1(BWR)	425	1999-11-30	425
B2(BWR)	455	2005-05-31	455
R1(BWR)	562	2015-12-31	746
R2(PWR)	519	2015-04-30	688
R3(PWR)	475	2021-09-08	832
R4(PWR)	469	2023-11-20	821
O1(BWR)	402	2012-02-05	464
O2(BWR)	490	2014-12-14	605
O3(BWR)	596	2025-08-14	1 088
F1(BWR)	657	2020-12-09	1 029
F2(BWR)	645	2021-07-06	1 026
F3(BWR)	616	2025-08-21	1 148
BWR totalt	4 848		6 987
PWR totalt	1 463		2 341
Samtliga totalt	6 311		9 328

Kolumnen "Bränsle t o m 2005" inkluderar uttaget bränsle samt nuvarande reaktorhårdar (ca 1 140 ton U).

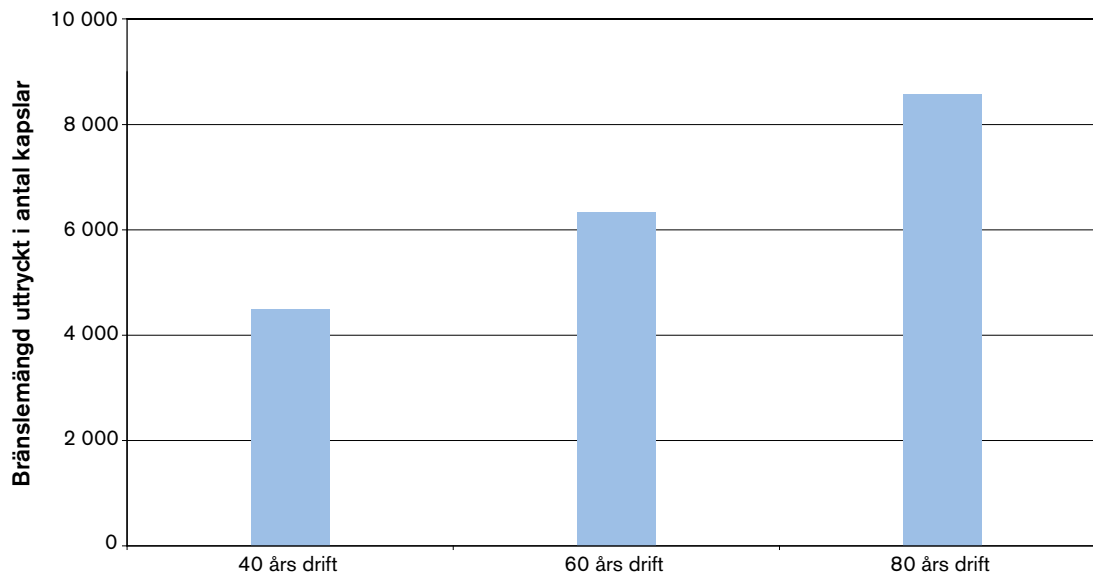
### 3.2.3 Bränslemängder

Mängden använt kärnbränsle anges oftast som den mängd uran (U) som ursprungligen fanns i bränslet. Den bränslemängd som förbrukats i de svenska kraftreaktorerna till och med år 2005 utgörs av 4 850 ton U från kokvattenreaktorer (BWR) och 1 460 ton U från tryckvattenreaktorer (PWR). I referensscenariot beräknas reaktorerna ge upphov till en bränslemängd på cirka 9 330 ton U, se tabell 3-3. Detta utgörs av cirka 39 500 bränsleelement från BWR och cirka 4 900 från PWR.

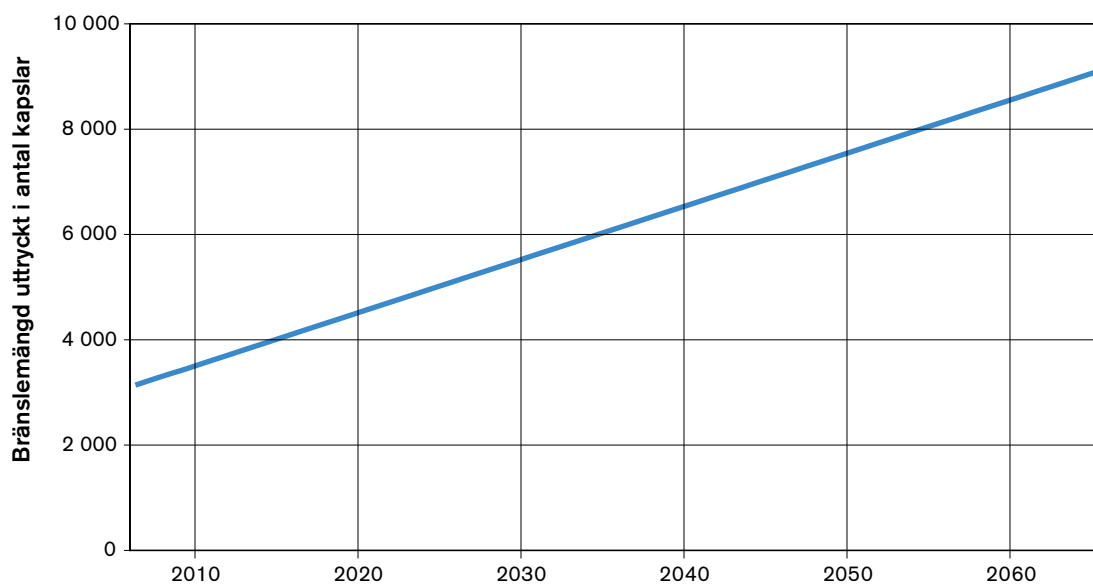
Den mängd använt bränsle som kommer att deponeras i slutförvaret är enligt referensscenariot cirka 9 200 ton U. Anledningen till att den mängd som ska slutförvaras skiljer sig från den som förbrukats är att bränsle från de svenska kärnkraftverken skickats till upparbetning till Sellafield (140 ton U) och La Hague (57 ton U). Det tillkommer också en mindre mängd bränsle av annat ursprung (cirka 45 ton U), se avsnitt 3.3.

Mängden uttaget bränsle från samtliga reaktorer är i genomsnitt cirka 210 ton U per år. För att åskådliggöra hur reaktorernas drifttid påverkar mängden använt bränsle så har vi valt att redovisa bränslemängderna vid 40, 60 och 80 års drift. (Referensscenariot är 40 år.) Vid 60 års drift ökar bränslemängden med cirka 40 procent jämfört med referensscenariot till cirka 12 900 ton U. Motsvarande för 80 års drift är en ökning med cirka 90 procent till 17 600 ton U. Figur 3-3 visar hur många kapslar bränslemängderna för 40, 60 och 80 års drift kommer att ge upphov till<sup>10</sup>. Figur 3-4 ger en illustration av hur mängden använt bränsle, likaså uttryckt i antal kapslar, ökar vid en fortsatt drift av de reaktorer som i dag är i drift. Kommer exempelvis samtliga nuvarande reaktorer i drift att fortsätta fram till 2020 så kan det antal kapslar som ska produceras uppskattas till 4 600. Observera skillnaden mellan diagrammen. Det förra avser en viss drifttid för varje reaktor uttryckt i antal år. Det senare ett viss år under förutsättning att inga ytterligare reaktorer stängs av.

<sup>10</sup> Vi förutsätter därvid att kapslarna fylls helt. Detta är emellertid inte givet eftersom den övre gränsen för värmeavgivning kan innebära att enstaka positioner måste lämnas tomma.



**Figur 3-3.** Mängd använt bränsle vid en viss total drifttid för varje kärnkraftverk (inklusive den tid som Barsebäck varit i drift, cirka 25–30 år).



**Figur 3-4.** Mängd använt kärnbränsle vid fortsatt drift av samtliga kärnkraftverk (förutom Barsebäck),

Mängden bränsle påverkar drifttiden för de i systemet ingående anläggningarna: Clab, inkapslingsanläggningen, slutförvaret, transportsystemet och kapsselfabriken. Dessutom påverkas deponeringstunnlarnas sammanlagda längd i slutförvaret.

### 3.2.4 Bränslets väg mot slutförvaring

Nedanstående utgör en sammanfattande beskrivning av det använda kärnbränslets väg från Clab till slutförvaring. Se även beskrivningen i kapitel 6 samt /7/ och /8/.

Bränslet från de svenska kärnkraftverken förs till Clab där det mellanlagras i underjordiska vattenbassänger. Efter cirka 30 års lagring har resteffekten minskat så att man kan påbörja deponeringsprocessen. Bränslet lyfts upp ur Clabs bassänger och inkapslas i en tät behållare, kapseln. Denna deponeras sedan i slutförvaret på 400–700 meters djup.



De egenskaper hos det använda kärnbränslet som är av betydelse för omhändertagandet är i första hand dess dimensioner, resteffekt och strålning. Kapselns längd bestäms av längden av det längsta bränsleelementet. Antalet bränsleelement i kapseln påverkar värmeavgivningen från kapseln som får en högre yttemperatur med mera bränsle. Resteffekten för en kapsel måste begränsas främst på grund av att buffertens egenskaper påverkas vid en för hög temperatur.

Bränslet är inte speciellt ömtåligt men man hanterar det ändå med försiktighet. Om skador uppstår på enstaka stavar i bränsleelementet kan radioaktiva ämnen läcka ut ur dessa. Sådan utläckt radioaktivitet försvårar hanteringen och kräver extra åtgärder för att skydda personalen från strålning. Skador av den typen är emellertid mycket ovanliga. Se för övrigt nästa avsnitt som behandlar problemet med läckande stavar.

Den direkta strålningen från bränslet gör att all hantering måste ske strålskyddat. I vattenbassänger utgör vattnet det erforderliga strålskyddet, både i reaktorernas och i Clabs bassänger. Vattnet har också till uppgift att kyla bränslet. Under transporten från kärnkraftverken till Clab placeras bränsleelementen i speciella transportbehållare, som skyddar omgivningen mot direktstrålning. Behållarna är mycket robusta och skyddar bränslet mot yttre påverkan. Efter inkapsling utgör även kapseln ett skydd. Transporten av kapseln till slutförvaret kommer att ske i transportbehållare av liknande typ som den ovan nämnda.

Efter deponeringen tjänstgör kapseln, bufferten och berget som strålskydd mot omgivningen. Strålningen runt kapseln i deponeringshålet kan förändra buffertens egenskaper och den kemiska miljön runt kapseln. Detta medför ett krav på en viss minsta skärmande tjocklek hos kapselmaterialet. Mängden bränsle i kapseln har ganska liten betydelse för skärmningen eftersom det alltid är de perifera elementen som avgör strålningen utanför kapseln. De mer centralt placerade elementen skärmas inte bara av kapselmaterialet utan även av de yttre elementen.

En annan egenskap som måste beaktas vid hanteringen är kriticitet. Med kriticitet menas en upprätthållen kedjereaktion av kärnklyvningar. Det är en kombination av innehållet av uran-235, avståndet mellan bränslestavarna samt tillgång på vatten, som gör kedjereaktionen möjlig. Kedjereaktionen upprätthålls av ett flöde av neutroner som bildas vid klyvningen av uran och som ger upphov till nya klyvningar när de träffar nästa uranatom. Kedjereaktionen är förknippad med en intensiv radioaktiv strålning och den får inte förekomma utanför en reaktor.

Rätt hanterat kan använt bränsle, med sitt låga innehåll av uran-235, inte förorsaka kriticitet. Dessutom är mängden bränsle i ett enda isolerat element vanligen inte tillräckligt stor för att kriticitet ska uppstå, inte ens för färskt bränsle. Bränsle kan dock ha blivit utbytt innan det är tillräckligt utbränt, till exempel på grund av mekanisk skada. Ett sådant färskt element måste förvaras med ett sådant avstånd till intilliggande element så att ingen risk för kriticitet finns. I Clab säkras detta genom konstruktionen av förvaringskassetterna, som antingen håller ett tillräckligt avstånd mellan elementen, eller innehåller ett neutronabsorberande material. Under transporter åtskiljs elementen också av neutronabsorberande material. I kapseln skiljs elementen från varandra genom att varje element sätts i en egen kanal i insatsen.

### **3.2.5 Läckande bränsle**

Med läckande bränsle avses ett bränsleelement där bränslestavarnas hölje av zirkaloy av någon anledning skadats så de inte längre är täta. Det innebär att vatten tränger in i rören och att fragment av bränslekutsarna och gaser kan läcka ut.

Skador kan ha uppstått vid driften i kärnkraftverken men bränslet kan också ha skadats under hanteringen fram till uppställningen i Clab. Slutligen kan skador uppstå under lagringen i Clab på grund av utlösta materialspänningar. Erfarenheten visar att hanteringsskador och lagrings-skador som leder till läckage är sällsynta.

Läckande element kan placeras i en skyddsbox under transport till Clab och mellanlagring där. Boxen är försedd med ett filter som hindrar bränslefragment att förorena bassängernas vatten. I dag finns enstaka sådana element i Clab.

Före inkapslingen torkas bränslet eftersom vatten kan förorsaka korrosion av kapselmaterialet och detta kan med tiden skada kapselns täthet. Torkningen av läckande bränsle vid inkapslingen kan ta betydligt längre tid än för normalt bränsle. I övrigt behandlas bränslet på samma sätt som oskadade element.

### 3.3 Övrigt bränsle att omhänderta

Förutom det bränsle som redogjorts för ovan finns ett antal andra typer av bränsle som ska deponeras i slutförvaret. Dessa består av bränsle från Ågesta-reaktorn, så kallat MOX-bränsle samt bränslerester från provningsprogram i Studsvik.

Ågesta-reaktorn i södra Stockholm togs i drift 1963. Fram till 1973 försörjde den Farsta med fjärrvärme och lades sedan ner. Ågesta-bränslet är betydligt kortare och har även en annan bredd än dagens bränsletyper. Det finns totalt 222 bränsleelement (20 ton U) från Ågesta. Bränslet lagras i dag i Clab.

MOX-bränsle (Mixed Oxide Fuel eller blandoxidbränsle) innehåller utöver uran även plutonium. Plutoniumet bidrar till den avgivna värmeeffekten. Plutonium uppstår under reaktordriften vid bestrålningen av U-238. Vid upparbetning av det bestrålade bränslet separeras uran, plutonium och avfallsprodukter. Uranet och plutoniumet kan återanvändas och sätts in i nytt bränsle, MOX-bränsle. 80 sådana bränsleelement har tillverkats och kommer att användas i Oskarshamsreaktorerna. Bränslet innehåller plutonium från det bränsle som under kärnkraftens första år skickades till Sellafield i England för upparbetning. Detta skedde innan Sverige övergav upparbetningslinjen och beslutade att allt använt kärnbränsle skulle direktdeponeras. Totalt handlar det om 833 kg plutonium samt en mindre mängd från forskningsreaktorn R1 (drygt ett kg plutonium). Forskningsreaktorn användes under 1960-talet vid Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm. Bränslet var ett metalliskt bränsle och för att kunna deponeras i slutförvaret måste det först omvandlas.

I Clab lagras även 23 ton äldre MOX-bränsle som har erhållits från Tyskland i utbyte mot det bränsle som sändes till Frankrike (La Hague) för upparbetning. Även detta före beslutet om direktdeponering. Dessa element ryms inom samma dimensioner som BWR-bränsle och PWR-bränsle.

I jämförelse med det vanliga BWR-bränslet så har MOX-bränsle en högre neutronstrålning och kräver därmed en tjockare neutronstrålskärm vid hantering och transporter<sup>11</sup>.

Bränsle som undersökts i Studsvik har oftast avskurna höljerör. Sådana bränslerester inkapslas i rostfria stålrör. Totalt uppskattas att cirka 240 stålrör behövs. Tolv stålrör kopplas samman till en transportbox som har sådana dimensioner att den i Clab kan förvaras i en skyddsbox för PWR-element. Mängden bränsle som hanteras på detta sätt är cirka 2 ton U.

---

<sup>11</sup> Neutronstrålskärm utgörs av ett material innehållande väte. Om inte vatten, som i bassängerna, utgörs skärmen normalt av någon form av cellplast.

## 4 Vägval under KBS-3-systemets utveckling – historik och motiv

I detta kapitel ger vi en beskrivning av den historiska utvecklingen som lett fram till dagens referensutformning av KBS-3-förvaret. Beskrivningen tar fasta på tre mer eller mindre parallella utvecklingslinjer:

- utvecklingen i den politiska verkligheten,
- SKB:s program för forskning och utveckling,
- utformningen av systemet och samspelet mellan denna och säkerhetsanalyserna.

Dessutom görs en resumé över lokaliseringsfrågan fram till i dag (alltjämt återstår för SKB att utse plats för slutförvaret och kapsel fabriken).

### 4.1 KBS-3 – En kort historik

Utvecklingen i Sverige av programmet för hantering av radioaktivt avfall kan indelas i tre etapper:

#### ***Programetablering och pionjärbete (1977–1984)***

Under denna period utformades grunderna till ett svenskt förvarssystem. SKB tog fram data om den svenska berggrunden och genomförde tre omfattande studier: KBS-1 /9/, KBS-2 /10/ och KBS-3 /11/. Resultaten av studierna låg till grund för tillstånd för de nya reaktorerna som startades under perioden. En viktig milstolpe är 1983 då KBS-3-studien presenterades. Studien, som har gett förvarskonceptet sitt namn, har sedan legat till grund för den fortsatta forskningen och utvecklingen.

#### ***Konsolidering och breddning 1984–1992***

1984 kom en ny lag: Lagen om kärnteknisk verksamhet /12/. Enligt denna är reaktorägarna skyldiga att vart tredje år redovisa ett program för den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet som krävs för att på ett säkert sätt ta hand om uppkommet kärnavfall och använt kärnbränsle. Det första programmet kom 1984 och hittills har åtta program redovisats.

Under perioden fördjupades och breddades kunskapen kring tänkbara sätt att förvara kärnbränslet i svensk berggrund. Äspölaboratoriet byggdes. Alternativa metoder redovisades och värderades. KASAM<sup>12</sup> tog upp frågor om bland annat etik och beslutsteori. I Fud-programmet som presenterades 1992 drog SKB slutsatsen att tiden var mogen för att påbörja ett konkret arbete med att lokalisera och bygga en inkapslingsanläggning och ett slutförvar. Denna inriktning fick stöd av myndigheterna och regeringen.

Under perioden färdigställdes Clab och även SFR (förvaret för låg- och medelaktivt driftavfall).

#### ***På väg mot beslutsunderlag och beslut 1992–***

Forskningen fortsätter och teknikutvecklingen har intensifierats. Kärnavfallsfrågan förs ut i kommuner och bland allmänheten. Arbetet med miljökonsekvensbeskrivningar initieras i samråd med kommuner, länsstyrelser, säkerhets- och strålskyddsmyndigheter. SKB driver även en samhällsvetenskaplig forskning för att ta fram ett brett underlag om samhällsaspekterna kring slutförvarsfrågan. Regeringen och myndigheterna preciserar successivt krav på underlag och på beslutsprocessen.

<sup>12</sup> KASAM – Statens råd för kärnavfallsfrågor ([www.kasam.se](http://www.kasam.se))

#### **4.1.1 Från upparbetning till direktdeponering**

Fram till mitten av 1970-talet ägnades kärnavfallsfrågan liten uppmärksamhet utanför experternas krets /13/. Därefter togs frågan om hur det använda kärnbränslet och annat radioaktivt avfall skulle omhändertas på lång sikt upp till ingående behandling. Det blev en huvudfråga på den politiska nivån men ledde också till ett intensivt engagemang från industrin och forskningsvärlden. Här redovisas några av de viktigaste milstolparna som lade grunden till dagens system.

##### ***AKA-utredningen – 1976***

Industriministern lämnade i december 1972 direktiv till en parlamentarisk utredning om använt kärnbränsle och radioaktivt avfall, förkortat Aka-utredningen. Huvudbetänkandet kom våren 1976 /14/. Utredningens förslag kan sammanfattas i följande punkter:

- Ett centralt lager för använt kärnbränsle behövs i landet.
- Utredningen betraktade det använda kärnbränslet som en resurs och förordade en återanvändning av resturan och plutonium genom upparbetning. Man rekommenderade en förberedelse för en inhemsk upparbetningsanläggning. Studier för att klarlägga förutsättningarna för icke-upparbetning (direktdeponering) bör dock göras.
- Slutförvaring av radioaktivt avfall bör ske i urberg.

Med trettio års perspektiv kan vi nu konstatera att utredningens betänkande och granskningen har haft en stor betydelse för den fortsatta utvecklingen på kärnavfallsområdet och att den i hög grad påverkat arbetsuppgifterna för SKB.

##### ***Villkorslagen – 1977***

År 1976 fick Sverige en ny regering och riksdag som stiftade den så kallade ”villkorslagen”. Lagen omfattade de reaktorer som ännu inte var i drift. För laddning krävdes tillstånd av regeringen. Detta kunde meddelas enligt två alternativ. Ett alternativ var att reaktorinnehavaren skulle kunna visa både ett betryggande upparbetningsavtal och hur och var det högaktiva avfallet från upparbetningen slutligen kunde förvaras på ett helt säkert sätt. Det andra alternativet förutsatte direktförvaring utan upparbetning. Reaktorinnehavaren skulle även här kunna visa hur och var en helt säker slutlig förvaring kunde ske.

För att uppfylla kraven bildades projekt KBS i slutet av 1976 av de fyra kärnkraftsföretagen Statens Vattenfallsverk, Sydkraft AB, Oskarshamnsverkets Kraftgrupp AB, och Forsmarks Kraftgrupp AB. KBS är en akronym för KärnbränsleSäkerhet.

##### ***Förglasat avfall från upparbetning, KBS-1 – 1977***

KBS-projektet gjorde först en utredning om säkerheten vid slutförvaring av förglasat upparbetningsavfall /9/. Rapporten användes som underlag för ansökan om laddningstillstånd för reaktorerna Ringhals 3 och 4 samt Forsmark 1 och 2.

På begäran från regeringen skulle man också visa att det i Sverige fanns tillräckligt stora bergformationer med de egenskaper som förutsattes i utredningens säkerhetsanalys. För att visa detta utfördes geologiska undersökningar med provborrningar och mätningar.

SKBF<sup>13</sup> svarade för de nödvändiga avtal som slöts för upparbetning av bränsle från Barsebäck 2, Ringhals 3 och 4 samt Forsmark 1 och 2. Avtalen låg till grund för ansökan om drifttillstånd. SKBF, som startades redan 1973, var ett företag som ägdes gemensamt av kärnkraftsföretagen. SKBF:s uppgift var från början att främst hantera kärnkraftverkens bränsleförsörjning. Verksamheten ändrades radikalt när företaget nu även fick ansvar för KBS-projektet.

<sup>13</sup> SKBF – Svensk Kärnbränsleförsörjning AB. SKBF bytte 1984 namn till SKB (Svensk kärnbränslehantering AB)

### **Slutförvaring av icke upparbetat bränsle, KBS-2 – 1978 och KBS-3 1983**

KBS-projektet studerade därefter alternativet icke upparbetning, dvs direktdeponering av använt kärnbränsle. Detta arbete resulterade i den så kallade KBS-2-rapporten som i allmänhet mottogs positivt av både svenska och utländska remissorgan /10/.

Arbetet med att vidareutveckla metoderna för direktdeponering fortsatte. När kärnreaktorerna Forsmark 3 och Oskarshamn 3 var klara att tas i drift gjorde kraftföretagen en ansökan grundad på ett fördjupat utredningsmaterial för direktdeponering av använt kärnbränsle – KBS-3 /11/. Här redovisades inte någon enskild plats som lämplig för ett slutförvar. I stället framfördes ett antal undersökta typområden: Finnsjön, Fjällveden, Gideå, och Kamlunga. I likhet med de föregående KBS-rapporterna blev KBS-3 föremål för en ingående granskning.

Regeringen fann att ”metoden i sin helhet i allt väsentligt befunnits kunna godtas med hänsyn till säkerhet och strålskydd” och godkände laddningsansökan för de två reaktorerna i juni 1984. Därmed hade alla kärnreaktorer i det svenska kärnkraftsprogrammet fått drifttillstånd. Den fortsatta forskningen och utvecklingen har baserats på en direktdeponering av det använda bränslet.

## **4.2 SKB:s program för forskning och utveckling**

Enligt lagen om kärnteknisk verksamhet är SKB, på uppdrag av reaktorinnehavarna, skyldig att vart tredje år ta fram ett program för den allsidiga forskning och utveckling som krävs för en säker hantering och slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall. Programmet ska sändas in till regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer för att granskas och utvärderas. Samtliga nedan beskrivna program har remissbehandlats och därefter godtagits av regeringen. I figur 4-1 ges en översikt av presenterade forsknings- och utvecklingsprogram och andra milstolpar i utvecklingsarbetet.

### **FoU-program 84**

Som en bilaga till ansökningarna om laddningstillstånd för reaktorerna Forsmark 3 och Oskarshamn 3 inlämnade SKB ett forskningsprogram som framför allt anknöt till KBS-3-metoden. Den detaljerade förvarsutformningen och platsvalet krävde mer forskning och utveckling. Myndigheterna yttrade sig över programmet och godtog det med en del detaljanmärkningar.

### **FoU-program 86**

År 1986 lämnade SKB in det första fullständiga forskningsprogrammet enligt den nya kärntekniklagen /15/.

I enlighet med kärntekniklagens krav pekade SKB på vikten av alternativstudier, och gjorde i en underlagsrapport till FoU-program 86 en genomgång av alternativen till KBS-3-metoden /16/.

SKB bedrev sedan 1977 forskningsverksamhet vid Stripagruvan i Västmanland. På grund av att vattenförhållandena påverkades av att gruvan varit i drift sedan medeltiden planerade man nu att avsluta forskningen där. Istället föreslog SKB att ett nytt berglaboratorium skulle byggas i ostört berg för att möjliggöra fortsatta studier av geologiska och hydrogeologiska egenskaper samt nuklidtransport i verklig skala.

### **FoU-program 89**

KBS-3-metoden var accepterad av myndigheter och regering som godtagbar vad gäller säkerhet och strålskydd. Denna metod är därför ett referensalternativ för fortsatta studier av andra intressanta alternativ.

I programmet /17/ informerade SKB om planerna på en säkerhetsanalys, SKB 91. Anledningen var behovet av att utvärdera betydelsen av variationer i de geologiska förhållandena för slutförvarets funktion och säkerhet. Förundersökningar för lokalisering av ett berglaboratorium till Simpevarpsområdet genomfördes och visade att det fanns förutsättningar för en sådan anläggning på Äspö, norr om Simpevarp.

I beslutet angående FoU-program 89 fann regeringen bland annat att forskningsarbetet borde omfatta en redovisning och en uppföljning av alternativa hanterings- och förvaringsmetoder. Någon bindning till metod bör inte ske förrän säkerhets- och strålskyddsaspekter kan överblickas. En utgångspunkt för fortsatt FoU-verksamhet borde vara att ett slutförvar för kärnavfall och använt kärnbränsle skulle kunna tas i drift stegvis.

### **Fud-program 92**

Programmet /18/ utgjorde en viktig konkretisering av kärnavfallsprogrammet genom att ange en plan för att realisera en djup geologisk förvaring av inkapslat använt bränsle. Det utgjorde starten för lokaliseringen av ett slutförvar. SKN:s<sup>14</sup> förslag att förvaret ska byggas stegvis togs upp, enligt regeringens önskemål, och infördes i programmet. I ett första steg planerades demonstrationsdeponering för cirka 400 kapslar, dvs ungefär 10 procent av det totala behovet. Först efter att detta steg genomförts och utvärderats skulle beslut fattas om fortsättningen. Det skulle då vara möjligt både att fortsätta på den inslagna linjen och att återta bränslet. I programmet presenterades för första gången planen att bygga inkapslingsanläggningen i anslutning till Clab, se avsnitt 4.4.

Viktiga underlag till programmet var säkerhetsanalysen SKB 91 /19/ och den så kallade PASS-rapporten /20/, som jämförde olika inkapslingsmetoder och slutförvaringsmetoder (KBS-3, djupa borrhål, långa tunnlar, medellånga tunnlar). PASS-rapporten förordade bibehållit referenssystem enligt KBS-3 med en kopparkapsel med insats av stål.

I regeringens beslut ställdes krav på kompletterande redovisning till SKI. SKB skulle komplettera Fud-program 92 genom att redovisa:

- de kriterier och metoder som kan bilda underlag för val av platser lämpliga för slutförvar,
- ett program för beskrivning av förutsättningar för konstruktion av inkapslingsstation och slutförvar,
- ett program för de säkerhetsanalyser som SKB avser att upprätta,
- en analys av på vilket sätt olika åtgärder och beslut påverkar senare beslut inom slutförvarsprogrammet.

### **Komplettering av Fud-program 92**

SKB lämnade den begärda kompletteringen i augusti 1994 /21/. I sitt följande beslut klargjorde regeringen att en ansökan om ett slutförvar bör innehålla jämförande bedömningar baserade på platsanknutna förstudier på mellan fem till tio platser i landet och att platsundersökningar ska ha bedrivits på minst två platser. Skälen för valet av dessa platser ska redovisas. De lokaliseringsfaktorer och kriterier som SKB anger bör enligt regeringens uppfattning vara en utgångspunkt för det fortsatta lokaliseringsarbetet.

### **Fud-program 95**

Tonvikten i Fud-program 95 /22/ låg på hur SKB planerade att genomföra de utvecklingsprojekt (inkapsling, slutförvar) som krävs för att inleda deponering av inkapslat bränsle. Programmet

---

<sup>14</sup> SKN – Statens kärnbränslenämnd. SKN upphörde 1992 och gick huvudsakligen upp i SKI (vissa uppgifter övertogs av KASAM – Statens råd för kärnavfallsfrågor)

omfattade även de stödjande forsknings- och utvecklingsinsatser som behövs för projekten samt uppföljning av och forskning kring alternativa metoder. Viktiga underlag för programmet utgjorde bland annat följande:

- Redovisningarna av förstudierna i Storuman och Malå.
- En rikstäckande genomgång av förutsättningar och bakgrund för lokaliseringsarbetet – Översiktsstudie 95.
- En mall för säkerhetsrapporter, SR 95.

Vid granskningen av Fud-program 95 menade SKI att avsevärda framsteg har gjorts sedan Fud-program 92. Nyutvecklad metodik behöver nu tillämpas och utvärderas. Tidigare bedömningar av viktiga säkerhetsfaktorer måste stämmas av mot ny kunskap och modifiering av förvarssystemet. Vidare betonade SKI att som grund för kommande ställningstaganden om det slutliga valet av systemlösning bör särskilt nollalternativet redovisas som referens till deponeringsalternativet.

### ***Fud-program 98***

SKB redovisade ett ingående underlag på de punkter som regeringen hade lyft fram med anledning av Fud 95, det vill säga alternativa lösningar till KBS-3, systemanalys av hela slutförvarssystemet, lokaliseringsunderlag och platsvalskriterier /23/.

Beträffande alternativa lösningar innehöll rapporten en bred redovisning av såväl alternativa metoder som varianter av KBS-3-metoden. Slutförvarets långsiktiga säkerhet behandlades och en kommande redovisning av en säkerhetsanalys (SR 97) aviserades. SKB redovisade också det arbete som planerades inför kommande platsundersökningar fram till beslut år 2001.

I programmet specificerades också referenskapseln med ett 5 cm kopparhölje och gjutjärns-insats, se avsnitt 4.3.

Regeringen begärde i sitt beslut över Fud-program 98 att SKB skulle lämna en kompletterande redovisning beträffande alternativa metoder, underlag för val av platser och program för platsundersökningarna.

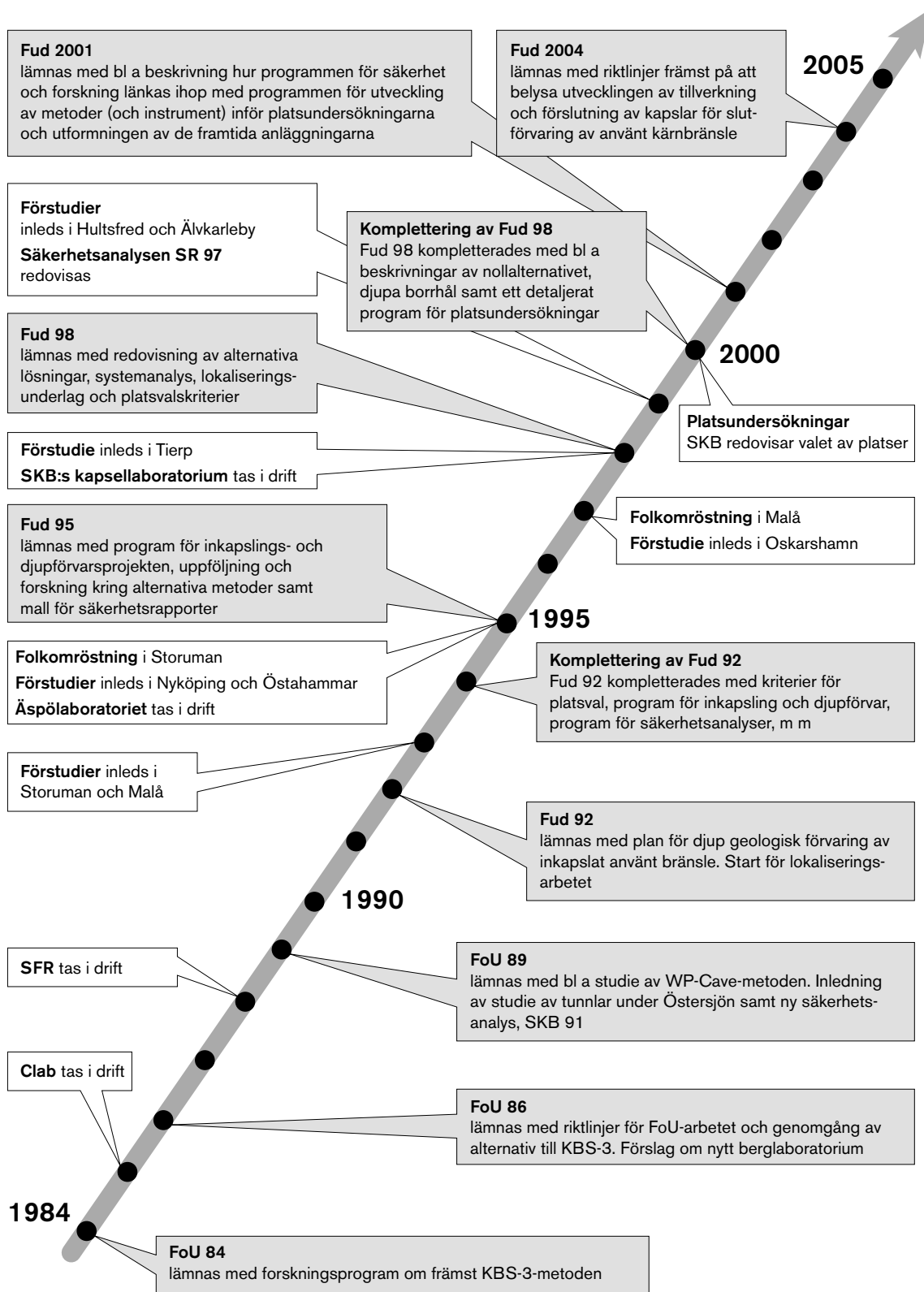
### ***Komplettering av Fud-program 98***

I november 1999 redovisade SKB den aviserade säkerhetsanalysen, SR 97 /7/, som i remissbehandlingen mottogs mycket positivt av såväl myndigheter som den vetenskapliga expertisen. Myndigheterna ansåg att KBS-3-metoden var en god grund för SKB:s kommande platsundersökningar och den fortsatta utvecklingen av barriärerna.

I december 2000 lämnades de kompletterande redovisningar som regeringen begärde i sitt beslut över Fud-program 98 /24/. Platsundersökningarna föreslogs att genomföras i Oskarshamn och i Norduppland och planerades att inledas under år 2002, vilket också skedde.

### ***Fud-program 2001***

Fud-program 2001 koncentrerade sig på frågor som relaterade till forskning och teknikutveckling /25/. Frågor rörande lokalisering av anläggningarna togs inte upp eftersom SKB vid denna tid väntade på regeringens beslut med anledning av kompletteringen av Fudprogram 98. I programmet utgick man från myndigheternas krav på den långsiktiga säkerheten och kopplade detta till dels utvecklingen av säkerhetsanalysens metodik, dels forskningen om de långsiktiga processerna i förvaret. Programmen för säkerhet och forskning länkades sedan ihop med programmen för utveckling av metoder och instrument inför platsundersökningarna och utformningen av djupförvaret, inkapslingsanläggningen och kapseln.



Figur 4-1. Milstolpar i utvecklingsarbetet.



Ett övergripande mål för SKB var att starta den inledande driften av ett slutförvar för använt bränsle år 2015. Den presenterade tidsplanen innebar att reguljär drift (nuvarande benämning rutinmässig drift) skulle kunna inledas i början av 2020-talet innan förvaringsutrymmena i Clab är fyllda och på så sätt undvika en ytterligare utbyggnad. Inkapslingsanläggningen planerades vara driftklar ett år innan slutförvaret skulle stå färdigt.

I tidsplanen ingick även att genomföra säkerhetsanalyser av slutförvaret baserade på data från det inledande platsundersökningsskedet. Dessa analyser skulle ge underlag till val av plats.

I sitt yttrande över Fud-program 2001 efterfrågade SKI en redogörelse som tydligare klargjorde planeringen för återstoden av kärnavfallsprogrammet /32/. En handlingsplan begärdes sedan av regeringen i samband med godkännandet av forskningsprogrammet.

### **Fud-program 2004**

Detta Fud-program var främst inriktat på att belysa utvecklingen av tillverkning och förslutning av kapslar för slutförvaring av använt bränsle /26/. Anledningen var att SKB avsåg att lämna in ansökan om tillstånd för en inkapslingsanläggning under den kommande programperioden, dvs fram till nästa Fud-program som ska lämnas in 2007.

Under 2002 inledde SKB ett skede med platsundersökningar i Östhammar och Oskarshamn. Målet för skedet var att få de tillstånd som behövdes för att lokalisera och bygga slutförvaret och inkapslingsanläggningen. Ett övergripande mål i programmet var att den första etappen av slutförvaret skulle stå klart 2017 för inledande drift (nuvarande benämning provdrift).

I Fud 2004 presenterades den handlingsplan som efterlystes i granskningen av Fud 2001. Planen delades in i två delar: kärnbränslesystemet respektive avfallssystemet för låg- och medelaktivt avfall (Loma). För den aktuella programperioden 2004-2009 låg tyngdpunkten i arbetet på kärnbränsleprogrammet. Planen innebar bland annat att SKB skulle ta fram underlag som behövdes för att 2006 kunna ansöka om inkapslingsanläggningen och 2008 om slutförvaret.

SKI skrev i sitt yttrande över Fud-program 2004 /33/ att de anser att SKB:s handlingsplan är ofullständig och behöver struktureras bättre. SKI efterfrågade en mer detaljerad redovisning av innehållet i de beslutsunderlag som SKB avsåg att lämna vid olika redovisningstillfällen.

## **4.3 Systemets utveckling**

Systemets utformning styrs till stor del av slutförvaret med dess barriärer. Tyngdpunkten i nedanstående beskrivning har därför lagts på utvecklingen av dessa. Beskrivningen har huvudsakligen gjorts utifrån tidpunkterna för utförda säkerhetsanalyser. Anledningen är att dessa är tydliga beslutspunkter för systemets, och i synnerhet för slutförvarets, referensutformning. Med referensutformning menas en beskrivning av en utformning som är giltig från en definierad tidpunkt och som ska gälla som förutsättning och jämförelsegrund för vidareutveckling. Vissa delar i utformningen har beskrivits översiktligt i de tidiga analyserna. Detta har sedan successivt detaljerats. I nästföljande avsnitt, "KBS-2-1978", beskrivs hela det presenterade referenssystemet. Därefter beskrivs endast detaljer i och förändringar mot detta referenssystem.

### **KBS-2 – 1978**

I KBS-2 /10/ beskrevs hanteringsgången för det använda bränslet enligt följande:

Efter att bränslet förvarats en tid vid kraftverkens bassänger transporteras det till ett centralt lager för använt kärnbränsle. Efter en lagringsperiod på 40 år skulle bränslet transporteras till en inkapslingsstation som antogs ligga vid slutförvaret. Där demonterades bränslet och bränslestavarna skildes från bränsleelementens metalldelar. Man ville på den tiden packa ihop bränslestavarna så mycket som möjligt för att minimera kapselns dimensioner. Mängden bränsle per kapsel var i storleksordningen densamma som dagens kapsel, då liksom nu främst begränsad med hänsyn till värmeutvecklingen.

---

## KBS-2 – 1978

### Bränsle

Bränslestavarna demonteras före inkapsling. Bränslets metalldelar kompakterade och ingjutna i betongkuber.

### Kapsel

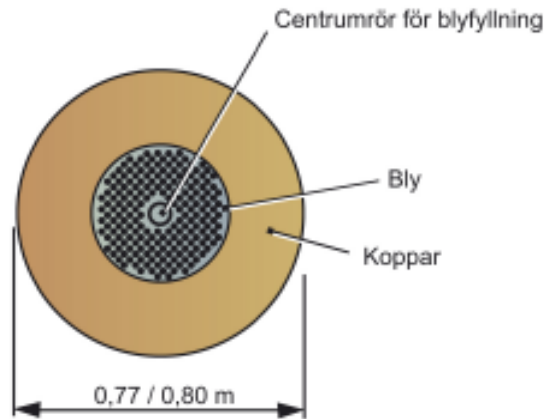
Blyfylld kopparkapsel med en vägg tjocklek på 20 cm.

### Buffert

Högekompakterad bentonit.

### Återfyllning

Blandning av kvartssand och bentonit.



Bränslestavarna planerades att kapslas in i en korrosionsbeständig behållare av ren koppar med en vägg tjocklek på 20 cm. Bland annat för att förhindra skador på kapseln, som kunde uppkomma om kapseln utsattes för mekaniska påfrestningar, var utrymmet mellan bränslestavarna och kapseln helt fyllt med bly (appliceras i smält form).

De fyllda kopparkapslarna skulle därefter överföras till ett slutförvar bestående av ett system av tunnlar cirka 500 m nere i berggrunden. Kapslarna transporterades ner till förvaringsnivån via ett schakt. Därefter deponerades de i vertikala borrhål och omgavs med en buffert bestående av högekompakterad bentonit. Avstånden mellan tunnarna (25 m) och mellan deponeringshålen (6 m) bestämdes på grundval av bergmekaniska hänsynstaganden och inverkan av bränslets värmeavgivning. När förvaret blivit fyllt med kapslar skulle det förseglas genom att tunnlar och schakt fylldes med en blandning av kvartssand och bentonit (kvartssanden hade goda värmeledningsegenskaper och hög renhet). Tunnlar och schakt förseglades vid exempelvis sprickzoner med kompakterade bentonitblock.

Bränsleelementens metalldelar, som också är radioaktiva, skulle kompakteras och gjutas in i betongkuber. Kuberna antogs bli deponerade i tunnlar i ett separat slutförvar i berget på cirka 300 meters djup. Förvaringstunnlarna skulle därefter fyllas med betong.

## KBS-3 – 1983

I KBS-3 /11/ övergav man tanken på att demontera bränsleknipporna före inkapsling, dels eftersom hanteringen skulle bli mycket tids- och resurskrävande, dels för att det medförde en ökad risk för skador på bränslet. Dock antogs att BWR-elementens boxar och PWR-elementens borglasstavar skulle avlägsnas. Dessa skulle dock inte kompakteras som i KBS-2 utan istället gjutas in i betongkokiller och deponeras på cirka 300 m djup någon km från förvaret för använt kärnbränsle.

Studier visade nu att kopparmantelns tjocklek kunde minskas till 10 cm men eftersom deponering av hela bränsleelement, istället för utplockade stavar, krävde större utrymme blev kapselns yttre diameter densamma som i KBS-2.

I säkerhetsanalysen KBS-3 studerades två alternativa kapslar. I det ena alternativet placerades det använda bränslet i en kapsel där tomrummen fylldes med smält bly, varefter locket svetsades på med elektronstrålesvetsning. I det andra alternativet fylldes kopparkapseln med kopparpulver, varefter locket lades på och allt pressades i en ugn med högt tryck och hög temperatur till en homogen kropp (HIP, het isostatisk pressning). I båda alternativen förutsågs att kapseln skulle förtillverkas i syrefri smidd koppar.

---

### KBS-3 – 1983

#### Bränsle

Bränsleelementen kapslas in hela men utan bränsleboxar och borglasstavar. Bränsleboxar och borglasstavar ingjutna i betongkokiller.

#### Kapsel

Två alternativa kopparkapslar:

- Kapsel fylld med kopparpulver varefter kapseln behandlades i en ugn för het isostatisk pressning.
- Blyfylld kapsel.

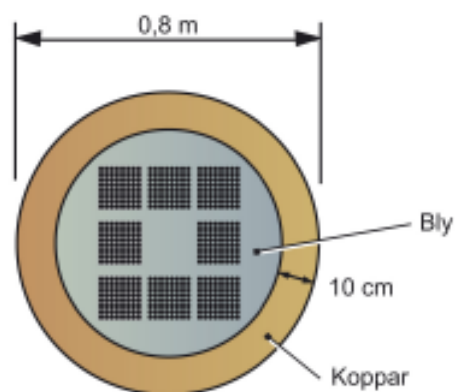
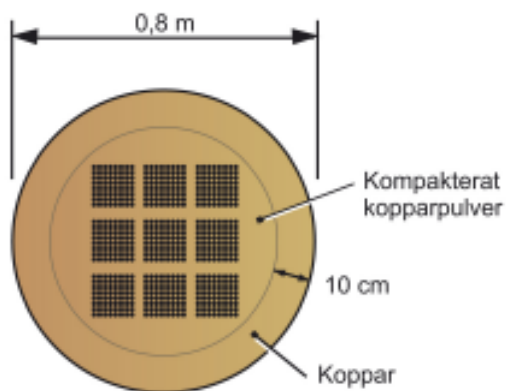
Båda med 10 cm koppartjocklek.

#### Buffert

Högkompakterad bentonit.

#### Återfyllning

Blandning av kvartssand och bentonit.



---

### SKB 91 – 1991

Referenskapseln i SKB 91 /19/ baserades på den blyfyllda kapseln från analysen KBS-3 med vissa modifieringar. Det yttre höljet av koppar minskades från 10 till 6 cm och antalet bränsleelement minskades från 9 till 8 BWR-element. De yttre dimensionerna bibehölls dock.

Som referensmaterial för bufferten valdes en bentonitlera kallad MX-80. Återfyllning av tunnlar och schakt antogs göras med en blandning av kvartssand och bentonit (10–20 procent bentonit). Sprickzoner pluggades med högkompakterade bentonitblock. Slutförvaret antogs ligga på 300–700 m djup.

---

### SKB 91 – 1991

#### Bränsle

Bränsleelementen deponeras hela men utan bränsleboxar och borglasstavar. Bränsleboxar och borglasstavar ingjutna i betongkokiller.

#### Kapsel

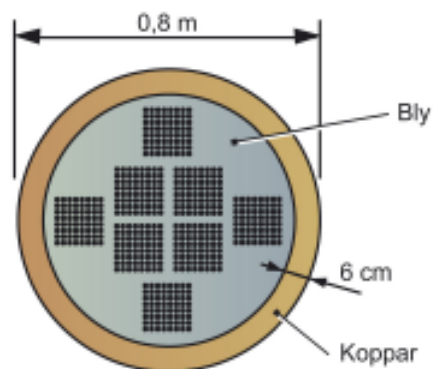
Blyfylld kopparkapsel med 6 cm väggjocklek.

#### Buffert

Högkompakterad bentonit.

#### Återfyllning

Blandning av kvartssand och bentonit (10–20 procent bentonit) varvat med pluggar av högkompakterade bentonitblock.



---

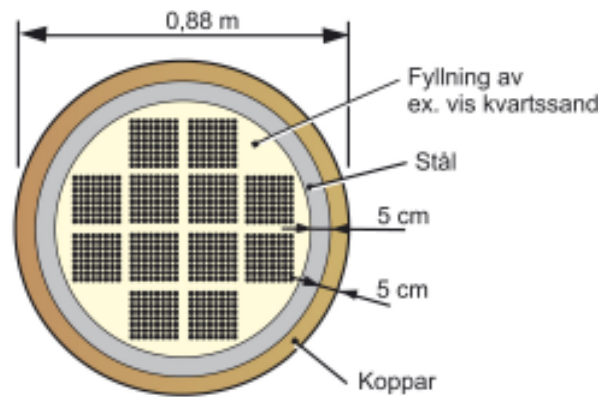
## PASS-studien – 1992

### Kapsel

Kapsel innehållande hela bränselement utan bränsleboxar.

En kapsel bestående av ett yttre kopparhölje över en inre stålkapsel. Stålkapseln skulle fyllas med t ex kvartssand, glaspärlor, borglas eller blyhagel.

5 cm koppertjocklek.



---

## PASS-studien – 1992

År 1992 genomförde SKB projekt ”Alternativstudier för slutförvar (PASS)” där olika deponeringsalternativ och kapselutformningar jämfördes /20/. För deponeringsalternativet enligt KBS-3-metoden studerades tre olika utformningar av kopparkapseln samt två alternativa stålkapslar.

- Koppar/stål-kapsel (kompositkapsel). En kapsel bestående av ett yttre kopparhölje över en inre stålkapsel som ger konstruktionen mekanisk stabilitet.
- Koppar/bly-kapsel. En kopparkapsel som fyllts med smält bly för att få önskad mekanisk stabilitet. Inkapsling sker vid hög temperatur.
- Kopparkapsel. En solid kopparkapsel som tillverkats genom het isostatisk pressning av kopparpulver (HIP). Inkapsling sker vid hög temperatur.
- Stål/bly-kapsel. En tunnväggig stålkapsel som blyfyllts för att få önskad mekanisk stabilitet och dessutom ytterligare barriärfunktion. Inkapsling sker vid hög temperatur.
- Stålkapsel. Självbärande.

I PASS-studien och Fud-program 92 /18/ förordades koppar/stål-kapseln. Ett viktigt skäl var att inkapsling kunde ske utan förhöjd temperatur vilket minskade risken för bränleskador. Den föreslagna kapseln hade en koppertjocklek på 5 cm. Den kvarstående tomvolymen i en bränsefylld kapsel föreslogs efterfyllas med ett partikulärt material: t ex kvartssand, glaspärlor, borglas eller blyhagel.

## SR 95 – 1995

Beskrivningen av slutförvaret i SR-95 /27/ bestod av två huvuddelar: dels ett förvar för det använda kärnbränslet, dels ett förvar för andra typer av långlivat avfall. Förvarsdelarna lades på ett sådant avstånd från varandra att de stora mängderna betong i området för det låg- och medelaktiva långlivade avfallet inte skulle störa de kemiska förhållandena i området för det använda kärnbränslet. Det senare planerades att deponeras i två steg. I det första steget skulle cirka 10 procent av bränslet deponeras i ett separat förvarsområde. Avståndet mellan kapslarna sattes till 6 m och mellan tunnarna till 40 m. Den dimensionerande faktorn var att temperaturen i bufferten inte fick överstiga 100 °C. För att täcka in osäkerheter av olika slag i de styrande parametrarna och i beräkningsmetoden sattes gränsvärdet för den beräknade temperaturen till 80 °C.

Efter en uppföljning av PASS-studien /28/ valdes en ny referensutformning av kapseln för SR 95. Kapseln bestod av två komponenter: en gjuten insats och ett kopparhölje. Insatsen ersatte stålcyllindern som tryckbärande komponent. Insatsen, dvs innerbehållaren var gjuten i ett stycke med individuella kanaler för bränsleelementen. Efter en enkel analys bestämdes antalet BWR-element i kapseln till tolv (jämfört med åtta i SKB 91). Detta innebar att kapselns ytterdiameter måste göras större. Tillverkningen av en gjuten insats var enklare och billigare än alternativet med ett stål rör och gav samtidigt en mekaniskt starkare kapsel. I och med att tomrummet inuti kapseln minskade så minskade också risken för kriticitet. Som material för insatsen gavs de två alternativen gjutstål eller gjutjärn. För BWR-bränsle fanns möjligheten att sätta in bränslet med eller utan boxar. Om boxarna inkluderades fick man en längre och något dyrare kapsel. För att minimera riskerna för hanteringskador valde man till slut att låta BWR-boxarna sitta kvar.

En studie av olika buffertmaterial visade att endast montmorillonit och saponit med natrium som huvudsaklig adsorberande jon kunde komma ifråga (smektityper). Den lera som skulle användas borde ha en smektithalt på minst 50 procent.

Man genomförde också en studie för att bestämma bentonitbuffertens tjocklek. Denna bestäms av önskad mekanisk, kemisk och hydraulisk funktion samt önskad kapacitet för gasmigration. Hänsyn måste också tas till buffertens förmåga att leda bort värme från kapseln så att temperaturhöjningen i bufferten inte blir för hög. Med hänsyn till detta såväl som till kravet på god barriärkapacitet mot nuklidtransport bestämdes buffertens tjocklek till 35 cm. Buffertens tjocklek under kapseln bestämdes till 50 cm och över kapseln till 150 cm. Dessa mått gäller fortfarande som referens.

Som referens i SR 95 valdes ett återfyllningsmaterial med en blandning av 10–20 procent bentonit och resten ballast. Ballasten bestod av de bergmassor som tas ut under byggnationen av slutförvaret. Berget skulle krossas till lämplig kornstorlek och blandas med bentoniten och läggas ut i horisontella skikt under kompaktering. Egenskaperna hos ett sådant material hade undersökts och visat sig vara jämförbara med egenskaperna hos den tidigare förordade kvartssandsblandningen. Skälen att använda krossat berg istället för kvartssand var både miljömässiga och ekonomiska.

---

## SR 95 – 1995

### Bränsle

Bränsleelementen deponeras hela (inklusive bränsleboxar).

### Kapsel

Kopparkapsel med 5 cm vägg tjocklek med en gjuten stålinsats med kanaler för bränsleelementen.

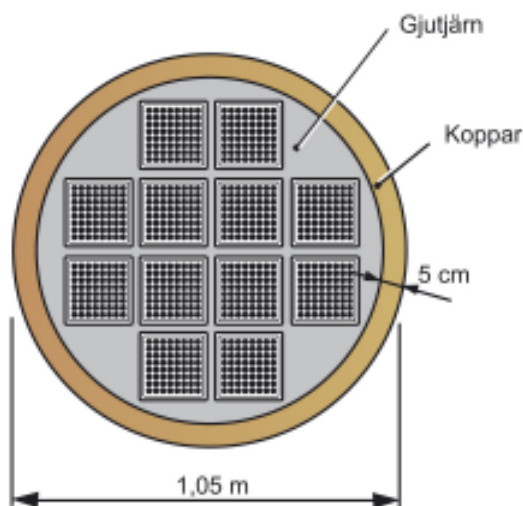
### Buffert

Högkompakterad bentonit med en smektithalt på minst 50 procent och en tjocklek på 35 cm runt kapseln.

### Återfyllning

Blandning av krossat berg och bentonit (10–20 procent) kompakterad på plats i tunnarna. Detta varvat med pluggar av högkompakterade bentonitblock.

---



## Fud-program 98 – 1998

### SR-97

År 1997 genomfördes en studie i syfte att definiera de viktigaste parametrarna som styr kapselns dimensioner och utifrån dessa välja kapselstorlek. Längden av kapseln styrdes av bränsleelementens maximala längd och var därmed bestämd. Diametern kunde dock varieras beroende på antalet bränsleelement i kapseln. I studien jämfördes fem olika kapselstorlekar med ett innehåll varierande från 8 till 20 BWR-element. Fler än 20 element bedömdes inte lämpligt eftersom kapseln då får för hög värmeavgivning vilket skulle orsaka en oacceptabelt hög temperatur i den omgivande bentonitbufferten. Figur 4-2 visar tvärsnitten för tre av de studerade kapselstorlekarna.

Kraven på säkerhet både långsiktigt och under drift skulle vara det primära och alltid uppfyllas. Kapselns utformning skulle styras av ett antal funktionella krav och hur dessa kunde uppfyllas till lägsta kostnad.

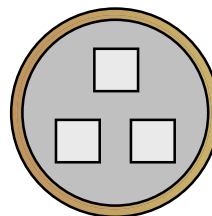
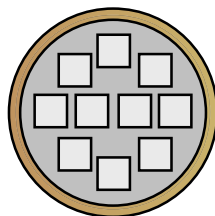
En mindre kapsel gav högre kostnader för tillverkning, inkapsling, transport och deponering eftersom mängden kapslar ökade. Å andra sidan kunde de mindre kapslarna deponeras tätare i slutförvaret eftersom de hade en lägre värmeeffekt. Detta gav lägre kostnader för uttag av berg och för återfyllningen. Den sammanlagda kostnaden visade på att den minsta kapseln utgjorde det dyraste alternativet. Kostnadsskillnaderna mellan de olika alternativen var dock små.

Studien drog slutsatsen att kapseln med 12 BWR-element respektive 4 PWR-element var den optimala både med avseende på funktion och kostnad. Nackdelen för den större kapseln var dels att den inte var kriticitetsmässigt verifierad, dels att den gav en sämre flexibilitet vid ändrade termiska förhållanden i slutförvaret.

Baserat på en sammanställning av konstruktionsförutsättningarna för kapseln /29/ specificerades i Fud 98 en referenskapsel mer i detalj. Referenskapseln gavs ett 5 cm tjockt kopparhölje (men även ett alternativ med 3 cm presenterades). Materialet för gjutjärnsinsatsen specificerades till att vara segjärn. Detta beroende på att det är lättare att gjuta segjärn än gjutstål.

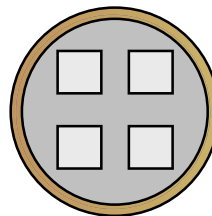
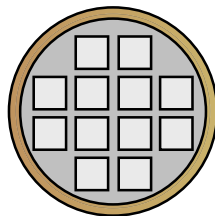
#### Mindre kapsel

Antal BWR-element	10
Antal PWR-element	3
Ytterdiameter kapsel (mm)	1 010
Kapselyta (m <sup>2</sup> )	16,94
<b>Kapselvikter inklusive bränsle</b>	
Kapsel för BWR-bränsle (kg)	23 600
Kapsel för PWR-bränsle (kg)	25 600



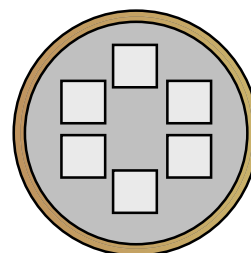
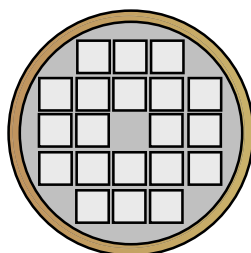
#### Vald kapsel

Antal BWR-element	12
Antal PWR-element	4
Ytterdiameter kapsel (mm)	1 050
Kapselyta (m <sup>2</sup> )	17,67
<b>Kapselvikter inklusive bränsle</b>	
Kapsel för BWR-bränsle (kg)	24 900
Kapsel för PWR-bränsle (kg)	26 900



#### Större kapsel

Antal BWR-element	20
Antal PWR-element	6
Ytterdiameter kapsel (mm)	1 330
Kapselyta (m <sup>2</sup> )	22,97
<b>Kapselvikter inklusive bränsle</b>	
Kapsel för BWR-bränsle (kg)	39 100
Kapsel för PWR-bränsle (kg)	43 000



Figur 4-2. Tvärsnitt som visar olika möjliga kapselstorlekar.

## Fud-program 98 – 1998

### Bränsle

Bränsleelementen deponeras hela (inklusive bränsleboxar).

### Kapsel

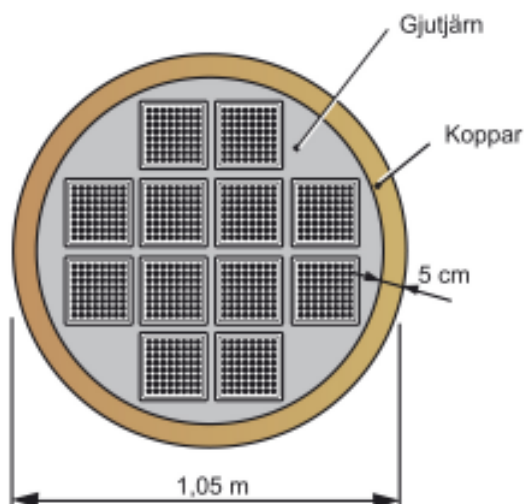
Kopparkapsel med 5 cm vägg tjocklek med en gjuten stålinsats av segjärn med kanaler för bränsleelementen. Kopparkvaliteten specificeras.

### Buffert

Högkompakterad bentonit av typen MX-80. Bufferten har en tjocklek på 35 cm runt kapseln.

### Återfyllning

Blandning av krossat berg och bentonit (10–20 procent) kompakterad på plats i tunnarna. Detta varvat med pluggar av högkompakterade bentonitblock.



Gjutbarheten styrde dimensioneringen av insatsen mer än kravet på tryckhållfasthet. Detta innebar också att insatserna kunde gjutas med integrerad botten vilket inte vore möjligt om stålsgjutgods användes. Alternativet med stålsgjutgods blev dessutom betydligt dyrare bland annat beroende på lägre materialutbyte och behov av värmebehandling. I Fud 98 definierades också kopparkvaliteten med krav på en viss renhet och med en tillsats av fosfor för förbättrad plastisk formbarhet.

Som referensmaterial till bufferten valdes MX-80 bentonit, en naturlig lera från Wyoming eller South Dakota. Beteckningen MX-80 specificerar en viss kvalitet och kornstorlek av den torkade och malda bentoniten. Denna bestod till 65–80 procent av smektitmaterialet montmorillonit där lerpartiklarna var mindre än 2 µm.

## SR-Can – 2006

I SR-Can övervägs två typer av bentonit som referensmaterial för bufferten /3/. Den ena är en naturlig Na-bentonit av Wyomingtyp (MX-80) och den andra är en Ca-bentonit (Deponit CA-N).

I SR-Can har två olika alternativ för återfyllning i deponeringstunnlarna utvärderats:

- Förkompakterade block av en blandning av krossat berg och bentonit. Blocken består av 70 procent krossat berg och 30 procent bentonit av samma kvalitet som för bufferten. Den översta metern av deponeringshålet återfylls med samma material som tunneln.
- Förkompakterade block av Friedland-lera. Blocken innehåller endast Friedland-lera som består av cirka 50 procent smektit. Den översta delen av deponeringshålet återfylls med bentonitblock i samma material och dimensioner som de buffertblock som placerats över kapseln.

När en deponeringstunnel återfyllts måste den förseglas i väntan på att transporttunneln ska återfyllas. Pluggen skulle stå emot trycket från grundvattnet och från svälltrycket från återfyllningen samt förhindra vattenflöde. Pluggen skulle bestå av betong baserad på cement med lågt pH. Pluggen skulle visserligen lämnas kvar i slutförvaret men den hade inga långsiktiga säkerhetsfunktioner.

Övriga tunnlar och schakt antogs bli återfyllda enligt det första alternativet för deponeringstunnlarna, dvs med förkompakterade block av krossat berg och bentonit.

---

## SR-Can – 2006

### Bränsle

Bränsleelementen deponeras hela (inklusive bränsleboxar).

### Kapsel

Kopparkapsel med 5 cm vägg tjocklek med en gjuten stålinsats med kanaler för bränsleelementen.

### Buffert

Högkompakterad bentonit av typen MX-80 eller Deponit CA-N. Bufferten har en tjocklek på 35 cm runt kapseln.

### Aterfyllning i deponeringstunnlarna

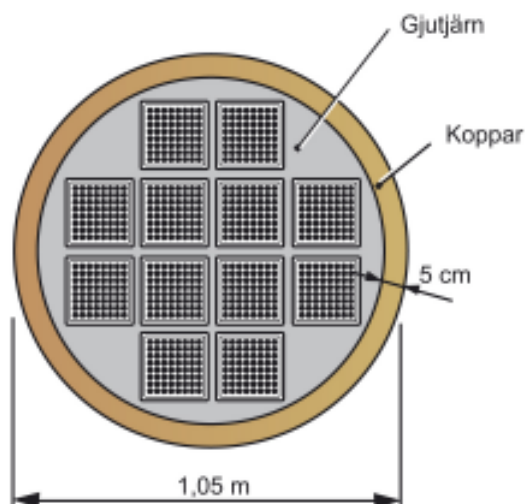
Två alternativ:

- Förkompakterade block av Friedland-lera
- Förkompakterade block av krossat berg (70 procent) och bentonit (30 procent).

### Aterfyllning i övriga tunnlar och i schakt

Förkompakterade block av krossat berg (70 procent) och bentonit (30 procent).

---



## 4.4 Val av plats för de nya anläggningarna – historik och motiv

### Dagsläget

För att ta hand om det använda bränslet behövs tre nya anläggningar: en inkapslingsanläggning, ett slutförvar och en kapselfabrik. I november 2006 ansöker SKB enligt kärntekniklagen (KTL) om att få uppföra en inkapslingsanläggning och att få driva denna integrerat med Clab. De båda anläggningarna kommer att drivas som en gemensam anläggning. Var kapselfabriken kommer att placeras är fortfarande en öppen fråga.

I syfte att hitta en plats för slutförvaret för det använda bränslet bedriver SKB för närvarande platsundersökningar i Forsmark och Laxemar. Det slutliga valet av plats kommer att göras inför ansökningarna enligt kärntekniklagen och miljöbalken som planeras att lämnas in i slutet av 2009.

### Historik och motiv

De platser som SKB bedömt vara rimliga för placering av en inkapslingsanläggning har varit antingen i anslutning till Clab eller i anslutning till slutförvaret för det använda kärnbränslet. Motivet har varit att minimera transportbehovet. I SKB:s tidiga beskrivningar av slutförvarssystemet antogs att inkapslingsanläggningen skulle samlokaliseras med slutförvaret. Antagandena om lokalisering var på den tiden helt kopplade till de kostnadsberäkningar som utgjorde grunden för fondering av medel i kärnavfallsfonden. Några närmare analyser gjordes inte utan antagandena avsåg enbart att vara konservativa dvs ge en betryggande säkerhet mot underskattning av kostnader som sammanhänger med lokaliseringen. Vid samma tid antogs av samma skäl slutförvaret bli förlagt till Norrlands inland innebärande svåra vinterförhållanden och långa transporter med såväl båt som järnväg.

I Fud-program 92 presenterades för första gången planen att bygga inkapslingsanläggningen i anslutning till Clab. En sådan samlokalisering ansågs ge klara fördelar i jämförelse med andra förläggningalternativ i fråga om logistik för bränslehantering, resursutnyttjande och miljöpåverkan. I den miljökonsekvensbeskrivning som ingår i ansökan om inkapslingsanläggningen enligt KTL har SKB dock bedömt att de båda lokaliseringarna är likvärdiga ur miljö- och hälso-



synpunkt. Lokaliseringen vid Clab är emellertid lämplig ur transport- och hanteringssynpunkt, oavsett var man beslutar att placera slutförvaret, eftersom bränslet kan tas direkt från Clab till inkapslingsanläggningen utan transporter utanför anläggningen. En lokalisering på annan plats skulle innebära fler hanteringsmoment med det använda kärnbränslet och därmed en något förhöjd dos till personalen. Vid Clab kan även den erfarenhet av bränslehantering som finns hos personalen tas tillvara samtidigt som driftorganisationen kan delas mellan anläggningarna. En annan fördel för SKB är att flera av de befintliga systemen och anläggningsdelarna i Clab också kan nyttjas för inkapslingsanläggningen /30/.

Arbetet med val av plats för slutförvaret för använt bränsle har pågått i flera decennier. I det tidiga arbetet genomförde SKB provborrningar i geologiska typområden och inledande översiktsstudier av de geologiska förhållandena i hela landet.

I kompletteringen till Fud-program 92 redovisade SKB kriterier och metoder som skulle ligga till grund för platsvalet. Under perioden 1992–2000 förde sedan SKB diskussioner om förstudier med ett tjugotal kommuner i olika delar av landet. Villkoren för att inleda en förstudie var att det skulle finnas en potentiellt lämplig berggrund samt att förstudien skulle bygga på en frivillig medverkan från kommunens sida. Med dessa urvalsgrunder genomförde SKB förstudier i åtta kommuner: Storuman, Malå, Östhammar, Nyköping, Oskarshamn, Hultsfred, Tierp och Älvkarleby /31/.

I Storuman och Malå resulterade lokala folkomröstningar i att fortsatt medverkan avvisades. Bland de sex återstående kommunerna visade förstudierna att det i alla utom i Älvkarleby fanns områden där berggrunden bedömdes som potentiellt lämplig för ett slutförvar. Även när det gällde de tekniska och miljömässiga förutsättningarna visade förstudierna på goda möjligheter. I slutet av år 2000 presenterade SKB en samlad redovisning av metod och platsval inför platsundersökningsskedet med förslag på platser som skulle undersökas vidare /24/.

Områdena representerade olika geologiska miljöer. Likväl bedömde SKB att samtliga områden hade god potential för att uppfylla de krav som ställts upp. Avgörande för valet blev möjligheterna att genomföra industrietableringen framförallt med hänsyn till miljön samt platsernas samhällsförutsättningar, dvs det lokala förtroendet för SKB:s verksamhet.

Efter ställningstaganden från regeringen samt från berörda kommuner inleddes platsundersökningar år 2002 vid Forsmark i Östhammars kommun och vid Simpevarp och Laxemar i Oskarshamns kommun. De inledande platsundersökningarna är avslutade och avrapporterade. Kompletta platsundersökningar pågår i områdena vid Forsmark och Laxemar. Platsundersökningarna beräknas kunna avslutas under våren 2007 i Forsmark och i slutet av sommaren i Laxemar.

## 5 KBS-3-förvaret – den färdiga produkten

Beskrivningen av KBS-3-systemet i denna rapport har fördelats på två kapitel. Dels detta kapitel där delsystem *KBS-3-förvaret* beskrivs, dels kapitel 6 där delsystem *produktionsanläggningarna* beskrivs. Uppdelningen har gjorts för att markera distinktionen mellan dessa två delsystem och därmed tydliggöra att valideringen i kapitel 7 enbart avser det senare delsystemet.

I detta kapitel beskriver vi således de delar av slutförvarsanläggningen som blir permanenta och som därmed kan anses vara KBS-3-systemets produkt. Dock med den begränsningen att det i denna rapport enbart är kapseln som kan beskrivas mer i detalj baserat på det underlag som stått till förfogande.

Inledningsvis ges en överblick över KBS-3-förvarets komponenter baserat på den uppdelning som återfinns i säkerhetsanalysen SR-Can /3/.

### 5.1 Inledande översikt

Enligt definition i kapitel 2 används här benämningen *produktspecifikation* för att beskriva den utformning och de kvalitetskrav som ställs på slutförvarets olika delar. Detta ställt i relation till benämningen produktionsanläggningar vilkas syfte är att framställa just denna produkt enligt de specifikationer som ställts upp. I säkerhetsanalysen används i nästan samma betydelse begreppet *initialtillståndet* som en benämning på de egenskaper hos produkten som utgör utgångsläget vid den fortsatta analysen av förvaret. Produktspecifikation och initialtillstånd är för de flesta komponenterna i slutförvaret identiska begrepp. Undantaget är synen på geosfären, dvs berget, där produktspecifikationen avser bergkonstruktionerna medan initialtillståndet avser det ostörda berget.

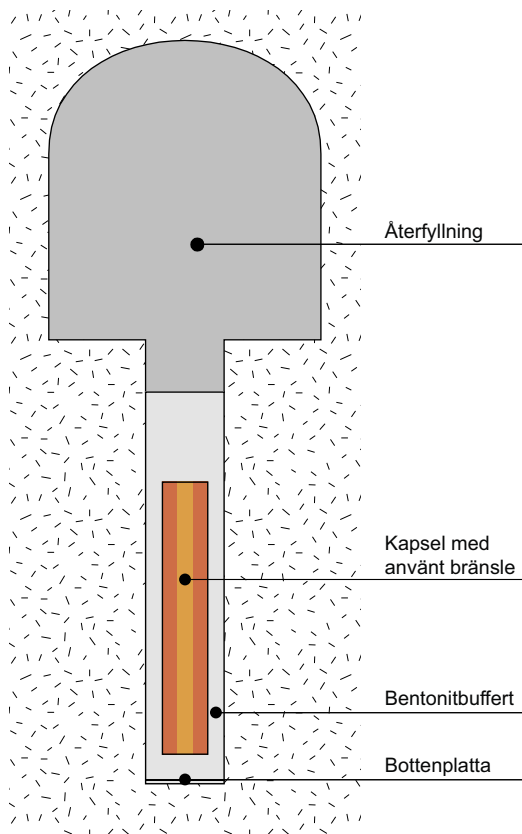
I säkerhetsanalysen, SR-Can, har slutförvaret brutits ner i följande komponenter:

1. bränslet,
2. kopparkapseln med insatsen av gjutjärn (segjärn),
3. bufferten i deponeringshålet,
4. bottenplattan i deponeringshålet (för avjämning),
5. deponeringstunneln med återfyllningsmaterial,
6. övriga bergrum och tunnlar i slutförvarsanläggningen,
7. pluggar för försegling av slutförvaret,
8. borrhål för bergundersökning inklusive tätning av dessa,
9. berget,
10. biosfären.

I figur 5-1 visas de komponenter som ligger i anslutning till den deponerade kapseln.

Samma uppdelning i komponenter som används i säkerhetsanalysen används också i denna rapport.

Valideringen av produktionsanläggningarna avser i denna rapport inkapslingsprocessen men kommer till nästa ansökan att inkludera fler komponenter av de som listades ovan. Vissa kommer dock att undantas. Bland annat kommer inte biosfären eller det orörda berget att beröras. Även förslutningen av övriga bergrum undantas i detta skede dels på grund av att det är en mycket avlägsen aktivitet, dels att den klassas som en enklare form av återfyllning jämfört med återfyllningen av deponeringstunneln. Bottenplattan i deponeringshålet kan sägas tillhöra bufferten (hjälpmedel för att horisontera uppställningsytan). Den redovisas således i samband med bufferten. Bränslet, slutligen, kommer i valideringen att behandlas tillsammans med kapseln.



*Figur 5-1. Komponenter i KBS-3-förvaret som ligger i anslutning till den deponerade kapseln.*

Beskrivningen i denna rapport täcker i viss utsträckning även komponenter som inte inkluderas i valideringen. För sådana som i första hand sammanhänger med slutförvarsanläggningen är beskrivningen mer principiell.

Beskrivningen av bränslet återfinns i kapitel 3 där bränslet inte enbart beskrivs som en komponent med säkerhetsmässig betydelse för slutförvaret utan även till omfattning och typ.

## 5.2 Kapsel

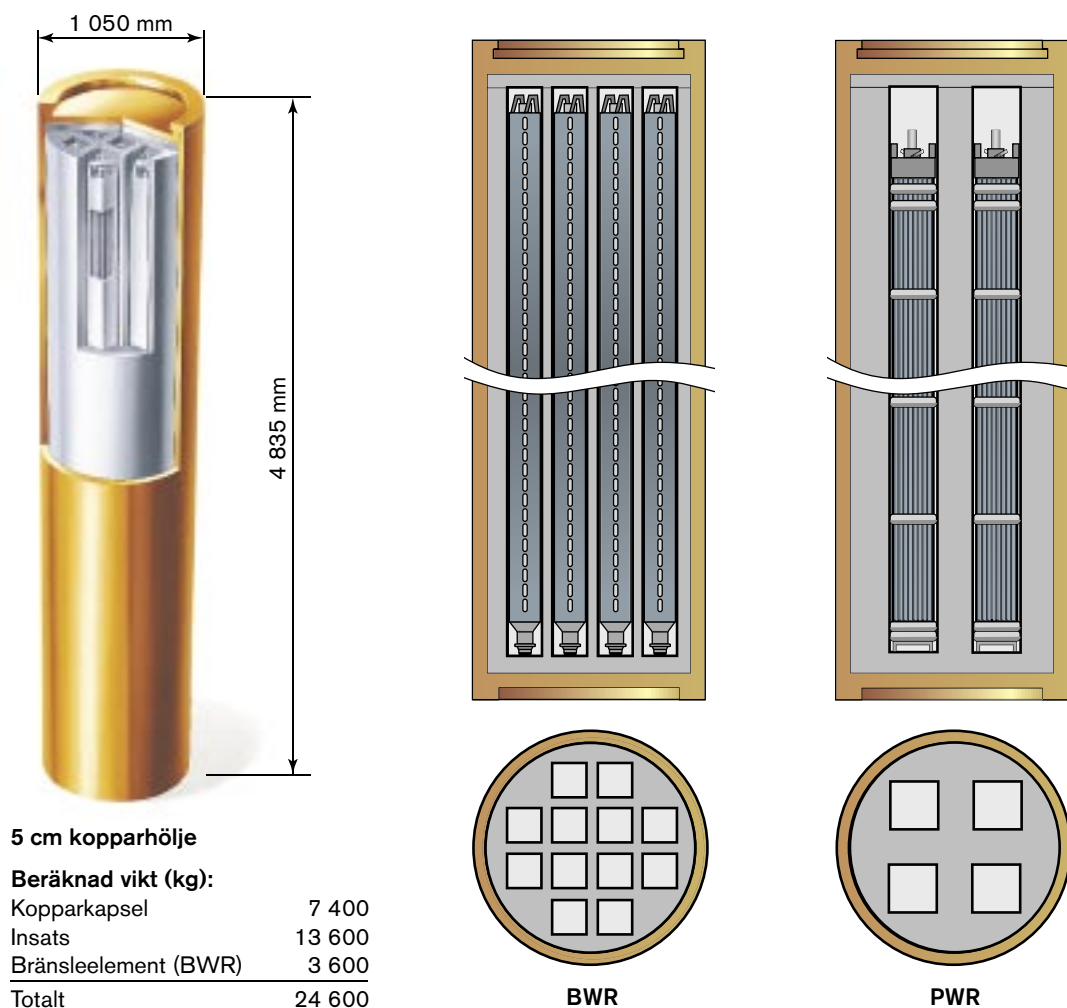
Detaljerad information om kapseln, dess materialegenskaper och tillverkning kan återfinnas i /34/.

### 5.2.1 Utformning

SKB:s referensutformning för kapseln består av en yttre korrosionsbarriär av koppar och en lastbärande insats av segjärn. Kapseln har en diameter på drygt en meter och är i det närmaste 5 meter lång, se figur 5-2. Korrosionsbarriären består av 5 cm tjock ren syrefri koppar i form av ett rör med lock och botten. Insatsen inuti kapseln har kanaler för bränsleelementen.

SKB har valt att utforma insatsen med stödjande innerstruktur där bränsleelementen placeras i individuella kanaler som skiljs åt med mellanväggar. Vid dimensionering har hänsyn också tagits till bränsleelementens dimensioner inklusive den utvidgning som skett i reaktorn. Som framgår av figur 5-2 finns insatsen i två versioner, en som rymmer 12 BWR-element och en som rymmer 4 PWR-element.

För att hanteringen av kopparkapslar i inkapslingsanläggningen och i slutförvaret ska fungera dimensioneras kopparkapseln och locket så att kapseln kan lyftas i locket när den är fylld med bränsle. För att man ska kunna lyfta kapseln på detta sätt har locket försetts med en inre fläns.



**Figur 5-2.** Utformningen av kapseln för BWR- respektive PWR-element samt sammanfattning av data för kapseln.

Kapselns utformning har gjorts utifrån de krav som ställts upp för långsiktig säkerhet. Vid hanteringen av den fyllda kapseln under inkapsling, transport och deponering ger kapseln i sig inte ett tillräckligt strålskydd. För att säkerställa strålskyddskraven sker dessa moment i hanteringskedjan vid behov skärmat och i viss utsträckning fjärrstyrt.

## 5.2.2 Krav och förutsättningar

Kapselns primära funktion är att innesluta det använda kärnbränslet och förhindra spridning av radioaktiva ämnen till omgivningen under mycket lång tid. Det innebär att kapseln ska vara tät vid deponeringen. För att tätheten ska bevaras måste kapseln vara korrosionsbeständig i den miljö som förväntas i slutförvaret. Trots goda kunskaper om hur koppar korroderar finns fortfarande osäkerheter i bedömningarna av hur materialet korroderar över långa tidsperioder och koppartjockleken måste därför väljas med väl tilltagna säkerhetsmarginaler.

Kapseln ska också motstå de mekaniska belastningar som kan förväntas uppstå i slutförvaret, bland annat höga tryck och avskärande krafter, så kallade skjuvkrafter. Belastningar på kapseln uppstår på grund av svälltryck från bentoniten, förskjutningar i berget eller hydrostatiskt tryck under en istid. Den lastbärande segjärninsatsen dimensioneras för att med betryggande säkerhetsmarginal tåla de mekaniska belastningarna som kapseln kan utsättas för i slutförvaret. För att eliminera risken för korrosion av insatsen, till följd av att vatten och luftens kväve kan bilda salpetersyra, har insatsen utformats så att luftatmosfären i insatsen kan bytas till argon eller annan inert gas.

Kapseln får inte signifikant försämra de övriga barriärernas säkerhetsfunktioner. Det innebär att kapselns temperatur och strålning måste begränsas eftersom grundvatten, buffert och berg kan påverkas negativt.

För hög strålning från kapseln kan medföra oönskade förändringar hos bentonitbufferten och vattensammansättningen i deponeringshålet. Strålningen leder även till att oxidanter bildas av vattnet kring kapseln i slutförvaret genom radiolys. Om strålningen begränsas till en Gy/h genom en tillräcklig väggjocklek beräknas oxidanterna inte ge några effekter på korrosionen av kapselytan. Med den totala materialjockleken i referenskapseln uppfylls dessa krav. Beräkningar visar att denna stråldos från kapseln inte ger några förändringar av material-egenskaperna hos koppar, stål eller buffert /35/.

Även om kapseln skulle bli otät och vattenfylld så får det använda kärnbränslet inte i något skede uppnå kriticitet. Med kriticitet menas en upprätthållen kedjereaktion av kärnklyvningar. Kriticitet skulle leda till en lokalt hög strålningsnivå. Risken för kriticitet styrs av mängden resterande klyvbart material i bränslet och tillgången på vatten (moderator). Kriticitet undviks genom att kapseln utformas så att de använda bränsleelementen hålls skilda från varandra och genom att begränsa tomrummet i kapseln.

Kapselns ytemperatur är beroende av kapseffekten men också av värmeledningsförmågan hos den omgivande bentonitbufferten och berget. Ytemperaturen påverkas också efter en viss tid av värmen från närliggande kapslar, vilket ger ett samband mellan kapselns värmeeffekt och avståndet mellan kapslarna. Den valda deponeringstakten kan medföra att bränsle från senare uttag från reaktorerna inte hinner avklinga tillräckligt länge i Clab innan det ska kapslas in. Man har då att välja mellan att placera en mindre mängd bränsle i de aktuella kapslarna, förskjuta tidsplanen eller att både öka effekten i kapseln och avståndet mellan deponeringshålen.

För att det övergripande kravet på kärnteknisk driftsäkerhet ska uppfyllas så måste kapseln kunna hanteras och deponeras på ett säkert sätt. Kapselns dimensioner styrs till stor del av storleken på de olika bränsletyper som ska kapslas in. Det innebär att kapseln ska ha en robust konstruktion och att metoder för tillverkning och oförstörande provning ska vara tillförlitliga och driftstabila för att säkerställa att god kvalitet uppnås. Dessutom ska kapseln kunna tillverkas, förslutas och deponeras med så liten påverkan på miljön som möjligt samtidigt som krav på en viss kapacitet ska kunna innehållas.

### **5.2.3 Specifikation för kapsel (initialtillståndet)**

#### ***Materialval***

Valet av kopparkvalitet baseras främst på krav ställda på korrosionsmotstånd och till viss del även mekaniska egenskaper (seghet).

Kravet på korrosionsmotstånd medför att en ren syrefri kommersiellt tillgänglig kopparkvalitet har valts (EN1976:1988 för Cu OFE eller Cu-OF1). Även om insatsen står för den mekaniska hållfastheten hos kapseln finns krav på mekaniska egenskaper hos kopparen. Dessa ska vara sådana att kapseln kan lyftas i locket och att den ska vara tillräckligt seg för att tåla påfrestningarna i slutförvaret. Av tillverkningstekniska skäl finns det ett spelrum på några millimeter mellan kopparhöljet och insatsen och kopparhöljet måste tåla att deformeras tills spelrummet försvinner och insatsen begränsar deformationen. För att uppfylla dessa krav på mekaniska egenskaper har SKB tilläggskrav på kopparkvaliteten vad gäller innehåll av fosfor (30–70 ppm) och svavel (mindre än 12 ppm) samt begränsning av kornstorleken. För närvarande är detta värde satt till 360 µm men pågående utredningar kan innebära att detta kan komma att ändras.

Valet av segjärns kvalitet för tillverkning av insatsen baseras på kraven på mekanisk hållfasthet, medan de kemiska egenskaperna är av underordnad betydelse. Kraven kan innehållas med kommersiellt tillgängligt segjärn för de valda utformningarna av insatserna (SS 14 07 17, EN 1563 grad EN GJS-400-15U). Segjärn karaktäriseras av att grafiten är kulformad, vilket ger goda mekaniska egenskaper.

### **Tillverkning, fyllning och förslutning**

Kapselns dimensioner och materialsammansättning kommer att överensstämma med de tekniska specifikationer och de toleranser som dessa anger. Angivna parametrar går att styra vid tillverkning och är relativt enkla att kontrollera. För att undersöka om det förekommer avvikelser i materialen, så kallade diskontinuiteter, görs oförstörande provning.

Resteffekten i varje kapsel kommer att beräknas och kan mätas indirekt om så erfordras. Sannolikheten för att någon kapsel kommer att ha för hög resteffekt bedöms vara mycket liten. Konsekvensen av att någon enstaka kapsel har för hög resteffekt är mycket liten på slutförvarets långsiktiga funktion.

Att kapseln är tät, dvs att kopparhöljet är helt, är avgörande för kapselns isolerande funktion i slutförvaret. Om kapseln ska förbli tät måste enligt konstruktionsförutsättningarna /35/ den initiala koppartjockleken i varje punkt vara större än 6 mm. Den valda metoden för att svetsa fast botten och lock vid kopparhöljet är friction stir welding (FSW), vilket är en form av friktionssvetsning. FSW ger en bra materialstruktur som liknar grundmaterialets. Metoden har valts som referensmetod för att den är robust, stabil och det har visats att svetsar som uppfyller ställda krav kan utföras. Förekomsten av avvikelser i materialet, så som diskontinuiteter, i svetsen har studerats vid provsvetsning av 20 lock med FSW. Samtliga svetsar har gjorts med processparametrar som utprovats för att ge en stabil svetsprocess. Förekomsten av diskontinuiteter var begränsad. De största diskontinuiteterna blev någon millimeter, den allra största 4,5 mm. Denna utvärdering är inte giltig för svetsar som gjorts med parametrar som ligger utanför de utprovade processparametrarna. Motsvarande utvärdering för resten av kopparhöljet kommer att göras i ett senare skede.

En annan förutsättning för att kapseln ska förbli tät är att den mekaniska hållfastheten hos insatsen är tillräcklig. Referenskapseln har tillräcklig mekanisk hållfasthet för att motstå belastningarna i slutförvaret vilket har visats i en tillförlitlighetsanalys /36/. Genomförda beräkningar och ett tryckprov där en del av en insats har provats visar på att insatsen har marginaler i hållfasthet i förhållande till det dimensionerande trycket (45 MPa).

All kontroll och oförstörande provning av kapseln sker vid tillverkningen av kapselkomponenterna, i kapselfabriken och inkapslingsanläggningen. Därefter, dvs under transport, hantering och deponering i slutförvaret kommer huvudsakligen administrativa kontroller och okulärbesiktningar att genomföras, se vidare i kapitel 7.

### **Resteffekt i kapseln**

Utformningen av slutförvaret baseras i dag på en resteffekten i varje kapsel av högst 1 700 W och sammansättningen av bränsleinnehållet i en kapsel med avseende på åldern hos de enskilda bränsleelementen ska anpassas till detta. Även antalet element per kapsel kan i framtiden komma att utgöra en modererande parameter.

## **5.3 Buffert**

Uppgifter om bufferten, dess egenskaper, tillverkning samt motiv för val av material och dimensioner diskuteras i /26/.

### 5.3.1 Utformning

Som framgår av figur 5-1 omges kapseln av en buffert som fyller ut mellanrummet mellan kapsel och berg i deponeringshålet. Bufferten består av en svällande lera benämnd bentonit som i torrt tillstånd kan malas och pressas till block av önskad storlek och form. Pressningen sker i en så kallad högtryckspress liknande de som används inom industrin för pressning av keramiskt material. Vid vattenuptag sväller bentoniten och fyller upp spalter och andra kaviteter i bentoniten och runt kapseln. Svällningen innebär också att bentoniten blir homogen och skarvarna mellan blocken upphör att existera.

Tre typer av block framställs, samtliga med cirkulär form som med en viss montageolerans passar till deponeringshålet och till kapseln. Blockens diameter är för närvarande satt till 1 690 mm. Först ett block, cirka 50 cm tjockt, som placeras i botten av hålet och som inledningsvis bär upp kapseln. Sedan följer nio stycken ringformade block, också de cirka 50 cm tjocka. Slutligen efter att kapseln ställts på plats, tre stycken block som täcker kapseln upp till cirka en meter under hålkant. De två block som ligger närmast under och över kapseln utformas så att de följer konturen av kapselns ändtyor. Figur 5-3 visar hur ett block lyfts i stroppar för vidare nedsättning i deponeringshålet.

Innan bentonitblocken sätts på plats avjämnas och horisonteras bottenytan i hålet. Detta sker först med betong med lågt pH vilken sedan täcks med en tunn platta av koppar för att förhindra uppträngning av vatten under tiden som deponeringstunneln står öppen. En spalt lämnas mellan avjämnningen och hålets periferi för att medge att inträngande vatten ska kunna uppsamlas och pumpas bort. Bergytans struktur i botten förutsätts vara sådan att avjämnningens tjocklek ska kunna begränsas till högst 10 cm.

Genom olika åtgärder är avsikten att förhindra vattenuptagning i bentoniten så länge deponeringstunneln står öppen. Spalten mellan bentoniten och berget, cirka 50 mm, samt mellan bentoniten och kapseln, cirka 5 mm, ska bibehållas under denna tiden.



*Figur 5-3. Ett bentonitblock lyfts för vidare nedsättning i deponeringshålet.*

I samband med att deponeringstunneln återfylls och det därmed skapas ett mothåll som förhindrar att bentoniten sväller uppåt i hålet upphör pumpningen av inläckande vatten i hålet. Vattenupptagning i bentoniten efter återfyllning är väsentlig för dess olika funktioner. Spalterna kan fyllas med bentonitgranulat om så erfordras för att uppnå avsedd densitet hos den vattenmättade bentoniten.

### **5.3.2 Krav och förutsättningar**

Buffertens uppgift är att bidra till och skapa en god kemisk miljö för kopparkapseln så att korroderande ämnen kan nå den endast i mycket långsam takt. Vidare ska bufferten bidra till och skapa en god fysikalisk miljö för kopparkapseln så att de mekaniska påkänningar som den utsätts för ligger inom acceptabla gränser och att värmen i kapseln kan avledas i erforderlig omfattning. Buffertens uppgift är också att hindra och fördröja utläckage av radionuklider om kapselytan på mycket lång sikt skulle penetreras. Dessa uppgifter ställer specifika krav på bufferten rörande:

- hydraulisk konduktivitet,
- densitet och svälltryck,
- kemisk sammansättning,
- värmeledningsförmåga,
- mått och måttoleranser vid tillverkning av block.

#### **5.3.1 Specifikation för buffert (initialtillstånd)**

Specifikationen för bufferten, dvs det som ska kontrolleras och dokumenteras under driftfasen då blocken tillverkas och utplaceras (verifiering) kommer att ansluta till de kravområden som angavs ovan. Närmare detaljer kring detta kommer att diskuteras i samband med att valideringen av hela slutförvaret tas upp vid tiden för nästa ansökan. Nedan ges data av mer allmän karaktär.

#### ***Materialval***

Två olika typer av bentonit beaktas för närvarande som utgörande referensmaterial i säkerhetsanalysen. Den ena är en Na-bentonit av så kallad Wyomingtyp (MX-80), den andra en naturlig Ca-bentonit (Deponit CA-N). SKB har inte gjort något definitivt val än. Båda typerna betraktas som möjliga. Den kemiska sammansättningen för respektive typ finns redogjord för i SR-Can /3./.

#### ***Tillverkning och placering i deponeringshål***

De egenskaper som är väsentliga vid tillverkningen av blocken och som ska kontrolleras berör dels bentonitmaterialiet i bulkform, dels de färdiga blocken. Materialegenskaper (inklusive fukthalt), densitet och måttnoggrannhet är här de väsentliga parametrarna. Dessa egenskaper är lätta att mäta vid tillverkningen men viktigt är att genom olika åtgärder bevara blockens egenskaper under lagring och transport för att kunna verifiera dessa egenskaper fram till det sista hanteringssteget.

En viktig egenskap hos bentonitblocken innan de utsätts för grundvattnet och sväller är densiteten. Denna kommer att bestämmas i samband med att den slutliga utformningen av deponeringshålet och dess innehåll fastställs. Ju mindre spaltbredd som kan hanteras vid utplacering av blocken ju lägre densitet kan accepteras i bentonitblocket som kommer från tillverkningen. Vad som eftersträvas och som ger initialtillståndet i säkerhetsanalysen är en bestämd densitet i den vattenmättade bentoniten, dvs den som på sikt fyller ut alla håligheter i deponeringshålet. Denna densitet är angiven till cirka 2 000 kg/m<sup>3</sup>.



## 5.4 Återfyllning i deponeringstunnlar

Uppgifter om aktuell status rörande återfyllningen, material, tillverkning och utläggning kan återfinnas i /26/ och /37/.

### 5.4.1 Utformning

Återfyllningen av deponeringstunnlar består av ett antal komponenter:

- återfyllningen av tunnelutrymmet,
- återfyllning av den övre delen (cirka en meter) av varje deponeringshål,
- tätning av undersöknings- och injekteringshål,
- plugg i tunnelmynningen.

Till återfyllningen räknas också förekomsten av främmande material och olika typer av konstruktions- och byggmaterial.

SKB har inte tagit beslut om metod och material för återfyllningen av tunnel och deponeringshål. Flera alternativ undersöks. En av flera beslutsgrunder sammanhänger med val av metod för uttag av berget där borrhning/sprängning respektive fullortsborrning ger olika förutsättningar.

Två olika metoder studeras för närvarande. Den ena metoden innebär att naturlig svällande lera (inte nödvändigtvis bentonit) pressas till block som staplas på varandra i tunneln tills hela tunneln är fylld. Spalten mellan block och bergvägg fylls med pellets av samma material.

Den andra metoden innebär att tunneln fylls med bergkross uppblandad med bentonit av samma kvalitet som i bufferten i proportionerna 70/30. Även här pressas materialet till block. Spalten fylls i detta fallet med granulat av bentonit. Bergkrossen framställs på plats av de bergmassor som tas ut.

Pluggen tillverkas av armerad betong och förses med en tätning mot bergväggen bestående av kompakterad bentonit. Det ska betonas att pluggens funktion i slutförvaret är temporär fram till dess att anslutande tunnlar är återfyllda.

### 5.4.2 Krav och förutsättningar

Återfyllningen i deponeringstunnlarna är ingen barriär i sig själv. Den är däremot nödvändig för att bufferten och berget ska få önskad funktion. Återfyllningens primära funktion är alltså att upprätthålla flerbarriärsprincipen genom att bibehålla barriärernas säkerhetsfunktioner. För att åstadkomma detta ska återfyllningen begränsa vattenflöde i deponeringstunnlarna, så kallad advektiv transport. Återfyllningen ska också begränsa buffertens expansion uppåt i deponeringshålet vid svällning.

Återfyllningen får inte signifikant försämra barriärernas säkerhetsfunktioner, vilket ställer en del krav på den kemiska sammansättningen. Det ställs också krav på återfyllningens långsiktiga beständighet. Dess säkerhetsfunktioner måste kunna bibehållas i den miljö som förväntas i förvaret. Dessutom ska återfyllningen kunna tillverkas, hanteras och installeras så att påverkan på miljön inte blir oacceptabel och krav på kapacitet och kvalitet kan upprätthållas.

Tillåten mängd av kvarvarande främmande material och olika typer av konstruktions- och byggmaterial specificeras. Bergförstärkningsåtgärder kommer att bibehållas för personsäkerheten vid återfyllningen.

### **5.4.3 Specifikation för återfyllningen (initialtillstånd)**

Specifikationen för återfyllningen, dvs det som ska kontrolleras och dokumenteras under driftfasen då blocken tillverkas och utplaceras (verifiering) kommer att ansluta till de kravområden som angavs ovan. Närmare detaljer kring detta kommer att diskuteras i samband med att valideringen av hela slutförvaret tas upp vid tiden för nästa ansökan. Nedan ges data av mer allmän karaktär.

#### ***Materialval***

För metoden med enbart svällande lera undersöks för närvarande en lera benämnd Friedland-lera. Detaljerade uppgifter om sammansättning m m framgår av SR-Can /3/.

För alternativet med en blandning av bergkross och bentonit förutsätts samma typ av bentonit som i bufferten. Detta medger också att spill från blocktillverkningen liksom kasserade block kan återanvändas. Krav på kvalitet och renhet för krossmaterialet kommer att ställas.

#### ***Tillverkning och utläggning***

Tillverkningen av blocken ska i första hand ske med sikte på erforderlig densitet och måttnoggrannhet. Blocken kommer att tillverkas i olika former och storlekar för att passa till tunnelsektionen och för att hantering och utläggning ska bli så rationell som möjligt.

Densiteten av fyllningen efter vattenmättnad är beroende av densiteten i de tillverkade blocken men även av utläggningen där spalter och hålrum ska minimeras.

## 6 Produktionsanläggningarna – ett delsystem i KBS-3-systemet

I detta kapitel beskrivs översiktligt de anläggningar som ingår i delsystemet *produktionsanläggningar*.

Beskrivningen i kapitlet omfattar följande punkter:

- Flödesschema som visar de huvudsakliga materialflödena inom systemet. Förutom använt kärnbränsle och kapslar i olika stadier så visas även flöden för råmaterial samt buffert- och återfyllningsmaterial. Bergmassor är helt undantagna. Se anmärkning nedan.
- En kort beskrivning av utformning och funktion för varje anläggning. För slutförvarsanläggningen görs en principiell eller allmän beskrivning eftersom det slutliga platsvalet ej är gjort och platsanpassningen av såväl ovanmarks- som undermarksdelarna är för närvarande preliminär.
- En översikt av kopplingar eller beroenden mellan systemets komponenter och mellan komponenterna och omgivningen.
- En särskild utläggning om kopplingen till den långsiktiga säkerheten som går via KBS-3-förvaret (produkten) till säkerhetsanalysen.
- En sammanfattning av de olika steg i tillståndsprocess, teknikutveckling, projektering och byggande som återstår fram till rutinmässig drift av slutförvarsanläggningen.

För en mer detaljerad beskrivning av de enskilda anläggningarna hänvisas till de dokument som är angivna i referenslistan sist i denna rapport.

### **Berget**

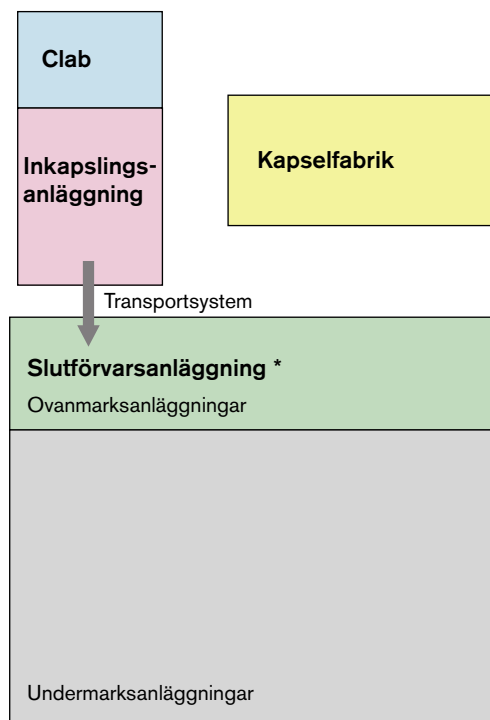
Underlaget för slutförvarsanläggningen är i dag inte framme så långt att en beskrivning av berget och bergkonstruktioner skulle kunna göras mot bakgrund av en definitiv lösning på samma sätt som för exempelvis inkapslingsanläggningen. I den mån berget och bergkonstruktionerna ändå tas med, för att få helheten att framstå, görs detta i en principiell eller generisk form. I övrigt skjuts redovisningen till ansökan om slutförvaret.

### **6.1 Delsystemet ”produktionsanläggningar”**

#### **Systemets komponenter**

Denna rapport har som utgångspunkt att KBS-3-systemet kan ses som bestående av två delsystem. Ett som avser de delar i systemet som har en långsiktig funktion och ett annat, produktionsanläggningarna, som avser de anläggningar och servicesystem som erfordras för att realisera det förra. Dessa delsystem kan i sin tur brytas ner i mindre delsystem till en nivå som är ändamålsenlig med hänsyn till syftet med nedbrytningen. För delsystemet *produktionsanläggningar* görs nedbrytningen till just anläggningsnivån. För att undanröja risken för missförstånd betecknas delsystemen i denna andra nedbrytning för komponenter. Således utgår vi ifrån att KBS-3-systemet bryts ner i två delsystem och varje delsystem i ett antal komponenter.

## Schematisk framställning



\* Temporära delar samt delar i övrigt utan väsentlig betydelse för den långsiktiga funktionen

Delsystemet *produktionsanläggningar* utgörs av komponenterna:

- Clab,
- inkapslingsanläggningen,
- kapselabriken,
- slutförvarsanläggningen,
- transportsystemet.

I detta kapitel och nästa finns det ett behov av en schematisk framställning av delsystemet för att beskriva materialflöden och kvalitetsstyrning. Som bas för detta schema används den uppställning som framgår av figur ovan.

I figuren saknas transporter av bränsle från kärnkraftverken till Clab liksom inlastning i Clab. Dessa funktioner, som är etablerade sedan mer än 20 år tillbaka, är undantagna ur redovisningen här.

## 6.2 Schematisk överblick av systemet samt flödesschema

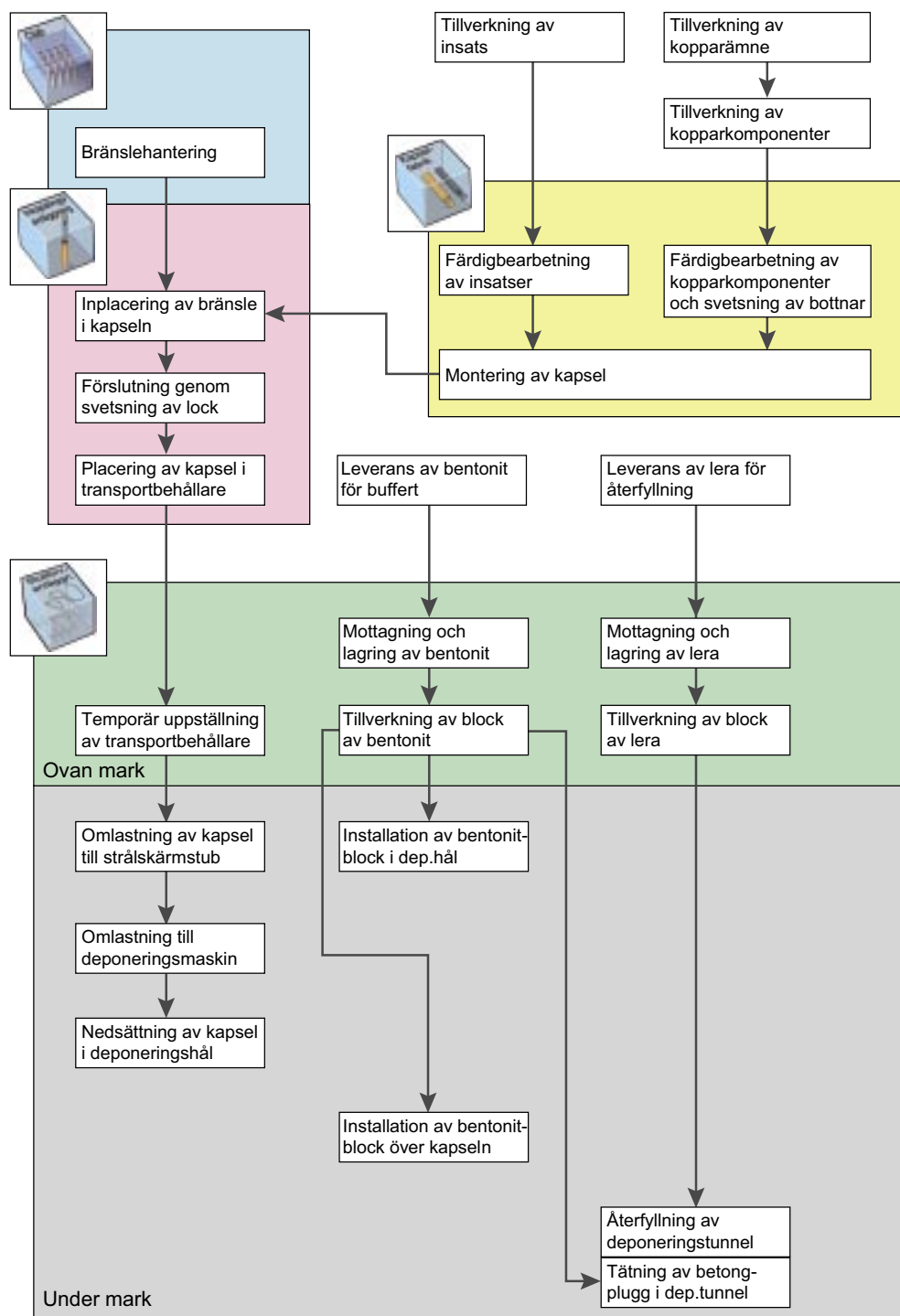
### De fyra linjerna i produktionen

Delsystemet produktionsanläggningar kan något förenklat sägas omfatta fyra produktionslinjer. De tre som behandlas i denna rapport är:

- Kapsellinjen (med beteckningen K).
- Buffertlinjen (med beteckningen B).
- Återfyllnadslinjen (begränsas i rapporten till återfyllnad av deponeringstunnlar och ges beteckningen L som i lera).

Den fjärde linjen är *berglinjen* som omfattar bergkonstruktioner och bergarbeten samt hantering av bergmassor. Här ingår även sonderingsborrningar med tillhörande mätningar och analyser samt geologisk kartering, allt ingående i det så kallade detaljundersökningsprogrammet. Berglinjen kommer att redovisas i samband med ansökan för slutförvaret.

Figur 6-1 visar det kompletta schemat med komponenter, huvudaktiviteter och externa leverantörer.



**Figur 6-1.** Schematisk beskrivning av de tre produktionslinjerna. Återfyllningslinjen (längst till höger) är visad för fallet med återfyllnad med naturlig lera. Återfyllning med en blandning av bergkross och bentonit (som i dag är det andra alternativ som studeras) skulle kräva att även berglinjen funnes med i schemat. Berglinjen visas inte här.

## Flödesschema på komponentnivå

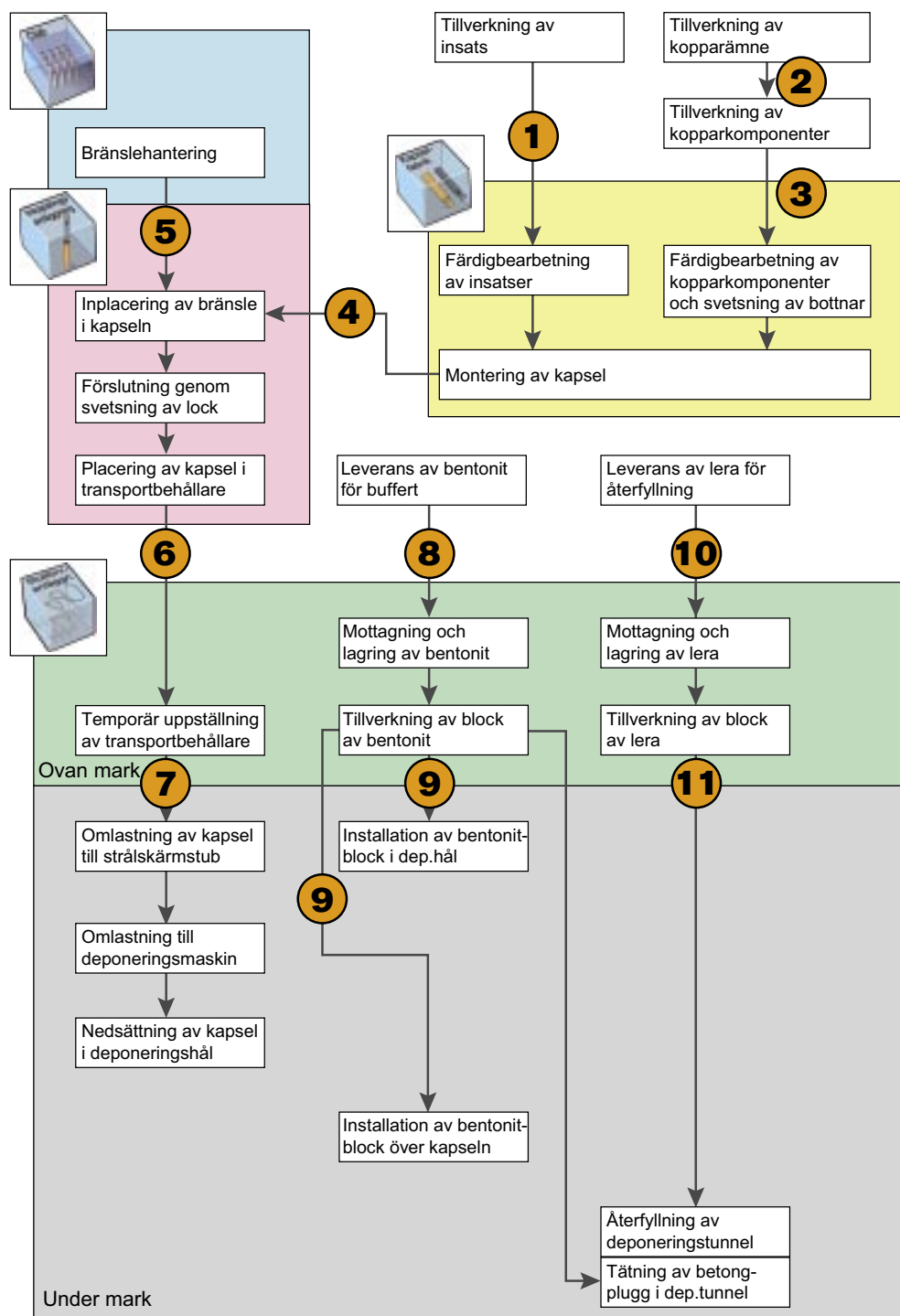
Flödet av bränsle, kapslar, buffertmaterial m m redovisas översiktlig i figur 6-2. Redovisningen är baserad på ett normalår under den rutinmässiga driften med den deponeringstakt som för närvarande ligger till grund för referensutformningen nämligen cirka 160 kapslar per år.

De totala mängderna för ett tänkt fall med totalt 4 500 kapslar framgår av tabell 6-1. (4 500 kapslar motsvarar ungefär 40 års drift av samtliga reaktorer utom de avställda i Barsebäck, se kapitel 3.) Tabellen refererar till nummer i figur 6-2.

**Tabell 6-1. Totala mängder vid 4 500 kapslar.**

Punkt enl figur 6-2	Avser	Total mängd
1	Tillverkning av insats: Insatsen av segjärn väger 13,6 ton per kapsel varav kassetten och locket väger 2,9 respektive 0,28 ton.	61 000 ton
2	Tillverkning av kopparämne <sup>1</sup> : En kapsel innehåller totalt 7,4 ton koppar varav lock och botten väger cirka 500 kg per st.	34 000 ton
3	Montering av kapsel: • bearbetning av koppardelar och segjärnsinsatsen, • svetsning med FSW (kopparrör och kopparbotten), • insatsen lyfts på plats.	4 500 st
4	Tomma kapslar med lock: Färdiga kapsel med sina tillhörande insats- och kopparlock.	4 500 st
5	BWR- element PWR-element	38 500 st 5 100 st
6	Transport av kapslar: Vid lokalisering av slutförvar till Forsmark krävs sjötransport med Sigyn (10 kapslar per resa, 10 kapslar i lager) Vid lokalisering av slutförvar till Oskarshamn sker transporter enbart med terminalfordon	450 resor 4 500 transporter
7	Transport av kapsel i ramp (cirka 5 km /h): • en transport per dag eller mindre, • 5 km/h ger cirka en timma körtid i vardera riktningen.	4 500 transporter 9 000 timmar körtid
8	Buffert – kompakterad bentonit: • cirka 23 ton per deponeringshål (ringar+block), • anländer med fartyg 5–10 000 dwt.	104 000 ton 10–20 fartygstransporter
9	Transport av kompakterad bentonit i schakt med skip: • block, • ringar.	22 500 block 40 500 ringar
10	Återfyllningsmaterial: Svällande lera, block med volymen 0,25 m <sup>3</sup> täcker cirka 80 procent av tunneln, resten fylls med pellets_	3 500 000 ton
11	Transport av återfyllningsmaterial i schakt med skip: Svällande lera, block med volymen 0,25 m <sup>3</sup> täcker 80 procent av tunneln, resten fylls med pellets (densiteten 1,8 m <sup>3</sup> /ton).	3 500 000 ton
Anmärkning	Bergmängderna behandlas inte i denna rapport men som underlag för återfyllningsmängderna angivna ovan har ett berguttag av cirka 2 000 000 m <sup>3</sup> antagits (teoretisk fast volym vilken kan antas öka med cirka 50 procent när bergmassorna går till upplag)	

<sup>1</sup> Spill från kopparproduktionen återanvänds. Cirka 6 ton per kapsel går tillbaka till produktionen.



### Materialmängder per år

- |  |   |
|--|---|
| <b>1</b> 160 insatser med lock (2 200 ton)   | <b>7</b> 160 transporter av kapslar i transportbehållare (1 timme per transport)                                      |
| <b>2</b> 160 kopparämnena till rör (2 200 ton)<br>320 kopparämnena till lock och bottenar (350 ton)  | <b>8</b> Fartyg 5–10 000 dwt<br>Buffert, bentonit, ca 3 700 ton<br>Lagerbyggnad 10–15 000 ton (kapacitet)             |
| <b>3</b> 160 kopparrör med lock och bottenar (1 200 ton)   | <b>9</b> 3 680 ton<br>Transport sker med skip i schakt  |
| <b>4</b> 160 tomma kapslar med lock  | <b>10</b> Fartyg 5–10 000 dwt<br>Återfyllning, svällande lera ca 66 000 ton<br>Lagerbyggnad 15–20 000 ton (kapacitet) |
| <b>5</b> 1 380 BWR-element<br>180 PWR-element  | <b>11</b> 66 000 ton<br>23 600 ton pellets. Transport sker med skip i schakt  |
| <b>6</b> 160 kapslar i transportbehållare<br>Ev transport med fartyg, 10 kapslar per resa resulterar i 16 resor<br>Uppställningsutrymme för 10 kapslar |   |

Figur 6-2. Flöden under ett normalår under den rutinmässiga driften.

## 6.3 Anläggningarna

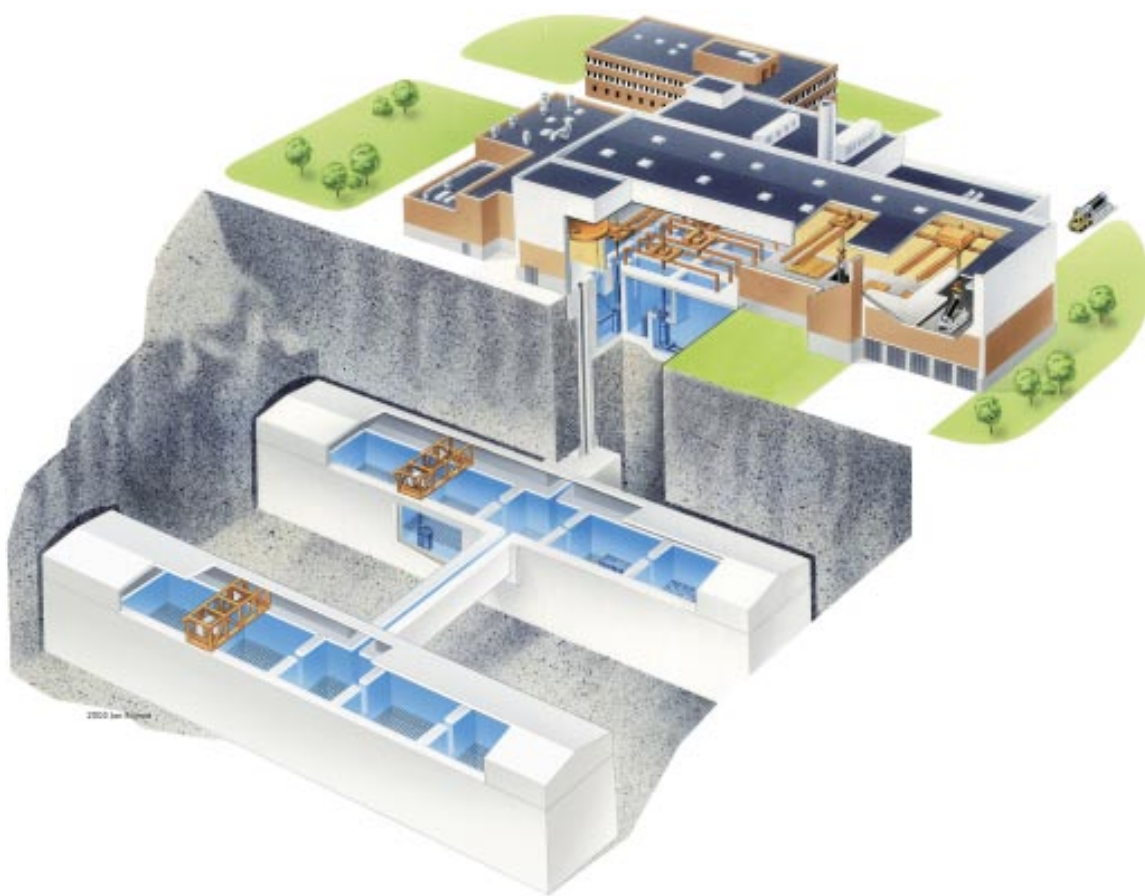
### 6.3.1 Clab

#### *Beskrivning av anläggningen*

Det centrala lagret för använt bränsle, Clab, är placerat intill Oskarshamnsverket på Simpevarps-halvön. I Clab mellanlagras allt använt kärnbränsle från de svenska kärnkraftverken samt även så kallade härdkomponenter som suttit i eller i närheten av reaktorhärden och därigenom blivit radioaktiva. Även kärnbränsle från Studsvik lagras i Clab. Lagringen sker i vattenfyllda bassänger. All hantering av bränslet sker också under vatten. Vattnet ger erforderlig strålskärning och kylning.

Lagret, som togs i drift 1985, dimensionerades ursprungligen för att lagra cirka 3 000 ton använt kärnbränsle (uranvikt) i fyra bassänger. Efter att en ny typ av lagringskassett införts ökades kapaciteten till cirka 5 000 ton. Efter utbyggnaden med ytterligare ett bergtrum år 2006, identiskt med det första, har lagringskapaciteten ökat till 8 000 ton. Det nya bergtrummet planeras att tas i drift under 2007. Utrymmet vid Clab medger en framtida utbyggnad av ett tredje bergtrum om så skulle behövas.

Clab består av två delar, en ovan mark och en under mark, se figur 6-3. Byggnaderna ovan mark innehåller mottagningsbyggnaden med sina hanteringsbassänger där bränslet tas emot för vidaretransport till bassängerna under mark, el- och hjälpsystemsbyggnader samt kontor och verkstäder. Under jord finns bassängerna för lagring av det använda kärnbränslet samt förbindelsekanal mellan de två bergtrummen. Anläggningsdelarna ovan och under mark är bland annat förbundna med en hiss för bränsletransport. Samma hiss används vid återtag av bränslet vid inkapsling.



**Figur 6-3.** Centralt mellanlager för använt kärnbränsle, Clab.

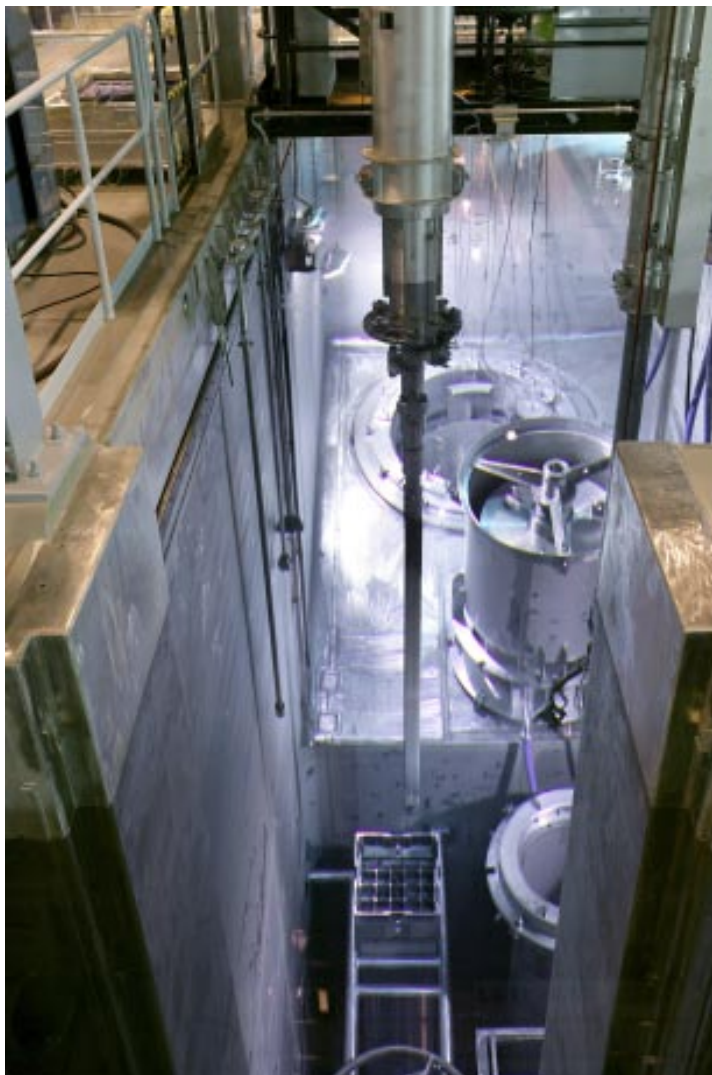


### **Funktionsbeskrivning**

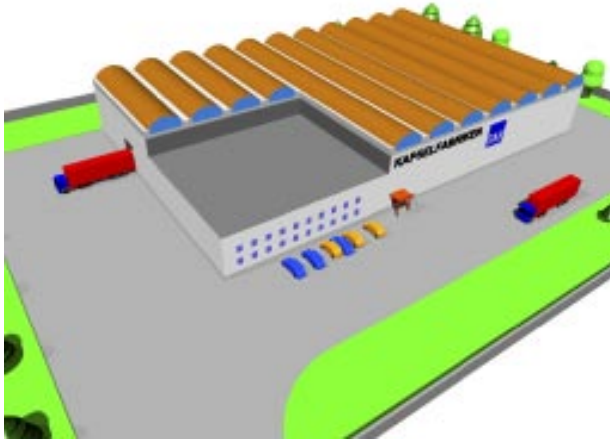
Innan bränslet hämtas av SKB vid kärnkraftverket har det lagrats där i bassänger i minst nio månader. Under denna tid har de mest kortlivade radionukliderna avklingat och radioaktiviteten och värmeutvecklingen i bränslet avtagit till cirka en hundra del av den nivå som föreligger omedelbart efter uttag ur reaktorn. Bränsle från Ringhals, Barsebäck och Forsmark transporteras med transportfartyget M/S Sigyn till Simpevarps hamn och därifrån med ett terminalfordon till Clab. Från Oskarshamnsverket förs bränslet till Clab direkt med samma typ av terminalfordon. Transporter med bränslerester från Studsvik sker med lastbil.

Transportbehållaren förs vid ankomsten till Clab via en transportsluss in i mottagningsbyggnaden. Efter radiologisk kontroll och kylning flyttas behållaren till en av de bassänger som är avsedda för urlastning. Bränsleelementens identitet verifieras varefter de lyfts upp ett och ett ur behållaren och placeras i den lagringskassetten som sedan kommer att utgöra transportenheten i anläggningen, se figur 6-4. Den fyllda kassetten transporteras med en hanteringsmaskin till bränslehissen varefter den sänks ned till förvaringsdelen.

Förvaringsdelen består av två bergrum med identiskt utformade bassänger. Varje bergrum har fyra förvaringsbassänger och en mittbassäng. Det finns en tunnel med en transportkanal som förbinder bassängerna i de två bergrummen. I förvaringsdelen förs kassetten till en utvald uppställningsposition med hjälp av en hanteringsmaskin.



*Figur 6-4. Bränsleelement flyttas från transportbehållare till kassetten.*



*Figur 6-5. En möjlig exteriör av kapselfabriken.*

### 6.3.2 Kapselfabriken

SKB avser i nuvarande planering att bygga en kapselfabrik där montering och färdigställande av kapslarna görs. En kapselfabrik med underhållsverkstad, provningslaboratorium och kontor beräknas få en yta på 6 000–7 000 m<sup>2</sup>. Personalbehovet bedöms uppgå till 20–30 personer.

Lokaliseringen är i dag inte bestämd. Tillverkningen av kapslar är en icke-radiologisk verksamhet och det finns därför ingen särskild fördel med att lokalisera en sådan anläggning till ett område med befintlig kärnteknisk verksamhet. Närhet till inkapslingsanläggningen kan dock vara en fördel med hänsyn till transportlogistiken.

Enligt planeringen ska ämnesmaterial till kapselnas olika delar levereras till kapselfabriken från externa leverantörer. Koppardelarna levereras i form av extruderade rör samt smidda ämnen till lock och bottenar. Insatserna av segjärn levereras gjutna och grovbearbetade. Ämnen till insatslocken är tillverkade ur valsad stålplåt.

Kapselfabriken ska inrymma två bearbetningslinjer, en för bearbetning av koppardelar och en för bearbetning av segjärnsinsatser och lock till dessa. I kapselfabriken färdigbearbetas komponenterna till rätt dimensioner och ytfinhet. Där svetsas också kopparbottenarna på kopparrören och insatserna lyfts på plats.

Den färdiga kapseln levereras tillsammans med sina tillhörande insatslock och kopparlock till inkapslingsanläggningen.

### 6.3.3 Inkapslingsanläggningen

#### **Beskrivning av anläggningen**

Inkapslingsanläggningens uppgift är att innesluta det använda kärnbränslet i kopparkapslar. Inkapsling sker efter att bränslet mellanlagrats 25 till 40 år i Clab.

Anläggningen byggs samman med Clab innebärande att förflyttningen av bränselelementen från Clabs bassänger till inkapslingsanläggningen kan ske utan yttre transporter. Dessutom kan såväl personal som servicesystem samutnyttjas mellan anläggningarna. Inkapslingsanläggningen kommer att ha en maximal produktionskapacitet av 200 kapslar per år. Under löpande drift kommer dock den årliga produktionstakten att ligga kring 160 kapslar eller färre.

Anläggningen består av en inkapslingsbyggnad och en terminalbyggnad för transportbehållare som innehåller kapslar. Inkapslingsbyggnaden innehåller en hanteringscell där bränslet lyfts in i en kapsel, en hanteringskedja för förslutning av kapseln och en uttransporthall, där tomma kapslar och tomma transportbehållare tas in och fyllda kapslar i transportbehållare lämnar byggnaden. Se figur 6-6. De färdiga kapslarna levereras till slutförvaret för deponering.



**Figur 6-6.** Exteriör av inkapslingsanläggningen med konturen av Clab i bakgrunden.

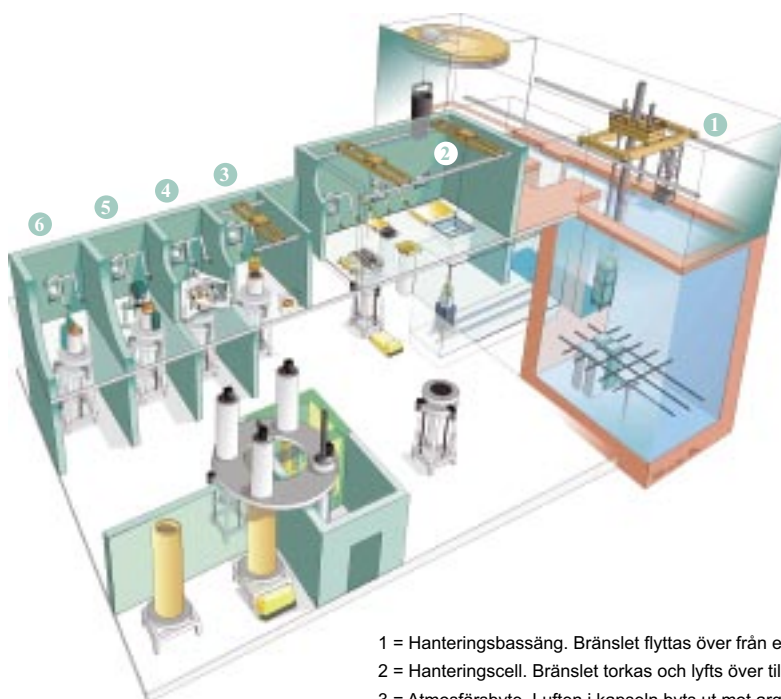
### **Funktionsbeskrivning**

Bränslet transporteras med Clabs bränslehiss från förvaringsbassängernas nivå till inkapslingsanläggningens bassänger (längst till höger i figur 6-7). Innan bränslet sätts ner i kapseln torkas det i en av två torkpositioner. Den fyllda kapseln förs vidare till förslutningskedjan.

Förslutningskedjan består av fyra arbetsstationer, en station för atmosfärsbyte i kapseln, en svetsstation, en station för oförstörande provning av svetsen och en station för maskinbearbetning. I stationen för atmosfärsbyte vakuumpumpas utrymmet i insatsen som sedan fylls med argon. Denna åtgärd hindrar uppkomsten av korroderande ämnen. I svetsstationen försluts kopparkapseln genom friktionssvetsning av kopparlocket. Svetsoperationen gör ytan skrovlig. Eftersom den behöver vara slät vid fortsatt hantering görs en maskinbearbetning i därför avsedd station. Efter bearbetningen kontrolleras svetsen i den särskilda stationen för oförstörande provning.

I uttransporthallen lastas de färdiga kapslarna i transportbehållare innan de transporteras vidare genom uttransportslussen till slutförvaret.

En mer detaljerad beskrivning av vissa moment i hanteringen ges i kapitel 7.



- 1 = Hanteringsbassäng. Bränslet flyttas över från en bränslekassett till en transportkassett.
- 2 = Hanteringscell. Bränslet torkas och lyfts över till kapseln.
- 3 = Atmosfärsbyte. Luften i kapseln byts ut mot argon.
- 4 = Förslutning. Svetsning med friction stir welding.
- 5 = Oförstörande provning. Svetsarna kontrolleras med ultraljud och röntgen.
- 6 = Maskinbearbetning.

**Figur 6-7.** Utrymmen i inkapslingsanläggningen för hantering av bränsleelement och kapslar.

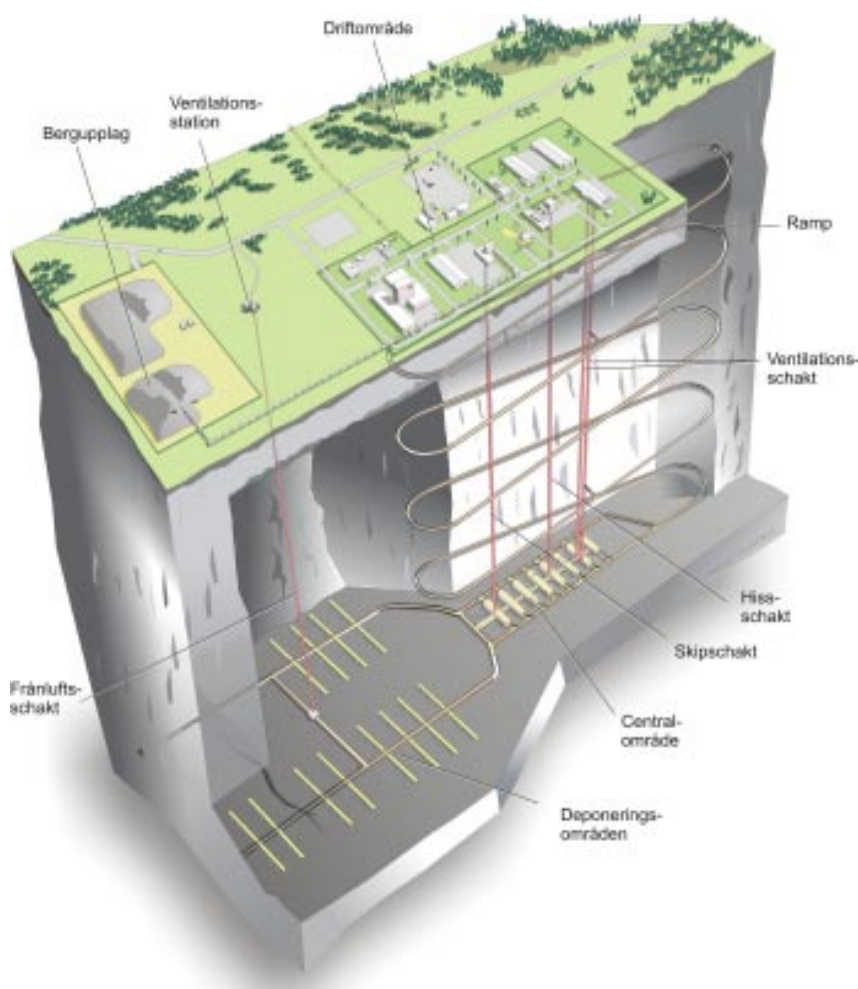
### 6.3.4 Slutförvaret för använt bränsle

Slutförvaret för använt bränsle presenteras här i sin principiella utformning. SKB bedriver i dag ett projekteringsarbete med syftet att anpassa förvarsanläggningen till de två platser som är aktuella för ett slutligt platsval. En mer konkret beskrivning av förvaret hänskjuts därför till tidpunkten för nästa ansökan då detta platsval är gjort.

#### **Beskrivning av anläggningen**

Slutförvarsanläggningens principiella utformning visas i figur 6-8. Anläggningen kan indelas i en ovanmarksdel och en undermarksdel. Ovanmarksdelen utgörs huvudsakligen av driftområdet, som består av ett antal separata byggnader med utrymmen avsedda för driftfunktioner, personal och besökare. Från driftområdet sker allt tillträde till anläggningens undermarksdel. Till ovanmarksdelen hör även vissa anläggningar som ligger utanför driftområdet. Bland annat bergupplag och bentonitförråd samt de ventilationsstationer som är knutna till de perifert liggande ventilationsschakten i undermarksanläggningen.

Undermarksdelen är på förvarsnivån uppdelad i ett centralområde och ett eller flera deponeringsområden, tillsammans benämmt förvarsområdet. Centralområdet, som fyller olika funktioner till stöd för driften, består av ett antal parallella hallar förenade med tunnlar. En viktig funktion i centralområdet är att inrymma ventilationsutrustningen för det utbredda tunnelområdet. En annan viktig funktion är mottagning av transportbehållare och omlastning av kapseln till det fordon som sedan ska fullfölja transporten ut till deponeringstunneln.



**Figur 6-8.** Slutförvarsanläggningens principiella uppbyggnad.

Deponeringsområdena är utbredda områden av tunnlar där deponeringen av kapslar sker, deponeringstunnlarna. Ett deponeringsområdes genomgående tunnel, varifrån deponeringstunnlarna utgår, benämns stamtunnel. Denna har förbindelse med centralområdet genom transporttunnlar. I deponeringstunnlarna är med vissa avstånd hål borrade i botten där kapslarna med buffert placeras. Avstånden mellan hålen är bland annat valda med hänsyn till värmeavgivningen från kapslarna men bestäms slutligt av lämpligheten med avseende på bergkvalitén. Denna bestäms genom sonderingsborrningar (pilothål) i den tänkta placeringen.

Driftområdet i ovanmarksdelen och centralområdet i undermarksdelen binds samman av schakt för skip (transporhiss), personhiss och ventilation samt rampen för fordonstransporter. Skipen används för att transportera upp bergmassor från undermarksdelen samt för att transportera ner återfyllnadsmassor i form av pressade block. Rampen utgör bland annat transportväg för den speciella truck som transporterar ner transportbehållaren med kapsel men tjänstgör även som en transportförbindelse allmänt. Ytterligare schakt finns för frånluftsventilation placerade i deponeringsområdenas yttre kanter. Antalet sådana schakt bestäms av hur utbredningen av deponeringsområdena kommer se ut i anpassningen till bergstrukturen.

Driftområdet ovan mark rymmer följande byggnader:

- administrationsbyggnad,
- mottagningsbyggnad och uppställningsplats för transportbehållare med kapslar,
- driftbyggnad (tillverkning av bentonitblock m m),
- skipbyggnad,
- verkstadsbyggnad,
- elbyggnad med ställverk,
- servicebyggnader för råvattenbehandling, sanitärt avlopp, värmecentral etc,
- förrådsbyggnad,
- hissbyggnad (med personalsluss),
- ventilationsbyggnad.

### ***Funktionsbeskrivning***

Huvudaktiviteterna i undermarksdelen består av bergarbeten, deponering och återfyllning. I bergarbetet ingår detaljundersökning för deponeringstunnlar och deponeringshål, utsprängning av deponeringstunnlar, borrning av deponeringshål samt förberedelser för deponering. I deponeringsarbetet ingår nedsättning av bentonitblock och deponering av kapslar. Återfyllningen omfattar rivning eller demontering av hjälputrustning i deponeringstunneln, inklusive temporär dränering av deponeringshål, återfyllning av tunneln samt förslutning av tunneln genom en platsgjuten betongplugg i tunnelmynningen. Bergarbeten och deponering/återfyllning sker samtidigt men i skilda områden för att inte påverka varandra. Centralområdet och ventilations-systemet är speciellt anpassade för att kunna hålla dessa båda aktiviteter åtskilda.

Bergmassorna grovkrossas nere på förvarsnivån och transporteras upp med skipen. Där läggs de i bergupplag. I det fallet att återfyllningsmaterialet kommer att bestå av en blandning av bergkross och bentonit krossas och sorteras en del av bergmassorna för detta ändamål och kvalitetsbestäms.

I en byggnad på driftområdet, benämnd driftbyggnaden, pressas block till buffert och för återfyllning av deponeringstunnlar. Övrig verksamhet på driftområdet utgörs av administration, planering, styrning, övervakning och underhåll av anläggningen.

Produktionstakten för deponeringen följer den takt som bestämts bland annat av bränslets nödvändiga avklingning i Clabs bassänger. Det är samma takt som gäller för inkapslingsanläggningen dvs cirka 160 kapslar eller färre per år vid normaldrift. Något buffertlager av färdiga kapslar annat än för vad som bestäms av transportlogistiken är inte tänkt (dvs antal transportbehållare som samtidigt kan transporteras av fartyget om sjötransport skulle bli aktuellt).

Återfyllningen i deponeringstunnlarna sker tunnelvis och successivt i takt med att deponeringen framskrider. Efter avslutad deponering och återfyllning av de sista deponeringstunnlarna återfylls transporttunnlar, övriga bergtrum samt schakt och ramp upp till marknivån. Metod och material för denna återfyllning har inte studerats i detalj men den torde bli av betydligt enklare slag än återfyllningen i deponeringstunnlarna.

Under driftskedet kommer cirka 200 personer att vara sysselsatta vid slutförvaret.

### **6.3.5 Transportsystemet**

#### ***Beskrivning av systemet***

Dagens transportsystem utgörs av huvudkomponenterna fartyget m/s Sigyn, transportbehållare och terminalfordon. Systemet är utformat för att kunna användas för alla typer av radioaktivt avfall. Här berörs dock enbart transport av använt kärnbränsle och kapslar.

M/S Sigyn byggdes 1982 och har en lastkapacitet av 1 400 ton. Fartyget är byggt för roro-hantering men även lastning med kran är möjlig.

Använt bränsle kräver både strålskärning och kylning vid transport. Därför är kraven på de behållare som ska frakta bränslet mycket höga. Bränslet placeras i transportbehållare som har cirka 30 cm tjocka stålväggar. På behållarnas utsida sitter kylflänsar som leder bort värmen.

En transportbehållare rymmer cirka 3 ton bränsle (17 BWR- eller 7 PWR-element). För närvarande omfattar systemet tio transportbehållare för använt bränsle. För transporterna till och från hamnarna, vid kärnkraftverken och Clab transporteras behållarna med hjälp av speciella terminalfordon, se figur 6-9. För närvarande används fem fordon.

Inför driftsättningen av inkapslingsanläggningen och slutförvaret kommer nya transportbehållare, speciellt tillverkade för kapseltransport, att anskaffas.

#### ***Funktionsbeskrivning***

Driften av slutförvars- och inkapslingsanläggningen bygger på att transporter av färdiga kapslar kan pågå kontinuerligt mellan de två anläggningarna. Varje transportbehållare rymmer en kapsel, och väger 90–95 ton inklusive kapsel. Eftersom produktionsanläggningarna dimensioneras för en kapacitet av 200 kapslar per år, ska transportsystemet också kunna transportera cirka 200 transportbehållare per år tur och retur mellan anläggningarna.

Om slutförvaret placeras i Forsmark kommer transporterna av kapslar att ske sjövägen. Om tio behållare med kapslar lastas per gång krävs det 20 resor för att transportera den nominella årsproduktionen. Transporterna till och från hamnarna görs med ett terminalfordon liknande de som finns i dag. Kapslarna transporteras till slutförvarsanläggningens terminalbyggnad innan de transporteras en och en ner till omlastningshallen på förvarsnivån.

Vid en placering av slutförvaret i Oskarshamn transporteras kapseltransportbehållarna med terminalfordonet direkt från inkapslingsanläggningens uttransportsluss till slutförvarsanläggningens omlastningshall på förvarsnivån.



*Figur 6-9. Transportbehållare för bränsle på sin lastbärare lastad på ett terminalfordon.*

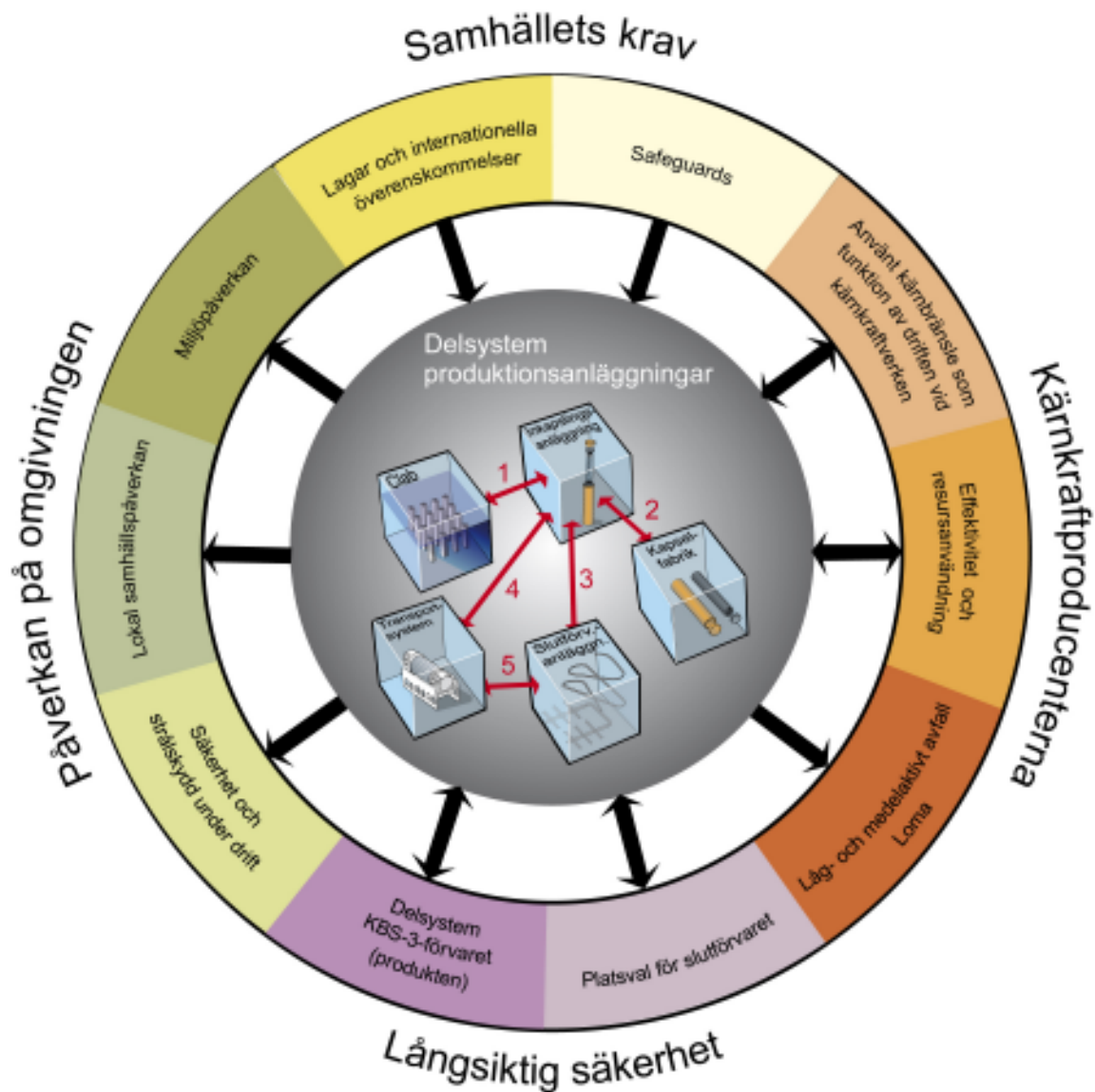
## 6.4 Kopplingar mellan systemets komponenter och mot omgivningen

I ett system samverkar systemets komponenter inbördes med syftet att lösa systemets uppgift. Denna samverkan uttrycks som att det finns kopplingar mellan komponenterna. Kännedomen om dessa kopplingar och hur de fungerar är nödvändig vid analyser av systemet med syfte att utröna hur systemet i sin helhet reagerar på förändrade yttre och inre förutsättningar eller vid analys av varianter av enskilda delar av systemet. I denna rapport, som begränsas till inkapslingsanläggningen, är sådana analyser inte aktuella men en översikt ges ändå av de kopplingar som finns.

Samtidigt med dessa systeminterna kopplingar finns kopplingar mellan systemet och det som ligger utanför systemet, det vi benämner omgivningen. Även kopplingarna mot omgivningen utgår ifrån de enskilda komponenterna men den sammanlagda effekten med avseende på en viss företeelse kan sägas vara systemets koppling. (Detta innebär bland annat att en systemanalys med syftet att optimera en viss parameter för systemet inte nödvändigtvis innebär att parametern optimeras för varje enskild komponent.)

*Produktionsanläggningarna* är i denna bemärkelse ett system, ett av två delsystem till KBS-3-systemet. Komponenterna, vid den nedbrytningsnivå vi valt här, är de fem anläggningarna som beskrivits tidigare i detta kapitel (inklusive transportsystemet). Omgivningen utgörs av olika intressenter samt miljö och samhälle men också av det andra delsystemet, *KBS-3-förvaret*. Som framgått tidigare i rapporten har vi gett det senare benämningen *produkten* för att tydliggöra att det utgör uppgiften eller syftet för delsystemet *produktionsanläggningar*.

Figur 6-10 åskådliggör systemet, omgivningen och kopplingarna på ett schematiskt vis. I centrum har vi placerat systemet med sin fem anläggningar. Kopplingarna är angivna med pilar. Kopplingarna är markerade som dubbelriktade innebärande att de två berörda komponenterna påverkar varandra.



**Figur 6-10.** Schematisk illustration för delsystemet produktionsanläggningar av strukturen för kopplingar mellan enskilda komponenter och mellan systemet och omgivningen.

Runt systemet i centrum finns omgivningen representerad med fyra fält:

- samhällets krav representerat av lagar och förordningar samt internationella överenskommelser,
- kärnkraftproducenterna som äger bränslet och som enligt lag har skyldighet att slutligt omhänderta detta och bekosta samtliga de insatser som krävs,
- den långsiktiga säkerheten som i första hand representeras av produkten med sina specifikationer (*KBS-3-förvaret*) men, i nuvarande skede, även av det framtida platsvalet för slutförvaret,
- lokal påverkan på omgivningen i fråga om yttre miljö, samhälle och arbetsmiljö.



De fyra fälten är i sin tur indelade i sekundära fält som närmare förklaras i sammanställningen nedan. Kopplingar kan även här vara dubbelriktade men separeringen av krav och påverkan gör att de i flera fall blir enkelriktade. Exempelvis när det gäller miljön så redovisas den koppling som representerar ett krav eller en förutsättning under gruppen *samhällets krav* medan kopplingen som innebär en påverkan på omgivningen redovisas under gruppen *påverkan på omgivningen*.

Nedan följer en beskrivning av de olika kopplingarna med början vid de systeminterna kopplingarna mellan komponenterna (numrerade ett till fem). Därefter följer de externa. Kopplingen mellan de två delsystemen, alltså mellan *produktionsanläggningarna* och *KBS-3-förvaret*, har getts en egen rubrik beroende på att den utgör den för systemet avgörande kopplingen mot den långsiktiga säkerheten.

Det ska betonas att flera av dessa kopplingar beskrivs och analyseras i andra dokument och referenser till dessa ges under hand i beskrivningen.

#### **6.4.1 Kopplingar mellan komponenterna**

Redovisningen av de systeminterna kopplingarna bygger på principen om direkta kopplingar. Med detta menas att en koppling uppstår enbart mellan komponenter som har ett gemensamt gränssnitt. Ett exempel kan klargöra. Antag att en egenskap för kapseln härrör från ett specifikt krav från hanteringen i slutförvarsanläggningen och att detta krav ger återverkningar vid kapseltillverkningen i kapselfabriken. Denna koppling redovisas inte explicit utan via två direkta kopplingar. Först kopplingen mellan slutförvarsanläggningen och inkapslingsanläggningen och sedan kopplingen mellan inkapslingsanläggningen och kapselfabriken. Det finns inget fysiskt gränssnitt mellan slutförvarsanläggningen och kapselfabriken.

Kopplingarna inbördes mellan komponenterna utgår ifrån den fysiska förbindelsen mellan dessa. I de flesta fall utgörs denna av en produkt som utväxlas men i ett fall, för Clab och inkapslingsanläggningen, består den även av en reell sammanbyggnad av de två anläggningarna.

I det fallet att kopplingen förmedlas via en produkt så kommer innehållet i kopplingen att utgöras av produktens egenskaper avseende utformning, kvalitet, mängd och logistik. Logistikerna avser hur överföringen eller transporten sker, i vilken riktning och i vilken takt samt i vilken utsträckning lager vid utskeppning eller mottagning finns.

#### ***Koppling 1 – mellan Clab och inkapslingsanläggningen***

Som ovan nämndes avser kopplingen mellan Clab och inkapslingsanläggningen två områden. Anläggningen respektive bränslet.

#### **Anläggningen**

Inkapslingsanläggningen ska byggas samman med Clab. Under byggskedet kommer Clab att påverkas av de ingrepp i anläggningen som måste göras såväl på byggsidan som på systemsidan. Hur byggnationen ska ske och hur störningar i driften av Clab ska undvikas eller minimeras har studerats och redovisas i /4/. Efter att inkapslingsanläggningen tagits i drift kan anläggningarna betraktas som en driftsenhet och vi betraktar då kopplingarna som anläggningsinterna varvid de faller utanför omfattningen av denna rapport.

## **Det använda kärnbränslet**

Kopplingen på bränslesidan är dubbelriktad. Från inkapslingsprocessen ställs krav på bränsleleveranser från Clab. Mängd, typ och resteffekt. Störningar i endera anläggningen får effekt på den andra. Fel i leveranser från Clab detekteras och åtgärdas (se kapitel 7).

Skada på bränsle som uppkommer i inkapslingsprocessen eller senare kan behöva åtgärdas i en särskild anläggning (till exempel av Studsvik). Sådant bränsle återgår till Clab för vidare transport.

## **Koppling 2 – mellan kapsel fabriken och inkapslingsanläggningen**

Kopplingen är dubbelriktad. Från inkapslingsanläggningen ställs krav på leveranser från kapsel fabriken. Mängd, kvalitet och dimensioner. Felaktiga leveranser detekteras och åtgärdas (se kapitel 7). Produktionsstörningar i kapsel fabriken (inklusive underleverantörer) får effekt på inkapslingsprocessen om störningarna är av den storleken att det lager av färdiga tomma kapslar som finns utnyttjas helt. Driftavbrott<sup>15</sup> i inkapslingsprocessen en längre tid får effekt på produktionen i kapsel fabriken.

## **Koppling 3 – mellan inkapslings- och slutförvarsanläggningarna**

Kopplingen är dubbelriktad. Från slutförvarsanläggningen ställs krav på leveranser från inkapslingsanläggningen. Mängd, kvalitet och dimensioner. Felaktiga leveranser eller leveranser som har varit utsatta för ej tillåtna påfrestningar under transport detekteras och åtgärdas (se kapitel 7). Produktionsstörningar i endera anläggningen får effekt på den andra om störningarna är av den storleken att transportsystemet ej kan fånga upp den.

Återtagning av kapslar efter deponering, enstaka eller flera, innebär att inkapslingsanläggningen blir mottagande anläggning.

## **Koppling 4 – mellan inkapslingsanläggningen och transportsystemet**

Beroende på var slutförvarsanläggningen kommer att ligga kan transportsystemet bli ett system avsett för kapseltransporter enbart eller, som i dag, ett system avsett för olika typer av transporter (bränsle och driftavfall samt i framtiden kapslar och rivningsavfall). Kopplingarna kommer att se olika ut i de båda fallen.

En fråga när det gäller transportsystemet är till vilken anläggning den hänförs, alltså var expedieringen av transporterna hanteras. Det är kanske naturligt att låta den avsändande enheten administrera transporterna vilket för kapseltransporter skulle innebära att kopplingen mellan slutförvarsanläggningen och transportsystemet utgår. (I praktiken innebär detta att inkapslingsanläggningen leverera kapslar ”fritt slutförvarsanläggningen”). Vi väljer till vidare den synen här.

Kopplingen är dubbelriktad. Transportsystemet dimensioneras efter produktionen i inkapslingsanläggningen. Transportbehållarens utformning styrs av kapseldata rörande dimensioner, strålning och värmeavgivning. (Allmänna krav på transportbehållaren som skydd vid kapseltransport utgör en extern koppling.)

Produktionsstörningar i inkapslingsanläggningen får effekt på transportsystemet liksom att avbrott i transporterna kan stoppa upp produktionen i inkapslingsanläggningen. Händelser under transport som medför otillåten belastning på transportkolli och kapsel kan innebära returtransport för undersökning av kapseln och eventuell åtgärd i inkapslingsanläggningen (se kapitel 7).

---

<sup>15</sup> Driftavbrott i inkapslingsprocessen kan på det sätt vi betraktar kopplingar vara orsakade av händelser i eller utanför inkapslingsanläggningen.

## **Koppling 5 – mellan slutförvarsanläggningen och transportsystemet**

Se koppling 4 ovan.

### **6.4.2 Kopplingar till omgivningen (exklusive till KBS-3-förvaret)**

Kopplingar mellan systemet (delsystem *produktionsanläggningar*) och omgivningen består i huvudsak av två typer:

- utifrån kommande krav och restriktioner<sup>16</sup>,
- påverkan från systemet på omgivningen.

Krav (och restriktioner) hanteras inom SKB inom ett projekt benämnt *Systematisk kravhantering*. Kraven sammanställs och redovisas på ett systematiskt sätt och en kravdatabas är under uppbyggnad. Dokumentation är under utarbetande.

Påverkan på miljö och samhälle är som angavs i kapitel 2 undantagna ur redovisningen här. Detta behandlas i MKB som utgör underlag i ansökan /4/.

#### **Koppling med avseende på lagar och internationella överenskommelser**

Kopplingen är enkelriktad. I kapitel 1 redogjordes för de lagar och föreskrifter som styr utformning, byggande, drift och avveckling av anläggningarna i systemet. Främst gäller detta kärntekniklagen och strålskyddslagen men även miljöbalken och allmänna lagar för industriell verksamhet. De internationella överenskommelserna berör bland annat IAEA:s avfallskonvention men också det vi kallar för safeguards (redovisas separat i nästa paragraf).

Eftersom byggande och drift av anläggningarna kommer att sträckas ut under en mycket lång tid är det högst sannolikt att kopplingen kommer att aktiveras flera gånger under anläggningarnas livscykel som en följd av att lagarna ändras eller nya tillkommer. Historiskt har så varit fallet för de anläggningar som i dag är i drift.

#### **Koppling med avseende på safeguards**

Kopplingen är enkelriktad. Kopplingen faller visserligen under rubriken ”internationella överenskommelser” men redovisas separat med tanke på dess speciella karaktär.

Safeguards innebär en kontroll administrerad dels av den svenska myndigheten (SKI), dels av Euroatom och IAEA. Syftet är att verifiera att kärnämne inte avleds från systemet. Kontrollen är en följd av att Sverige är ansluten till det så kallade ickespridningsavtalet och därmed är skyldigt att redovisa all hantering av kärnämnen och ställa detta under internationell kontroll (gäller bland annat det använda kärnbränslet).

Det nya i systemet, i och med inkapslingen och deponeringen, är att kärnämnen efter inkapsling inte längre är åtkomliga för direkt inspektion och mätning. Bland annat ställer detta krav på att varje kapsel ges en identitet och att innehållet kopplas till denna. Förflyttningen av kapseln dokumenteras i safeguardsredovisningen.

#### **Koppling med avseende på använt kärnbränsle som funktion av driften vid kärnkraftverken**

Kopplingen är dubbelriktad. Kopplingen utgörs framförallt av sambandet mellan mängd och typ av kärnbränsle som ska tas om hand och av driften vid de svenska kärnkraftverken. (I liten omfattning finns bränsle från annat håll, se kapitel 3.)

<sup>16</sup> Krav är konstruktionsförutsättningar som uttrycker människors önskemål. Restriktioner är egenskaper, händelser och processer i anläggningarna och deras omgivning som begränsar de möjliga lösningarna.

Det som styr inkapsling och deponering och den takt i vilken detta sker är mängden bränsle och bränslets typ (BWR, PWR, MOX), samt bränslets ålder och utbränningsgrad. Samtidigt är kärnkraftproducenterna i sin planering tvungna att beakta systemets förmåga att omhänderta bränslet för mellanlagring, inkapsling och deponering. Detta gäller såväl dimensionerna hos bränsleelementen som utbränningsgraden och därmed strålning och värmeavgivning. Därav den dubbelriktade kopplingen.

### ***Koppling med avseende på effektivitet och resursanvändning***

Kopplingen är dubbelriktad. Denna koppling avser samspelet mellan å ena sidan intressenternas krav på att verksamheten bedrivs på ett säkert och effektivt sätt där effektiviteten avser såväl ekonomi som resursförbrukning ur miljösynpunkt, och å andra sidan kärnkraftproducenternas åtagande att finansiera verksamheten. Denna koppling skiljer sig inte principiellt från annan industriell verksamhet men har en extra tyngd genom att finansieringen sker i förväg genom avsättningar i den så kallade kärnavfallsfonden, KAF. Detta regleras inom finansieringslagen (1992:1537) och avsättningarna baseras på det kostnadsunderlag som SKB tar fram periodvis och redovisar för myndigheten /5/.

### ***Koppling med avseende på Loma-systemet***

Kopplingen är enkelriktad. Som tidigare nämnts (kapitel 2) finns det en koppling till Loma-systemet (låg- och medelaktivt avfall) men denna koppling är svag. Detta gäller avfallsmängder som i första hand kommer från Clab/inkapslingsanläggningen. Till att börja med gäller det relativt små mängder driftavfallet och senare avfall från avveckling och rivning. Kopplingen utgörs av avfall som ska tas om hand och tidpunkter när detta ska ske.

Kopplingen skulle kunna vara dubbelriktad eftersom den mottagande anläggningen ställer krav på avfallskollinas utformning och innehåll. Hanteringen av driftavfall sker emellertid redan i dag på ett långt drivet standardiserat sätt där nya principer knappast kan förväntas i framtiden. För rivningsavfallet kommer sannolikt samma situation att råda eftersom rivningen av kärnkraftverken kommer att föregå och utveckla en standard även på det området.

### ***Koppling med avseende på lokal miljöpåverkan***

Kopplingen är per definition enkelriktad eftersom den avser en påverkan utgående från systemet. (Den andra riktningen, från omgivningen till systemet, ryms inom kopplingen avseende lagar ovan.)

Lokal miljöpåverkan rörande utsläpp till mark, luft och vatten, buller, markanvändning etc behandlas inom MKB /4/.

### ***Koppling med avseende på lokal samhällspåverkan***

Kopplingen är enkelriktad av samma skäl som för miljöpåverkan ovan. Kopplingen rör frågeställningar kring befolkningsutveckling, näringsliv, psykosociala aspekter, arbetsmarknad, kommunens verksamhet och ekonomi, kommunikationer, turism, fastighetspriser, m m. Ämnet hanteras delvis inom MKB /4/ och i övrigt i utredningar som läggs fram för att bredda beslutsunderlaget i ansökningarna.

### ***Koppling med avseende på säkerhet och strålskydd under drift***

Kopplingen är enkelriktad. Säkerhet och strålskydd i anläggningarna kan tyckas vara anläggningsinterna frågor som inte behöver ses som angelägenheter som berör omgivningen. Personal eller andra människor som finns i anläggningen, exempelvis besökare, anses emellertid tillhöra samhället snarare än systemet och åtgärder för att förebygga eller minska risker för skador på människor i verksamheten får därmed en koppling mot omgivningen.

Kopplingen ska ses som den påverkan produktionsanläggningarna ger på människor som vistas i anläggningarna under drift. Reglering av arbetarskyddet, som sker genom arbetarskyddslag och strålskyddsföreskrifter, faller inom gruppen *samhällets krav* ovan.

De åtgärder som vidtagits eller kommer att vidtas i anläggningarna för personalens skydd redovisas i anläggningarnas säkerhetsrapporter. När det gäller slutförvarsanläggningen finns ingen sådan men motsvarande information har beskrivits i så kallade säkerhetsredovisningar.

En grundprincip i konstruktionen av anläggningarna är att all hantering av radioaktivt material är strålskärmad och fjärrstyrd. Strålskärmningen är sådan att personalen under åtminstone begränsad tid ska kunna arbeta i närheten av utrustningen för justerande åtgärder när sådan krävs.

### **6.4.3 Kopplingar med avseende på den långsiktiga säkerheten**

Eftersom systemet *produktionsanläggningar* är temporärt och ska avvecklas efter avslutad deponering är kopplingen mot den långsiktiga säkerheten enbart en fråga om hur systemet förhåller sig till *KBS-3-förvaret* dvs produkten. Kopplingen i ena riktningen avser då systemets förmåga att framställa produkten i enlighet med de kvalitetskrav som ställts upp och som validerats genom säkerhetsanalysen. Kopplingen i andra riktningen är de begränsningar i produktens utformning som är en följd av vad som är realistiskt med hänsyn till vad som kan åstadkommas i produktionen eller, i vissa fall, vad som är mest effektivt vid beaktande av säkerhet och ekonomi i hela hanteringskedjan.

Detta växelspel mellan krav (önskemål) och möjligheter utgör i själva verket kärnan i den historiska utvecklingen av KBS-3-systemet och det finns all anledning att tro att denna utveckling kommer att fortsätta i framtiden. Något skrivs om detta i kapitel 8 men framförallt kommer det att behandlas vid nästa ansökan då slutförvarsanläggningen är inkluderad fullt ut.

Kopplingen mellan den långsiktiga säkerheten och KBS-3-förvaret hanteras inom säkerhetsanalysen SR-Can /3/ och senare SR-Site. Där analyseras möjliga eller påtvingade förändringar i utformning av de ingenjörsmässiga barriärerna, till exempel kapseln, eller följer av förändringar i de förutsättningar som ligger till grund för de modeller som säkerhetsanalysen baseras på. Allt som på sikt kan få konsekvenser för produkten och därmed för produktionsanläggningarna.

I det skede vi i dag befinner oss i utgör osäkerheten om platsvalet för slutförvarsanläggningen en koppling med långsiktig säkerhet som främsta attribut. Därför har den lagts in i figur 6-10 under samma grupp som delsystemet *KBS-3-förvaret* (produkten). Längre fram, när platsvalet är gjort, kommer denna koppling att övergå till en koppling avseende hur undermarksdelarnas utformning anpassas till bergstruktur och andra geologiska data på den valda platsen. I liten eller ingen utsträckning kommer kopplingen då att beröra ovanmarksanläggningarna och förhållandet blir där ungefär detsamma som i dag gäller för inkapslingsanläggningen dvs kopplingarna till omgivningen ligger inom andra delar av den omgivande ringen i figur 6-10.

## **6.5 Tiden fram till rutinmässig drift – vad återstår att göra**

Beskrivningen så här långt i detta kapitel har avsett referensutformningen såsom den ser ut i dag. För de olika komponenterna Clab, inkapslingsanläggningen och slutförvarsanläggningen samt kapselabrik och transportsystem är statusen för denna utformning väsentligt olika. Clab är en befintlig anläggning där lång drifterfarenhet föreligger. Anläggningen lär inte förändras under de närmaste åren annat än de moderniseringar och effektiviseringar som kontinuerligt eller med jämna mellanrum företas. Det faktum att inkapslingsanläggningen ska anslutas förändrar inte funktionen eller utformningen av Clab men ger givetvis effektivitetsvinster genom samkörning av system och samutnyttjande av organisationen på plats.

Inkapslingsanläggningen ligger projekteringsmässigt långt framme avseende såväl systemlösningar som byggnader. Skedesmässigt befinner den sig i steget före detaljprojektering. Valet av lokalisering är gjort och anpassningen till detta val är i princip klar. Ett av de svåraste momenten i produktionen, sammanfogningen av kapsel och kapsellock, är tekniskt löst.

För slutförvarsanläggningen pågår den projekteringsmässiga platsanpassningen till de två platser där platsundersökningar pågått en längre tid. Val av plats kommer att göras om ett par år. Projekteringen befinner sig i ett systemhandlingsskede där ovanmarksanläggningarnas utformning och disposition studeras och där undermarksanläggningarna anpassas till de bergmodeller som tagits fram baserade på gjorda undersökningar och analyser i platsundersökningsprogrammen. Flera tekniska system väntar på sin definitiva lösning liksom val av metod för uttag av berget i olika bergrums- och tunnelsystem.

Transportsystemet är i likhet med Clab i dag ett moget system och lika väl utprovat men den framtida funktionen kan komma att förändras beroende på val av lokalisering av slutförvarsanläggningen. Ny utrustning måste också tas fram för transport av kapslar.

Kapsel fabriken, slutligen, befinner sig i ett programskede där funktioner och krav specificeras som underlag till beslut om lokalisering, utformning och drift.

Fram till ansökan enligt kärntekniklagen och miljöbalken för slutförvaret år 2009 kommer arbetet att fortsätta med att ta fram krav, konstruktionsförutsättningar och acceptanskriterier för viktiga delar. I ansökan kommer SKB att redovisa referensutformningen för slutförvarets olika delar samt ett underlag som visar att den föreslagna tekniska lösningen är genomförbar och uppfyller kraven. De slutgiltiga tekniska lösningarna för samtliga delar i slutförvaret kommer sannolikt inte att vara valda vid denna tidpunkt.

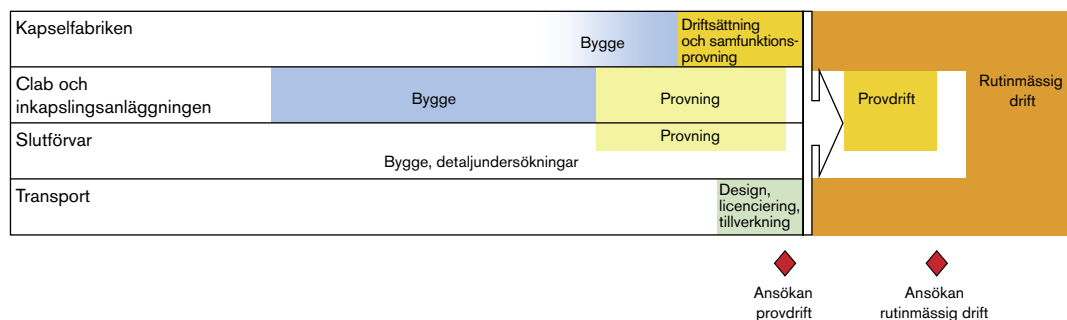
Efter 2009 går teknikutvecklingen in i ett skede som syftar till att ta fram maskiner och processer, som uppfyller de preciserade kravspecifikationerna. Kontrollprogram kommer att tas fram som ska implementeras för att visa att verksamheten ger de resultat som krävs när bygge, deponering och förslutning genomförs.

Fortsatta arbeten för produktionsanläggningarna.

Arbetet fram till dess att SKB kan inleda den rutinmässiga driften innehåller flera moment för respektive anläggning. Följande, delvis parallella steg, kan identifieras:

- Detaljprojektering och upphandling.
- Byggnad.
- Organisation och bemanning.
- Driftsättning och samfunktionsprovning (utan använt kärnbränsle).
- Provdraft (med använt kärnbränsle).

I figur 6-11, som är sammanställd baserad på ansökansplanen /2/, visas en grov tidsplan för de olika stegen i SKB:s fortsatta arbete fram till rutinmässig drift. I de följande avsnitten ges en beskrivning för varje anläggning. Beskrivningen ger specifika detaljer och pekar på tidsplanemässiga styrningar om sådana finns.



**Figur 6-11.** SKB:s framtida arbete med de olika anläggningarna.

### **6.5.1 Kapsel fabriken**

Innan kapsel fabriken tas i drift ska kvalificeringar av leverantörer, system och personal vara genomförda. Provdriften i inkapslingsanläggningen och slutförvaret kan inte inledas innan leveranserna av kapslar från kapsel fabriken är i gång.

### **6.5.2 Clab och inkapslingsanläggningen**

Kapsellaboratoriet i Oskarshamn har varit i drift sedan 1998 och kan sägas utgöra en pilotanläggning för inkapslingsanläggningen. Kapsellaboratoriet är i första hand utrustat för utveckling av teknik för svetsning av kopparlock och bottenar samt för oförstörande provning av svetsar och kapselkomponenter, men även för testning och utprovning av utrustning och system för hantering av bränsle och kapslar i den framtida inkapslingsanläggningen. Verksamheten syftar därtill att utbilda personal inför driftsättningen av inkapslingsanläggningen. Kapsellaboratoriet avses vara i bruk till i varje fall den tidpunkt då inkapslingsanläggningen tas i drift.

Under inkapslingsanläggningens byggfas pågår två parallella aktiviteter. Den ena aktiviteten innebär att inkapslingsanläggningen uppförs samt att olika utrustningar monteras och provas i anläggningen. Den andra aktiviteten består av att genomföra de ändringar som är nödvändiga i det befintliga Clab.

Under organisations- och bemanningsfasen sker rekrytering av personal till anläggningen. Då utbildas också befintlig personal och nyanställda i bland annat system- och anläggningskännedom.

Inför provningen kopplas inkapslingsanläggningen och Clab ihop fysiskt genom att byggnadsdelarnas väggar öppnas mot varandra, varvid rum och korridorer byggs ihop. Då kopplas även försörjnings- och processystemen samman och installationerna provas system för system. När systemen och installationerna är sammankopplade inleds samfunktionsprovning av anläggningens system utan använt kärnbränsle.

Efter att SKB fått tillstånd inleds provdriften. Detta är första gången som kapslar med använt kärnbränsle hanteras i anläggningen.

### **6.5.3 Slutförvaret**

Detaljprojektering och bergarbeten i slutförvaret kommer att pågå stegvis och parallellt fram tills dess att hela slutförvaret är utbyggt, det vill säga även efter det att förvaret tagits i rutinmässig drift. Upphandlingen av särskilt viktiga (tidskritiska) anläggningsdelar kommer att påbörjas innan SKB erhållit de sista villkoren för att påbörja byggandet. Flera entreprenörer kommer sedan att kontrakteras under hela uppförandet av slutförvaret.

Detaljundersökningar kommer att pågå under hela byggfasen. Detaljundersökningarna syftar till att verifiera befintlig kunskap, dvs tidigare platsmodeller, platsbeskrivningar, projekterings- och beslutsunderlag. De ska också ge den ökade kunskap som behövs för att kunna driftsätta anläggningen. Uppdaterade platsmodeller, platsbeskrivningar och beslutsunderlag för att steg för steg detaljprojektera och dokumentera anläggningen samt för att förnya säkerhetsredovisningen är några exempel på sådan tillkommande kunskap.

Under den första delen av byggfasen utförs huvudsakligen bergarbeten. Arbetet med att bygga rampen och sänkschaktet för bergskip startar när förberedelserna på byggplatsen är klara. När schaktet nått valt förvarsdjup inleds bergguttaget i centralområdet. Utformningen av centralområdet kan eventuellt behöva anpassas till den plats som valts. När bergarbetena i centralområdet slutförts är också huvuddelen av alla byggnaderna ovan mark uppförda. Tidsplanen för att uppföra byggnaderna ovan mark anpassas till den tidpunkt när respektive byggnad behöver tas i drift.

Under den senare delen av byggfasen, kommer SKB att precisera läge och utformning för det första deponeringsområdet innan utbyggnaden påbörjas. I samband med detta kommer SKB enligt planerna att redovisa en uppdaterad platsmodell. Denna utgör underlag för att utforma det deponeringsområde som kommer att tas i anspråk inledningsvis. Platsmodellen ligger även till grund för en ny säkerhetsbedömning. Data från detaljundersökningarna jämförs då med platsegenskaper, som enligt SR-Site (säkerhetsanalysen) och enligt erfarenheterna från det genomförda projekteringsarbetet, bedöms vara av betydelse för säkerhet och strålskydd samt för byggande, drift och miljöpåverkan.

Innan tidpunkten för deponering av första kapseln har stora delar av slutförvaret färdigställts. De färdiga delarna omfattar bland annat:

- Tillfarter till förvarsnivå.
- Centralområdet och merparten av dess installationer.
- Erforderlig del av stamtunnel och ett antal deponeringstunnlar.
- De delar av ovanmarksanläggningen som har en direkt koppling till deponeringsprocessen.

Under organisations- och bemanningsfasen sker rekrytering och utbildning av personal till anläggningen. För slutförvaret kommer driftorganisationen att byggas upp stegvis.

Utprovningen av system och utrustningar förutsätts ha skett i Äspölaboratoriet parallellt med uppförandet av slutförvaret. Där har även kapslar deponerats och deponeringstunnlar återfyllts och förslutits med den utrustning som kommer att användas i slutförvaret. Verksamheten vid Äspölaboratoriet syftar även till att utbilda personal och trimma in utrustning innan slutförvaret tas i drift.

Parallellt med utbyggnaden av deponeringsområdet trimmas nödvändiga system och utrustningar in. Till dessa system hör:

- Utrustning för att transportera transportbehållare i rampen.
- Utrustning för att flytta kapslar från transportbehållare till deponeringsmaskin.
- Utrustning för att installera buffert och kapslar under realistiska förhållanden.
- Utrustning för att återfylla deponeringstunnlar.

Innan första kapseln deponeras provas även systemets funktioner i slutförvaret i sin helhet, men utan att kärnämne är på plats. Detta sker under samfunktionsprovningen. SKB visar då att människa, teknik och organisation i hela systemet fungerar som avsett.

Efter att SKB fått SKI:s tillstånd till provdrift med tillhörande villkor kan den första kapseln med använt kärnbränsle hanteras i anläggningen.

#### **6.5.4 Transportsystemet**

För att transportera använt kärnbränsle mellan inkapslingsanläggningen och slutförvaret behöver SKB ta fram en kapseltransportbehållare (KTB). Att ta fram och licensiera en KTB beräknas ta fyra till fem år. Licensieringen ska enligt planerna ske i Sverige. Provdriften i inkapslingsanläggningen och slutförvaret kan inte inledas innan det finns en licensierad kapseltransportbehållare och tillstånd för transporterna, vilket således styr när transportsystemet i sin helhet ska finnas framme.



## 7 Validering av kapseltillverkning och inkapsling

I detta kapitel redovisas valideringen. Som framgår av titeln avses i första hand validering av kapseltillverkning och inkapsling.

Inledningsvis ges en översikt av beslutade eller förväntade kontrollpunkter för hela system *produktionsanläggningar* dock med berget undantaget. Därefter följer en beskrivning punkt för punkt för inkapslingsprocessen åtföljt av en sammanfattande diskussion för övriga angivna kontrollpunkter dvs de punkter som är att hänföra till verksamheten i slutförvarsanläggningen. Dessa senare punkter kommer att redovisas i detalj först senare i anslutning till nästa ansökan.

### 7.1 Validering av produktionsanläggningarna – en översikt

Med validering av produktionsanläggningarna i dagens utvecklingsskede menas att vi genom en detaljerad genomgång av de system och processer som under drift kommer att säkerställa kvalitén hos slutförvarets olika delar belägger att slutförvaret kan utformas på det sätt som SKB föreslår och som SKB genom säkerhetsanalyserna SR-Can /3/ och senare SR-Site visar uppfyller högt ställda krav på långsiktig säkerhet.

Genom en systematisk genomgång av dessa processer och tillhörande kvalitetsstyrning kommer vi i detta kapitel att visa att inkapslingsprocessen med stor sannolikhet kommer att kunna möta dessa krav. Senare, i samband med nästa ansökan, kommer denna validering att byggas ut till att omfatta hela det delsystem vi benämner *produktionsanläggningarna*.

I detta kapitel görs en genomgång av de kontroller och den dokumentation som i dagsläget planeras i de olika stegen eller tillverkningsmomenten hos leverantörer och i de anläggningar i KBS-3-systemet som omfattas av inkapslingsprocessen. För att styrka att det i dag finns tillräcklig kunskap och erfarenhet från tillverkning och hantering redovisas resultat från genomförda aktiviteter och arbete med utveckling av kontrollmetoder. Beskrivningen utgår ifrån den nuvarande så kallade referensutformningen.

De kontroller som planeras och den dokumentation som tas fram kommer att vara en del av SKB:s övergripande kvalitets- och miljöledningssystem.

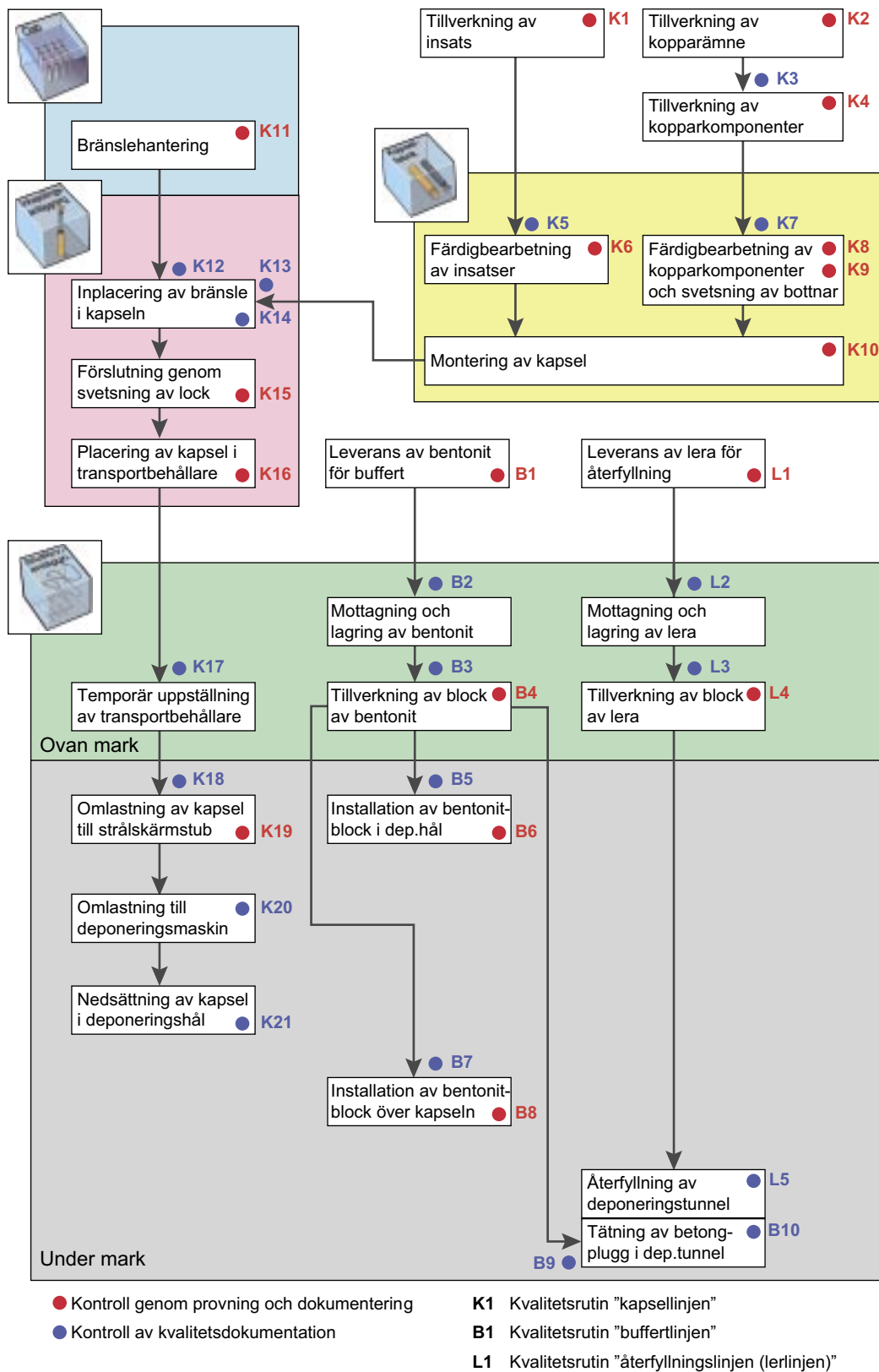
Inledningsvis ges en översikt av de kontrollpunkter som i dag är inlagda i inkapslingsprocessen och de som kan förväntas i deponerings- och återfyllningsprocesserna. Översikten baseras på den schematiska framställning som presenterades i kapitel 5.

Som tidigare framhållits ingår inte den så kallade *berglinjen* i redovisningen här. Komplettering med denna sker senare i samband med ansökan för slutförvaret.

Redovisning i kapitlet ansluter till de kontrollpunkter som är angivna i figur 7-1. För att underlätta läsningen återfinns sist i rapporten ett utvecklingsblad (bilaga 2) med samma information som i figuren. Observera färgkoden som finns beskriven nedtill i figuren.

### 7.2 Kvalitetsledning

SKB:s kvalitets- och miljöledningssystem tillämpas för alla arbeten som utförs inom SKB. SKB är certifierat i enlighet med ISO 9001:2000 och 14001:2004. Dessutom kommer SKB att ta fram kompletterande rutiner för de olika produktionsanläggningar som ännu inte är uppförda. I denna rapport används de redan framtagna rutinerna inom området kapseltillverkning medan rutinerna för övriga ej byggda anläggningar ska upprättas senare.



Figur 7-1. Sammanfattning av beslutade eller förväntade kontroller i hela kedjan (exklusive berget).

I SKB:s kvalitets- och miljöledningssystem för kapseltillverkning /ref: handbok för kapseltillverkning/ finns alla tillverkningsritningar, tekniska specifikationer, rutinbeskrivningar och blanketter för olika ändamål. De tekniska specifikationerna innehåller bland annat krav på material, provning, kontroll, maskinbearbetning, dokumentation samt vissa leveransbestämmelser. I kvalitetsarbetet ingår också regelbundna revisioner hos leverantörer. Alla avvikelser från de tekniska specifikationerna ska rapporteras till SKB som ska besluta om lämplig åtgärd. Ledningssystemet uppdateras kontinuerligt, allt eftersom ny kunskap kommer fram. Systemet är i sin nuvarande utformning framtaget för provtillverkning av kapslar men avsikten är att det ska utvecklas vidare för att kunna gälla vid en driftsituation.

De tillverkningsprocesser och den personal som används vid tillverkning, svetsning och oförstörande provning ska kvalificeras. Med kvalificering menas ”undersökning och demonstration som visar att en leverantör, person eller provnings-, bearbetnings- eller sammanfogningsprocess kan uppfylla sina specificerade uppgifter”. För alla delprocesser som är viktiga för kapslarnas långsiktiga funktion är det därför viktigt att specificerade krav utarbetas. Kvalificeringen sker sedan mot dessa krav. SKB har utarbetat ett program för hur kvalificeringarna ska genomföras /38/.

### 7.3 Kapslar – tillverkning och inkapsling

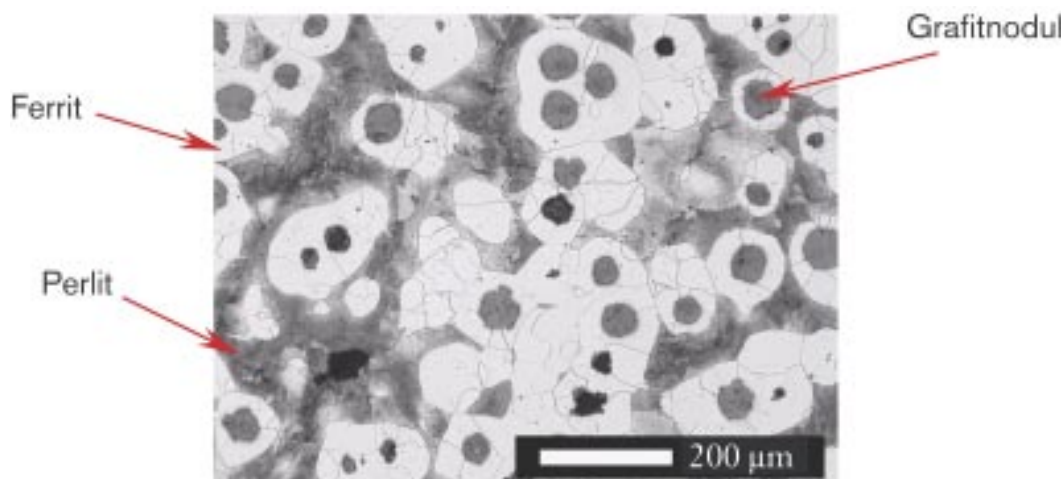
Den normala hanteringsgången för kapslar startar med tillverkning av kapselkomponenter. Dessa komponenter levereras till en kapselfabrik där de färdigbearbetas. Kopparrötar svetsas på kopparrör och bildar kapslarnas kopparhöljen. Kopparhöljen och insatser monteras ihop. Dessa består av kopparrör, kopparlock, kopparrötar, insatser och stållock till insatserna. De monterade kapslarna och kopparlocken transporteras sedan till inkapslingsanläggningen där kapslarna fylls med använt kärnbränsle innan de försluts genom att locken svetsas fast. De färdiga kapslarna transporteras därefter till slutförvaret där de deponeras.

**K1 Tillverkning av insatser.** SKB har valt att tillverka insatserna av segjärn, ett gjutjärn där grafit skiljs ut i form av noder (runda korn) när materialet svalnar. Grafitens form, storlek och fördelning har stor betydelse för materialets mekaniska egenskaper och kan styras genom olika tillsatser i smältan, till exempel magnesium.

Insatsen har en inre struktur, som bildar de kanaler där bränsleelementen ska placeras. Kanalerna åstadkommer man med hjälp av stålrör med fyrkantprofil vilka svetsas samman till en kassett som gjuts in i godset. Kassetten är konstruerad på ett sådant sätt att insatserna kan gjutas med integrerad botten. Fyllningen av formen med smält järn kan ske endera genom att smältan fylls på från toppen, så kallad fallande gjutning, eller genom stiggjutning då smältan leds genom en kanal ned till botten av formen och sedan stiger uppåt i formen. Insatsen grovbearbetas före leverans till kapselfabriken. Locket till insatsen tillverkas av stålplåt.

Baserat på konstruktionsförutsättningarna och en standard (SS-EN 1563) som ställer krav på grafitform och mekaniska egenskaper för gjutgods i olika dimensioner samt de frihetsgrader den ger har tekniska specifikationer tagits fram. Krav på tillverkningen och kontrollen specificeras i tekniska specifikationer för insatsen, kassetten och stållocken /39/.

För att uppfylla ställda krav på mekaniska egenskaper måste man säkerställa att man får rätt grafitform och att oönskade avvikelser i materialstrukturen undviks. Detta görs genom att gjutningen utförs enligt instruktioner som utarbetats när det gäller t ex kylning och syrehalt i götet. Insatserna kontrolleras dels visuellt för att upptäcka ytskador, dels med oförstörande provning för att upptäcka eventuella avvikelser i materialet, så kallade diskontinuiteter. Arbete pågår med att ta fram acceptanskriterier för vilka avvikelser som får förekomma. Insatsernas mekaniska egenskaper kontrolleras genom att dragprov utförs på vidgjutna provstavar och provstavar som tas ut från avkapade delar från insatsernas ändar. Dessutom kontrolleras materialstrukturen i elektronmikroskop i provtagna från avkapade delar av insatserna, se figur 7-2.



*Figur 7-2. Foto från elektronmikroskopundersökning för kontroll av materialstrukturen i segjärnet.*

Totalt har 36 insatser i segjärn provtillverkats, 33 stycken för BWR-element och 3 stycken för PWR-element. Anledningen till den ojämna fördelningen är att BWR-insatsen, med fler kanaler, är svårare att tillverka. Gjutmetoderna har under senare år utvecklats genom bland annat optimering av gjuttemperaturen. Resultaten från kontroller av insatser gjutna under 2005 visar att kraven på materialstruktur och mekaniska egenskaper kan uppfyllas /34/. Leverantörerna har i dag i de flesta fall resurser för att genomföra oförstörande provning med ultraljud för att upptäcka eventuella avvikelser i materialet. Utvecklingsarbete i samarbete mellan leverantörer och SKB pågår.

**K2 Tillverkning av kopparämnena.** Det utgångsmaterial som SKB använder för varmformning av kopparkomponenter är cylindriska kopparämnena. Vid tillverkningen av ämnena ska framför allt den kemiska sammansättningen hos kopparn säkerställas. För tillverkningen finns en teknisk specifikation som både anger vilka krav som ska uppfyllas och hur kontroller och dokumentation ska utföras /39/).

Kemiska analyser ska genomföras av ackrediterat laboratorium för att visa att den kemiska sammansättningen uppfyller specifikationen. En visuell inspektion ska göras av kopparämnena för att kontrollera att det inte förekommer några stora ytliga diskontinuiteter såsom sprickor och blåsor som kan komma att påverka kvalitén i komponenterna.

Resultat från analyser av de kopparämnena som tillverkats de tre senaste åren, drygt 20 stycken, visar att den kemiska sammansättningen uppfyller materialspecifikationen /34/.

**K3 Mottagning av kopparämnena i kapsel fabriken.** Mottagningskontroll av kopparämnena vid leverans till kapsel fabriken är en administrativ åtgärd med visuell kontroll samt kontroll av medföljande kvalitetsdokumentation och märkning.

**K4 Tillverkning av kopparkomponenter.** SKB har valt extrusion som referensmetod för att tillverka kopparrör eftersom provtillverkning har gett goda erfarenheter av den materialstruktur som erhålls. Vid tillverkning med extrusion utgår man från ett kopparämne som värms upp och bearbetas i en press och med hjälp av en dorn görs ett hål så att det blir en cylinder. Cylindern placeras i en extrusionspress och röret extruderas till önskad diameter. Därefter får röret svalna och vid behov riktas det för att bli rakt och runt. Röret grovbearbetas före leverans till kapsel fabriken.

Bottnar och lock av koppar tillverkas genom smidning. Utgångsmaterialet är cylindriska kopparämnen som förformas innan de smids. Smide ger koppar både bra materialstruktur och goda mekaniska egenskaper. Lock och bottnar grovbearbetas innan de levereras till kapselfabriken.

När kopparämnena levereras görs en mottagningskontroll av medföljande dokumentation och märkning av kopparämnena. Vid extrusion av kopparrör ska man se till att ställda krav på koppartjocklek, materialstruktur i form av kornstorlek och mekaniska egenskaper uppfylls. Kraven finns specificerade i en teknisk specifikation (KTS 002) /39/. Smidningen och kontrollen av kopparlock och kopparbottnar styrs av samma tekniska specifikation som gäller för kopparrör.

Rörens mekaniska egenskaper kontrolleras genom att dragprov utförs på provstavar uttagna från avkapade delar från rören. Materialstrukturen i prov tagna från avkapade delar från rören kontrolleras i elektronmikroskop. Rören kommer även att kontrolleras visuellt för att upptäcka ytskador och med en första enklare oförstörande provning med ultraljud för att upptäcka eventuella avvikelser i materialet, så kallade diskontinuiteter.

Vid provtillverkning har totalt 19 rör samt 160 lock och bottnar tillverkats där kornstorleken med god marginal uppfyller kraven. Resultat från dragprov visar att även kraven på mekaniska egenskaper kan innehållas /34/. Leverantörerna har i dag i de flesta fall resurser för att genomföra oförstörande provning med ultraljud. Utvecklingsarbete i samarbete mellan leverantörer och SKB pågår.

**K5 Mottagning av grovbearbetade insatser i kapselfabriken.** Mottagningskontroll av insatser vid leverans till kapselfabriken är en administrativ åtgärd med visuell kontroll samt kontroll av medföljande kvalitetsdokumentation och märkning. Dessutom kontrolleras kritiska dimensioner. Insatserna med integrerad botten och lock kan komma att levereras från olika gjuteriföretag.

**K6 Färdigbearbetning av insatser.** Den grundläggande principen i kapselfabriken är att hanteringen av koppar och segjärn är separerad hela vägen fram till att insatsen lyfts ner i kopparröret. Insatser och insatslock färdigbearbetas genom svarvning till rätt dimensioner och ytfinhet. Därefter kontrolleras insatserna med oförstörande provning för att verifiera att det inte finns några oönskade avvikelser i materialstrukturen som kan ha betydelse för den långsiktiga funktionen.

Utvecklingen av oförstörande provning med ultraljud pågår. Arbetet omfattar bl a teknikutveckling och anpassning till de komponenter som ska provas. I dag finns ingen fullständig redovisning av möjliga diskontinuiteter i de provtillverkade insatserna.

**K7 Mottagning av kopparkomponenter i kapselfabriken.** Mottagningskontroll av kopparkomponenter vid leverans till kapselfabriken är en administrativ åtgärd med visuell kontroll samt kontroll av medföljande kvalitetsdokumentation och märkning. Dessutom kontrolleras kritiska dimensioner.

**K8 Färdigbearbetning av kopparkomponenter.** I kapselfabriken maskinbearbetas rören in- och utvändigt till fastställda mått. Lock och botten svarvas. Kapselkomponenterna kontrolleras med oförstörande provning för att verifiera att inga oönskade avvikelser i materialstrukturen finns som kan ha betydelse för den långsiktiga funktionen. Om kopparkomponenten är märkt på ett sådant sätt att den försvinner vid bearbetning krävs att den märks om.

**K9 Svetsning av bottnar till kopparröret.** Referensmetoden för svetsning av bottnar är den samma som senare för förslutning av kapslarna, dvs friction stir welding (FSW). Svetsningen ska ske så att alla processparametrar överensstämmer med framtagna specifikation. Detta borgar för en god kvalitet i svetsarna, men kvaliteten kommer också att kontrolleras med kvalificerad oförstörande provning för att verifiera att svetsarna inte har några diskontinuiteter som har betydelse för den långsiktiga funktionen. Innan svetsarna kontrolleras finbearbetas de.

System för oförstörande provning (OFP) av svetsar med ultraljud och radiografering har utvecklats och kunnat demonstreras på kapsellaboratoriet i Oskarshamn. Att OFP kan detektera och storleksbestämma möjliga diskontinuiteter i svetsen har kunnat visas /40/. När det gäller provning av kopparkomponenter med ultraljud pågår utveckling som innebär bland annat anpassning till de komponenter som ska provas. I dag finns ingen fullständig redovisning av möjliga diskontinuiteter i de provtillverkade kopparkomponenterna.

**K10 Montering av kapselkomponenter.** Efter kontrollmätningar och rengöring av samtliga delar färdigställs kapseln. Segjärnsinsatsen sätts in i kapseln och stållocket skruvas fast. Insatsen har två skruvhål nära periferin där lyftöglor sätts i och tjänstgör som grepp under monteringen. Kopparröret, speciellt den för svetsfog avsedda ytan, skyddas vid insättningen med en plastkrage. Kopparröret och insatsen är svagt koniska, vilket underlättar montaget.

Innan de monterade kapslarna och tillhörande kopparlock lämnar kapselfabriken genomförs en slutinspektion och ett leveranscertifikat utfärdas som visar att kapslarna uppfyller de acceptanskriterier som gäller. Kapseln sätts ner i en transportram som i sin tur placeras i ett speciellt transportemballage. Detta skyddar kapseln från yttre påverkan under transporten till inkapslingsanläggningen.

Hittills har 15 kompletta kapslar provtillverkats.

**K11 Bränslehantering.** Det bränsle som ska inkapslas mellanlagras i Clab. Det lagrade bränslet i Clab har varierande värden på t ex utbränning, avklingningstid och resteffekt. Detta är egenskaper som styr värmeutvecklingen i kapslarna, vilket är en dimensionerande faktor i slutförvaret. För att minimera det totala antalet kapslar ”blandas” bränsleelementen så att den totala resteffekten i varje kapsel ligger nära den maximalt tillåtna. Kassetter med bränsleelement som är lämpliga för inkapsling väljs ut baserat på de bränsledata som finns i Clab.

För att kunna välja ut lämpliga bränsleelement så att effekten i varje kapsel blir maximalt 1700 watt görs beräkningar av resteffekten i de enskilda bränsleelementen. Beräkningarna kan, om så krävs, verifieras med mätningar. Beräkningarna tillsammans med övrig dokumentation av bränsleelementen, bland annat identifikationsnummer, utbränningsgrad och lagringstid, utgör underlag för valet av vilka bränsleelement som ska placeras tillsammans i en kapsel.

Clabs bränslehiss används för att föra kassetter från förvaringsbassängernas nivå till inkapslingsanläggningens bassänger. Före urlastningen ur förvaringskassetten verifieras bränsleelementens identitet med en kamera.

Utvalda bränsleelement lyfts ett i taget ur kassetten och förs till en väntande transportkassett. Under denna förflyttning kan elementet föras via en mätstation där mätningar kan göras för att verifiera t ex utbränning och resteffekt. Utveckling av mätmetod pågår.

**K12 Mottagning av bränsle i inkapslingsanläggningen.** Transportkassetten placeras i en av två torkpositioner där bränslet torkas för att minska risken för korrosion av insatsen. Torkningen sker med hjälp av vakuum. Resultatet av torkningen verifieras genom att luftfuktigheten i utgående luft registreras samt genom kontroll av tryckstegringshastighet i torkpositionen efter att torkningen avslutats.

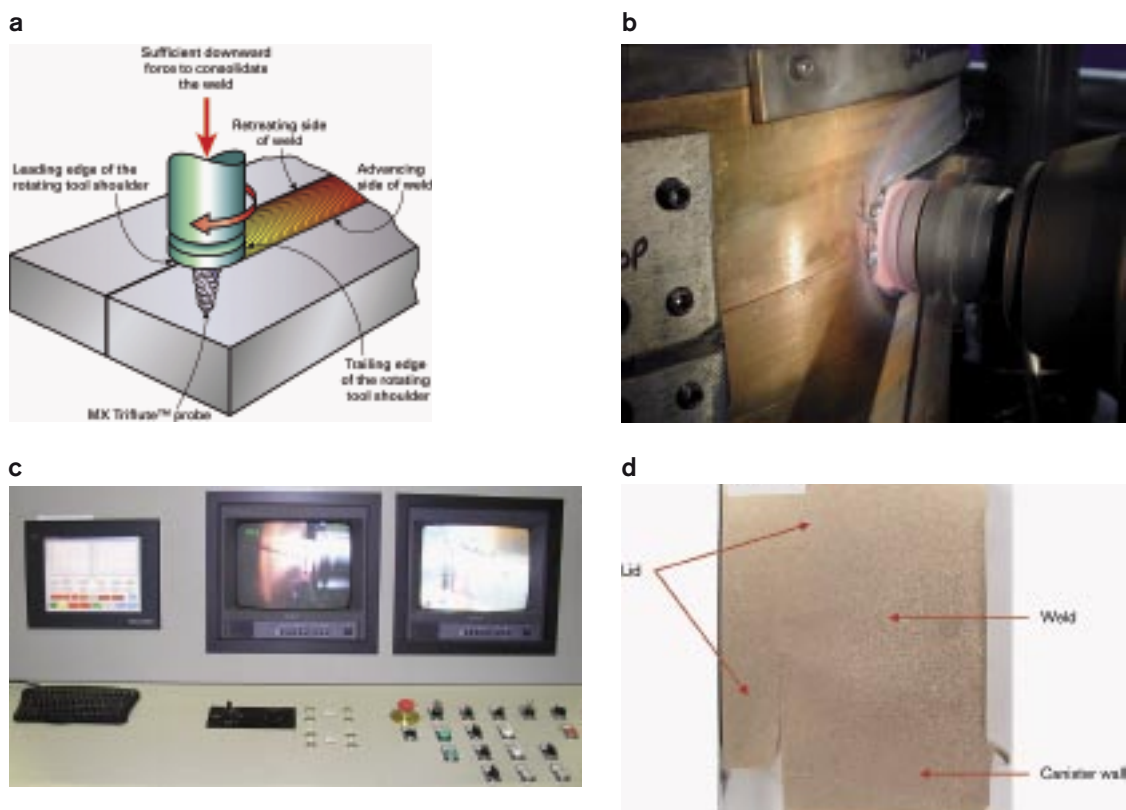
**K13 Mottagning av tomma kapslar i inkapslingsanläggningen.** Mottagningskontroll av färdigmonterade tomma kapslar vid leverans till inkapslingsanläggningen består av dels en administrativ kontroll, dels av en visuell kontroll. Den administrativa kontrollen gäller medföljande kvalitetsdokumentation och märkning (identitet). Den visuella kontrollen genomförs för att kontrollera att kapslarna inte har fått några ytliga skador under transporten och att det inte förekommer främmande material i insatserna.

**K14 Inplacering av bränsle i kapslarna.** Varje kapsel fylls med bränsle enligt en driftorder som innehåller information om vilka bränsleelement som ska placeras i den och vilka eventuella distanser som ska sättas in i insatsen. När bränslet har placerats i kapseln försluts insatsen med sitt stållock. Kapseln flyttas därefter till förslutningskedjan.

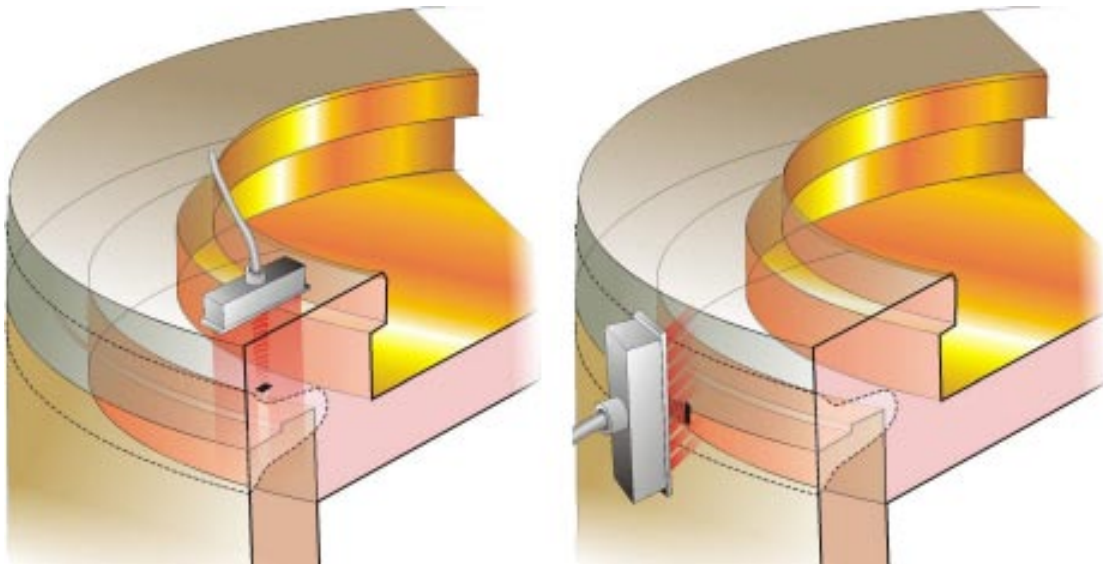
**K15 Förslutning av kapsel genom svetsning av lock.** Den första stationen i förslutningskedjan är en prepareringscell. Vid denna station vakuumsugs luften ut ur insatsen via en ventil och luften ersätts med argon. Denna åtgärd hindrar uppkomsten av korroderande ämnen som kan bildas av luft och kvarvarande fukt, t ex salpetersyra. Atmosfärsbytet kontrolleras genom att ytterligare en vakuumsugning görs och argoninnehållet mäts, därefter fyller man på med argon igen. Den här kontrollen verifierar också att insatsen är tät.

Kapseln förs till svetsstationen där kapslarna försluts genom att kopparlocken svetsas fast med friktionssvetsning (friction stir welding, FSW), se figur 7-3. FSW är en termomekanisk fasttillståndsprcess, dvs inte en smältsvetsmetod. Detta innebär att de materialförändringar som uppstår vid smältsvetsning såsom korntillväxt och segringsfenomen kan undvikas. Den resulterande strukturen i svetsen liknar den som fås vid varmformning av kapselns kopparkomponenter.

Svetsning med FSW ska ske så att alla processparametrar överensstämmer med framtagna specifikation. Detta borgar för en god kvalitet i svetsarna, men kvaliteten kommer också att kontrolleras med kvalificerad oförstörande provning för att verifiera att svetsarna inte har några diskontinuiteter som har betydelse för den långsiktiga funktionen.



**Figur 7-3.** Svetsning med friction stir welding (FSW). (a) principen för FSW, (b) det roterande verktyget, (c) svetsprocessen styrs och övervakas via en manöverpanel, (d) svetsen ger en materialstruktur i svetsgodset som liknar grundstrukturen i kopparkomponenterna.



**Figur 7-4.** Princip för oförstörande provning av svetsen (FSW) med hjälp av ultraljud.

Bearbetning och oförstörande provning av svetsen sker i två separata stationer. Först kontrolleras fogen med oförstörande provning. Vid godkänt resultat görs en slutlig maskinbearbetning då överskottsmaterial på kapseln bearbetas bort.

Därefter görs slutkontroll genom oförstörande provning med både röntgen och ultraljud, se figur 7-4. Efter godkännande förs kapseln till kontamineringskontroll.

Om svetsen blir underkänd vid den oförstörande provningen men innehåller diskontinuiteter som bedöms kunna repareras förs kapseln tillbaka till svetsstationen där den svetsas om. Därefter kontrolleras svetsens kvalitet på nytt. I de fall då svetsen ej går att åtgärda genom omsvetsning skärs kopparlocket upp i stationen för bearbetning. Kapseln förs till hanteringscellen där bränslet lastas över i en tom transportkassett. Insatsen kan troligen återanvändas medan kopparn efter dekontaminering skickas till återvinning. De urlastade bränsleelementen i hanteringscellen lastas över i en ny kapsel.

Inga kapslar med bränsle har provtillverkats, däremot har delmoment som är viktiga för den långsiktiga säkerheten provats. I Clab genomförs tester och utvecklingsarbete för resteffektbestämning av bränsle. Avseende atmosfärsbytet i insatsen visar de prov som gjorts att redan efter första påfyllningen med argon erhålls tillräckligt atmosfärsbyte. Totalt har ett 50-tal lock- och botten svetsar med FSW genomförts. Svetsprocessen har optimerats så att processparametrar kunnat fastställas som ger ett stabilt svetsresultat med ett fåtal diskontinuiteter på maximalt någon eller några millimeter /41/.

**K16 Placering av kapslar i transportbehållare.** När kapslarna förslutits förs de till dekontamineringsstationen. Här tas strykprover för att kontrollera eventuell ytkontaminering. Vid behov dekontamineras de, varpå nya strykprover tas. Därefter genomförs slutinspektion och all dokumentation som redogör för kapselns innehåll av bränsleelement och kapselns egenskaper etc sammanställs. Kapslarna placeras slutligen i transportbehållare för transport till slutförvaret.

### **Sammanfattning av kontrollpunkter för inkapslingsprocessen**

De kontrollpunkter K1 till K16 som beskrivs relativt detaljerat i denna rapport är sammanställda och sammanfattade i tabell 7-1.



**Tabell 7-1. Sammanfattning av planerade kontroller samt åtgärder vid avvikelser (samtliga kontroller dokumenteras).**

	Beskrivning av kontroller	Åtgärder vid avvikelser
<b>Leverantörer av kapselkomponenter</b>		
<b>Tillverkning av insatser</b>		
K1	Processparametrar, dimensioner, mekaniska egenskaper (bland annat dragprover), materialstruktur, oförstörande provning, identifikation	Delmoment i tillverkning görs om, om detta är möjligt, annars kassation
<b>Tillverkning av kopparämnena</b>		
K2	Kemisk sammansättning, dimensioner, vikt samt visuell inspektion, identifikation	Eventuellt kassation beroende på avvikelserns art.
<b>Tillverkning av kopparkomponenter</b>		
K3	Mottagningskontroll av kopparämnena	Utredning av orsak, avvikelshantering.
K4	Processparametrar, dimensioner, mekaniska egenskaper (dragprover), materialstruktur, oförstörande provning, identifikation	Delmoment i tillverkning görs om, om detta är möjligt, annars kassation
<b>Kapselbruk</b>		
<b>Färdigbearbetning av insatser</b>		
K5	Mottagningskontroll av insatser	
K6	Dimensioner, visuell inspektion (yta och renhet), kvalificerad oförstörande provning, identifikation	Icke godkända produkter kasseras och material kan återgå till komponentleverantör. Möjlighet till korrigerande åtgärder kan övervägas
<b>Färdigbearbetning av kopparkomponenter och svetsning av botten</b>		
K7	Mottagningskontroll av kopparkomponenter	Utredning av orsak, avvikelshantering.
K8	Dimensioner, visuell inspektion (yta och renhet), kvalificerad oförstörande provning, identifikation	Icke godkända produkter kasseras och material kan återgå till komponentleverantör. Möjlighet till korrigerande åtgärder kan övervägas
K9	Processparametrar för svetsning, kvalificerad oförstörande provning, identifikation	Icke godkända svetsar kasseras och material kan återgå till komponentleverantör. Möjlighet till korrigerande åtgärder kan övervägas
<b>Montering av kapsel</b>		
K10	Slutlig inspektion av monterade kapslar	Utredning av orsak, avvikelshantering.
<b>Clab</b>		
<b>Bränslehantering</b>		
K11	Identifikation av bränsleelement, beräkning av resteffekt	Utredning om orsak, val av annat bränsleelement
<b>Inkapslingsanläggning</b>		
<b>Inplacering av bränsle i kapseln</b>		
K12	Mottagningskontroll av bränsle	Utredning av orsak, avvikelshantering.
K13	Mottagningskontroll av kapslar	Utredning av orsak, avvikelshantering.
K14	Resteffekt, torkning, argonatmosfär och insatsernas täthet	För lågt innehåll av argon – upprepade vakuumsugning och påfyllning med argon
<b>Förslutning genom svetsning av lock</b>		
K15	Processparametrar, kvalificerad oförstörande provning av svetsen	Eventuell omsvetsning, vid kvarstående avvikelse urlastning av bränsle och återvinning av materialet
<b>Placering av kapsel i transportbehållare</b>		
K16	Ytkontaminering, slutlig inspektion av färdiga kapslar med använt kärnbränsle	Rengöring

## 7.4 Kommentarer rörande deponering och återfyllning

I tabellerna nedan beskrivs de kontrollpunkter som ej behandlats i avsnitt 7.3, samtliga med referens till figur 7-1. Några detaljerade uppgifter avseende kontrollernas genomförande eller utrustning för desamma ges inte här utan hänskjuts till tiden för ansökan om slutförvaret. Enbart kontrollens syfte samt åtgärd om kontrollen ger negativt resultat anges. Redovisningen är preliminär i avvaktan på att kvalitetsstyrningen i slutförvarsanläggningen ska tas fram i sin helhet.

De tre tabellerna nedan avser dels resterande punkter i kapsellinjen (tabell 7-2), dels hela buffertlinjen (tabell 7-3) och hela återfyllningslinjen (tabell 7-4). (Som framgick av figur 6-1 redovisas återfyllningen enbart för fallet med lera beroende på att berg och bergmassor ej inkluderas i denna rapport.)

**Tabell 7-2. Översikt av planerade kontroller i kapsellinjen efter att kapseln anlänt till slutförvarsanläggningen.**

Beskrivning av kontroller	Åtgärder vid avvikelser
<b>Kontroller ovan mark</b>	
<b>Temporär uppställning av transportbehållare</b>	
K17 Administrativ mottagningskontroll av transportbehållare	
<b>Kontroller under mark</b>	
<b>Omlastning av kapsel till strålskärmsstub</b>	
K18 Administrativ mottagningskontroll av transportbehållare	
K19 Kontroll av kapsel med hänsyn till eventuella transportskador, identifikation av kapsel	Skador: Kapseln återsänds till inkaplingsanläggning. Fel identitet: Dokumentationskontroll.
<b>Omlastning till deponeringsmaskin</b>	
K20 Administrativ kontroll	
<b>Nedsättning av kapsel i deponeringshål</b>	
K21 Administrativ kontroll av kapselns identitet. Verifieras med foto	

**Tabell 7-3. Översikt av planerade kontroller i buffertlinjen.**

	Beskrivning av kontroller	Åtgärder vid avvikelser
<b>Leverantör av bentonit</b>		
	<b>Leverans av bentonit för buffert</b>	
B1	Kvalitetskontroll hos leverantör	Leverans stoppas
<b>Kontroller ovan mark vid slutförvarsanläggningen</b>		
	<b>Mottagning och lagring av bentonit</b>	
B2	Administrativ mottagningskontroll ev med stickprov	
	<b>Tillverkning av block av bentonit</b>	
B3	Administrativ mottagningskontroll	
B4	Kontroll av dimensioner, densitet, fukthalt, skador	Återsänds till produktionsprocessen
<b>Kontroller under mark vid slutförvarsanläggningen</b>		
	<b>Installation av bentonitblock i deponeringshål</b>	
B5	Administrativ mottagningskontroll vid lastning av block på utläggningsmaskin	
B6	Kontroll av skador. Stapelns höjd och rakhet samt spalter	Skadade delar tas upp och sänds till produktionsprocessen.
	<b>Installation av bentonitblock över kapseln</b>	
B7	Administrativ mottagningskontroll vid lastning av block på utläggningsmaskin	
B8	Kontroll att blocket (-en) läggs tätt mot bentonitring och kapsel. Fel höjd: block byts ut.	
<b>Kontroller avseende bentonitblock i pluggar</b>		
	<b>Tätning av betongplugg i deponeringstunnel</b>	
B9	Administrativ mottagningskontroll	
B10	Visuell kontroll av montage ev. med foto	

**Tabell 7-4. Översikt av planerade kontroller i återfyllningslinjen (lerlinjen).**

	Beskrivning av kontroller	Åtgärder vid avvikelser
<b>Leverantör av lera till återfyllning</b>		
	<b>Leverans av lera för återfyllning</b>	
L1	Kvalitetskontroll hos leverantör	Leverans stoppas
<b>Kontroller ovan mark vid slutförvarsanläggningen</b>		
	<b>Mottagning och lagring av lera</b>	
L2	Administrativ mottagningskontroll	
	<b>Tillverkning av block av lera</b>	
L3	Administrativ mottagningskontroll	
L4	Kontroll av dimensioner, densitet, fukthalt, skador	Återgång till produktionsprocessen
<b>Kontroller under mark vid slutförvarsanläggningen</b>		
	<b>Återfyllning av deponeringstunnel</b>	
L5	Visuell kontroll av att blocken ligger rätt och med erforderlig täthet, ev med foto, samt visuell kontroll av packning med grannulat i utrymme under tak samt i spalter	

## 8 Referensutformningen – en plattform för fortsatt utveckling

Som nämndes i kapitel 2 är referensutformningen av KBS-3-systemet en beskrivning av den tänkta utformningen av olika delar av systemet kopplade till en viss tidpunkt. I takt med att den tekniska utvecklingen drivs framåt och projekteringen stegvis avancerar kommer systemet att förändras. Ökad kunskap om processer och skeenden kommer att ge underlag till förbättringar av tekniska lösningar och kanske idéer eller uppslag till nya. Likaså utvecklingen av de modeller som syftar till att beskriva berget, den fysiska miljön och olika processer. Dessutom kommer möjligheter till förbättringar av den långsiktiga säkerheten alltid att tas till vara om de ligger inom rimliga gränser.

Vissa förändringar kan påverka utformningen av systemet i det utvecklings- och projekteringsarbete som återstår fram till driftsättning av systemet i sin helhet. Andra förändringar kan infalla betydligt senare som en följd av förändrade yttre förutsättningar och krav eller som internt framdrivna förändringar med syfte att ge ökad säkerhet för personal och omgivning eller för att dra nytta av erfarenheten från driften och öka effektiviteten i hanteringen.

Förändringar i **det pågående** utvecklings- och projekteringskedet behandlas inte i denna rapport av det skälet att de nästan uteslutande berör slutförvarsanläggningen och därmed kommer att tas upp vid nästa ansökan. Samma gäller för **slutförvaret i framtiden** efter driftsättningen då nya tekniker för berggutttag och alternativa kapselpositioneringar kan komma att diskuteras.

Detta kapitel handlar om förändringar som kan komma att genomföras efter att alla tillstånd erhållits och den rutinmässiga driften inletts och som kan ha påverkan på inkapslingsprocessen.

Först några ord om vilket utrymme för förändringar av systemet som implicit ligger i KBS-3-metoden.

### **Allmänt om frihet att förändra systemet**

Vilka förändringar i KBS-3-systemet kan man göra utan att KBS-3-metoden överges? För att finna svaret på den frågan kan vi gå tillbaka till definitionen av metoden. I kapitel 1 ställdes den upp som en förklaring i figur 1-1.

Barriärprincipen gäller vilken bygger på:

- att det använda kärnbränslet kapslas in i vattentäta och lastbärande kapslar,
- att kapslarna deponeras i kristallint berg på ett djup av 400 till 700 m,
- att de deponerade kapslarna omges av en buffert som hindrar vattenflöde och skyddar kapslarna,
- att de utrymmen i berget som krävs för att genomföra deponeringen återfylls.

En förändring i den nuvarande referensutformningen eller i framtiden som inte strider mot dessa principer ryms inom KBS-3-systemet.

En förändring från en utformning till en annan ska innebära ett vidmakthållande av den långsiktiga säkerheten (systemets övergripande syfte) eller om möjligt leda till en förbättring av denna. Ser vi tillbaka på den historiska utvecklingen, som i kapitel 4, finner vi också att utvecklingen har följt denna princip.

Prövningen av systemets utformning är inte enbart relaterat till KBS-3-metoden som sådan utan även till bedömningsgrunder med förankring i annan lagstiftning än kärntekniklagen. För en djupare analys av möjliga frihetsgrader inom en framtida tillståndsgivning hänvisas därför till ansökan för Clab och inkapslingsanläggningen och senare för slutförvaret.

### **Möjliga förändringar med betydelse för inkapslingsprocessen**

De framtida förändringar som kan komma att beröra inkapslingsanläggningen är troligen få. I första hand förändringar i kapselns utformning eller innehåll men med tanke på den långa tid som anläggningen ska vara i drift även teknikutveckling inom svetsning och provning. Här kan det vara värt att påminna om att förändringar i kapselns utformning liksom i andra delar av KBS-3-förvaret med långsiktig betydelse (den så kallade produkten) främst hanteras inom säkerhetsanalysen, i SR-Can /3/ och senare i SR-Site.

Förändringar i utformningen av kapseln kan avse dimensioner, tjockleken av kopparhöljet, strålningsnivå, val av material m m. Förändringar i kapseln kan få återverkningar på inkapslingsanläggningen i någon form, såväl på byggnaden som på de hanteringssystem som finns. Men en sådan påverkan är trots allt tämligen trivial. Ombyggnader och nyinvesteringar som blir en konsekvens av ändringen utgör en kostnad men inte mer och denna kostnad kommer naturligt att vägas in om ett beslut om förändrad kapselutformning ska tas. Detta oavsett om motivet bakom kapselns förändring är att åstadkomma en effektivisering eller en anpassning till en ny typ av bränsle eller om den i övrigt är motiverad med hänsyn till den långsiktiga säkerheten.

En avvikelse från dagens referensscenario som med all sannolikhet kommer att falla ut är att andra bränslemängder än de antagna kommer att gälla. Dagens referensutformning är baserad på 4 500 kapslar, men det är inte osannolikt att mycket större mängder kan komma att aktualiseras. Jämför med diagrammet i kapitel 3, figur 3-3. Men även här saknar förändringen en principiell betydelse och representeras enbart av en förlängd drifttid med kostnader för renovering och uppgradering av systemen samt ett ökat byggnadsunderhåll.

Slutligen kan man ta upp deponeringstakten som i sin tur styr takten i kapseltillverkningen och inkapslingen. I referensutformningen i dag ligger denna på ett årsmedelvärde av 160 kapslar. I framtiden kan denna takt komma att minska men också öka. (Anläggningen är dimensionerad för 200 kapslar per år. En ökning utöver detta kräver omfattande investeringar.) Även här torde det vara de ekonomiska övervägandena som styr. En minskad deponeringstakt skulle kunna motiveras av en önskan att ge bränslet en längre lagringstid och därmed under hela driftperioden kunna fylla kapslarna maximalt utan att riskera att kraven på en viss högsta värmeavgivning överskrids. En ökning, å andra sidan, skulle till exempel kunna motiveras av att en sammanhållen senareläggning av inkapslingen följd av en forcerad drift skulle kunna innebära en optimering av tidsplanen med hänsyn till finansieringssystemet och avkastningen i kärnavfallsfonden.

Till ämnet deponeringstakt kan vi även räkna kortare eller längre avbrott i deponeringen i slutförvaret liksom återtag av kapslar, enstaka eller i större mängd. Det finns en direkt koppling mellan produktionen i inkapslingsanläggningen och deponeringen av den anledningen att uppbyggnad av lager med färdiga kapslar ej sker. På samma sätt förutsätter vi att om återtag ska ske, och om kapseln eller kapslarna behöver tas in i inkapslingsläggningen för provning eller för att åtgärdas, så kommer även detta att ske synkront.

Sammanfattningsvis bedöms det som osannolikt att inkapslingsanläggningen i framtiden skulle komma att genomgå stora förändringar av sådan art att de skulle klassas som varianter av KBS-3-systemet. Frihetsgrader och framtida möjliga förändringar av slutförvarsanläggningen kommer, som tidigare nämnts, att diskuteras vid ansökan om slutförvaret.

## Referenser

- /1/ **SKB, 2000.** Systemanalys, Val av strategi och system för omhändertagande av använt kärnbränsle. SKB R-00-32, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /2/ **SKB, 2006.** Ansökansplan för inkapslingsanläggningen och slutförvaret för använt kärnbränsle. SKB R-06-50, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /3/ **SKB, 2006.** Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar - a first evaluation. Main Report of the SR-Can project. SKB TR-06-09, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /4/ **SKB, 2006.** Ansökan – Inkapslingsanläggningen, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /5/ **SKB, 2006.** Plan 2006. Kostnader för kärnkraftens radioaktiva restprodukter. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /6/ **Clab,** Centralt mellanlager för använt kärnbränsle, Slutlig säkerhetsrapport, Block 8 A1 SSR allmän del.
- /7/ **SKB, 1999.** Djupförvar för använt kärnbränsle. SR 97 – Säkerheten efter förslutning. Huvudrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /8/ **SKB, 1998.** Säkerheten vid drift av djupförvaret. SKB R-98-13, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /9/ **SKBF/KBS, 1977.** Kärnbränslecykelns slutsteg. Förglasat avfall från upparbetning – KBS-1. Del I–V. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.
- /10/ **SKBF/KBS, 1978.** Kärnbränslecykelns slutsteg. Slutförvaring av använt kärnbränsle – KBS-2. Del I–II. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.
- /11/ **SKBF/KBS, 1983.** Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle – KBS-3. Del I–IV. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.
- /12/ **SFS 1984:3.** Lagen om kärnteknisk verksamhet.
- /13/ **Sten Kjellman, 2000.** Det svenska kärnavfallsprogrammet. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /14/ **Betänkande av Aka-utredningen, 1976.** Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall Del I–II (SOU 1976:30 och 31) samt bilaga (SOU 1976:41)
- /15/ **SKB, 1986.** FoU-Program 86. Kärnavfalllets behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling och övriga åtgärder. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /16/ **SKB, 1986.** FoU-Program 86. Kärnavfalllets behandling och slutförvaring. Underlagsrapport till FoU-program 86. Alternativa slutförvaringsmetoder. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /17/ **SKB, 1989.** FoU-Program 89. Kärnavfalllets behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling och övriga åtgärder. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /18/ **SKB, 1992.** Fud-Program 92. Kärnavfalllets behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling, demonstration och övriga åtgärder. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /19/ **SKB, 1992.** SKB 91 – Slutlig förvaring av använt kärnbränsle. Bergrundens betydelse för säkerheten. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /20/ **SKB, 1992.** PASS – Projekt AlternativStudier för Slutförvar. Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /21/ **SKB, 1994.** Fud-Program 92 – Kompletterande redovisning. Kärnavfalllets behandling och slutförvaring. Komplettering till 1992 års program sammanställd med anledning av regeringsbeslut 1993-12-16. Svensk Kärnbränslehantering AB.

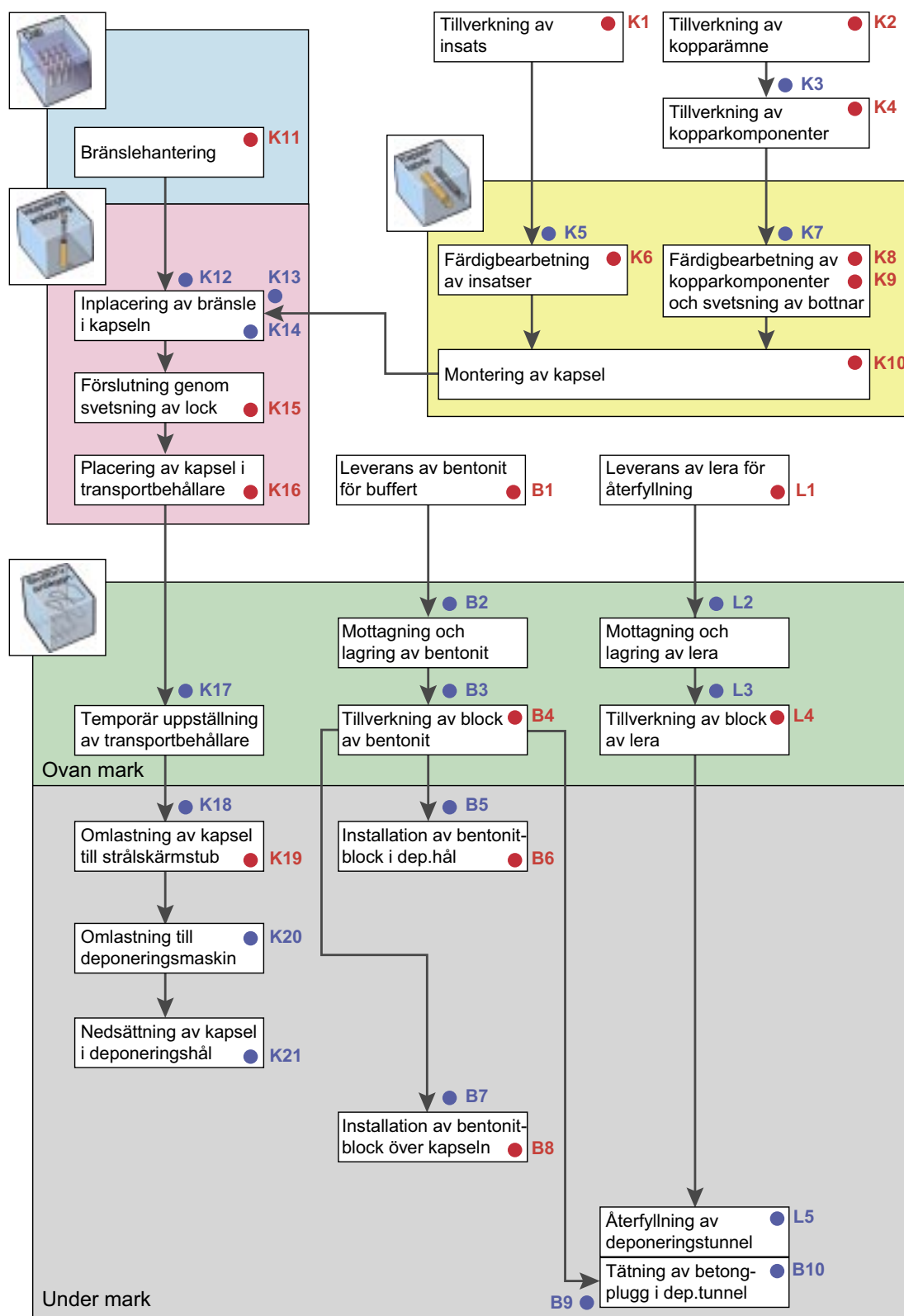
- /22/ **SKB, 1995.** Fud-Program 95. Kärnavfallets behandling och slutförvaring. Program för inkapsling, geologisk förvaring samt forskning, utveckling, demonstration. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /23/ **SKB, 1998.** Fud-Program 98. Kärnavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning samt utveckling, demonstration av inkapsling och geologisk förvaring. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /24/ **SKB, 2000.** Fud-K. Samlad redovisning av metod, platsval och program inför platsundersökningsskedet. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /25/ **SKB, 2001.** Fud-Program 2001. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /26/ **SKB, 2004.** Fud-Program 2004. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall, inklusive samhällsforskning. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /27/ **SKB, 1995.** SR 95. Mall för säkerhetsrapporter med beskrivande exempel. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /28/ **L Werme, J Eriksson, 1995. TR 95-02.** Copper canister with cast inner component. Amendment to project on Alternative Systems Study (PASS), SKB TR 93-04. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /29/ **L Werme, 1998.** Konstruktionsförutsättningar för kapsel för använt kärnbränsle. SKB R-98-08, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /30/ **SKB, 2006.** Ansökan bilaga I – Inkapslingsanläggningen – Verksamheten och de allmänna hänsynsreglerna. INKARAPP4.060629. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /31/ **R Johansson, 2006.** Lokalisering av slutförvaret för använt kärnbränsle. En översikt av trettio års arbete. SKB R-06-42, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /32/ **SKI, 2002.** SKI Rapport 02:9. SKI:s yttrande över SKB:s redovisning av Fud-program 2001. Statens kärnkraftinspektion.
- /33/ **SKI, 2005.** SKI Rapport 2005:31. SKI:s yttrande över SKB:s redovisning av Fud-program 2004. Statens kärnkraftinspektion.
- /34/ **SKB, 2006.** Kapsel för använt bränsle. Tillverkning av kapselkomponenter. SKB R-06-03, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /35/ **SKB, 2006.** Kapsel för använt bränsle. Konstruktionsförutsättningar. SKB R-06-02, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /36/ **Dillström P, 2005.** Probabilistic analysis of canister inserts for spent nuclear fuel. SKB TR-05-19, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /37/ **SKB, 2006.** Deep repository – engineered barrier systems. Assessment of backfill materials and methods for deposition tunnels. SKB R-06-71, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /38/ **SKB, 2006.** Kapsel för använt kärnbränsle. Program för kvalificering av tillverkning och förslutning. SKB R-06-07, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /39/ **SKB, 2005.** Kapseltillverkning. Kvalitetshandbok (pärm 1). Ritningar Specifikationer Rutiner (pärm 2). Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /40/ **Ronneteg U, Cederqvist L, Rydén H, Öberg T, Müller Ch, 2006.** Reliability in sealing of canister for spent nuclear fuel. SKB R-06-26, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /41/ **SKB, 2006.** Kapsel för använt kärnbränsle. Svetsning vid tillverkning och förslutning. SKB R-06-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.

## Olika typer av bränsle som är godkända för förvaring i Clab

Reaktortyp	Bränsletyp	Anmärkning	
BWR	AA 8x8-1	Standard, en vattenstav	
	AA 8x8-4	Standard, fyra vattenstavar	
	AA 8x8-4	F3	
	AA 8x8-4	Standard utan box	
	Exxon 8x8-1	Standard, en vattenstav	
	Exxon 8x8-1	Standard, en zirkaloystav	
	Exxon 8x8-4	Standard, fyra vattenstavar	
	Exxon 8x8-4	Standard, fyra zirkaloystavar	
	KWU 8x8-2	Standard, två vattenstavar	
	KWU 8x8-2	Standard, utan box,	
	KWU 8x8-2	F1,	
	ANF 9x9-5	B1	
	KWU 9x9-5	Standard F1	
	KWU 9x9-5	Standard F1, utan box	
	KWU 9x9-5	O1	
	KWU 9x9-Q	F1	
	KWU 9x9-Q	F1, utan box	
	KWU 9x9-Q	O1	
	SVEA 64	Standard	
	SVEA 64	O2	
	SVEA 64	O3	
	SVEA 96	Standard	
	SVEA 100	O3	
	PWR	W 15x15	R2 Spridare 788 g inconel
		W 17x17	R3/4 Spridare 617 g inconel, 136 g rostfritt stål
KWU 15x15		R2 Spridare 65 g inconel, 1 340 g zirkaloy-4	
F 17x17		R3 Spridare 104 g inconel, 679 g zirkaloy-4	
AA 17x17		R3 Spridare 1 220 g zirkaloy-4	
Ågesta	Ågesta 19	Atomenergi	
	Ågesta 5x5	AA	
MOX	AA MOX	O1 (3 st)	
	GE 6x6	Obrigheim	
	GE 6x6	test Versuchatomkraftwerk Kahl	
	S 14x14	RB, Gundremmingen	
	S37	MZFR (Mehrzwecksforschungsreaktor)	
Tillkommande MOX	BWR 10x10	80 BWR-element	



Schema med kontrollpunkter



- Kontroll genom provning och dokumentering
- Kontroll av kvalitetsdokumentation

- K1** Kvalitetsrutin "kapsellinjen"
- B1** Kvalitetsrutin "buffertlinjen"
- L1** Kvalitetsrutin "återfyllningslinjen (lerlinjen)"