

**R-00-31**

# Vad händer om det inte byggs något djupförvar?

## Nollalternativet – förlängd mellanlagring i CLAB

Svensk Kärnbränslehantering AB

September 2000

**Svensk Kärnbränslehantering AB**

Swedish Nuclear Fuel  
and Waste Management Co

Box 5864

SE-102 40 Stockholm Sweden

Tel 08-459 84 00

+46 8 459 84 00

Fax 08-661 57 19

+46 8 661 57 19



# **Vad händer om det inte byggs något djupförvar?**

## **Nollalternativet – förlängd mellanlagring i CLAB**

Svensk Kärnbränslehantering AB

September 2000

# Förord

Projekt Nollalternativet initierades i januari 2000, som följd av regeringens beslut angående SKB:s FUD-program 98. I det beslutet krävde regeringen bl a att SKB ska ”komplettera analysen av alternativa systemutformningar. I första hand skall belysas innebörden av nollalternativet (en beskrivning av att den planerade åtgärden inte kommer till stånd).”

Detta projekt har utförts av Kristina Gillin och Erik Söderman. Det tekniska innehållet grundar sig, i huvudsak, på rapporter skrivna av Lars Birgersson, Bertil Grundfelt och Karin Pers, Kemakta samt Erik Söderman, ES-Konsult.



Kristina Gillin  
Projektledare  
Inkapslingsteknik, SKB

# Sammanfattning

Enligt kärntekniklagen ska den som har tillstånd till kärnteknisk verksamhet svara för att de åtgärder vidtas som behövs för ”att på ett säkert sätt hantera och slutförvara i verksamheten uppkommet kärnavfall eller däri uppkommet kärnämne som inte används på nytt”. För att uppfylla detta krav har SKB tagit fram en metod som innebär att det använda kärnbränslet placeras i ett djupförvar.

När ansökan om att få bygga djupförvaret lämnas in måste, enligt miljöbalken, en beskrivning ges av ”konsekvenserna av att verksamheten eller åtgärden inte kommer till stånd” – det s k nollalternativet. För djupförvarsprojektet innebär nollalternativet att det använda bränslet fortsätter att lagras i CLAB, eftersom det är där det lagras i dag.

I kärnavfallsdebatten är det många som likställer nollalternativet med alternativet övervakad lagring under en längre tid. Övervakad lagring kan möjligen vara ett alternativ under en första period (storleksordningen hundratals år), men kan aldrig bli en permanent lösning, bl a på grund av nästa istid. Ordet ”nollalternativ” är därför något missvisande.

Enligt Boverket är nollalternativet inte heller ”ett ’genomförandalternativ’ i den bemärkelsen att det behöver vara en önskvärd utveckling. Beteckningen alternativ i ’nollalternativ’ kan därför leda tanken fel.” De skriver vidare att nollalternativet ”ger en referensram att ställa projektförslaget mot, genom att förutsäga den framtida utvecklingen om projektet inte skulle genomföras”.

För att undersöka de tekniska förutsättningarna för nollalternativet har SKB låtit studera möjligheten att förlänga lagringstiden i CLAB från den planerade drifttiden på ca 60 år till 100–200 år. En grundläggande förutsättning i den studien är att drift och underhåll uppfyller samma kvalitetskrav som i dag, så att vattenkemin och miljön i förvaringsdelen kan upprätthållas enligt gällande specifikationer.

Byggnadskonstruktionerna i förvaringsdelen bedöms, enligt den studien, i huvudsak ha en livslängd om 200 år. Ett uppföljningsprogram som kan visa reparations- och renoveringsbehov skulle dock krävas.

Bergförstärkningar kan inte med dagens kunskap förutsägas ha en livslängd om 200 år. Detsamma gäller infästningsbultar för innertak och installationer. Om lagringstiden i CLAB förlängs måste uppföljningsprogram för dessa delar upprättas och vissa konstruktionsdelar bytas ut.

Installationer och hanteringsutrustning har i regel begränsad livslängd, men kan bytas ut och moderniseras. Detsamma gäller el- och kontrollutrustning. Modernisering och byte av sådana komponenter görs redan i dag.

Bränsleelementen och lagrade aktiva reaktorkomponenter bedöms, enligt svenska och internationella erfarenheter, kunna lagras i CLAB:s bassänger i mer än 200 år utan att skadas, under förutsättning att kvaliteten på vattnet uppfyller gällande specifikationer.

Eftersom bränslets radioaktivitet och resteffekt avtar med tiden blir konsekvenserna av ett eventuellt missöde betydligt lindrigare, än om samma missöde skulle inträffa i dag. Även svårare missöden, som kunde uppstå på grund av åldring, får därigenom begränsade omgivningskonsekvenser.

Så länge vi har det samhälle som vi har i dag kan vi alltså förutsätta att CLAB, med vissa insatser, kan drivas vidare på ett säkert sätt i 100 år eller mer. Men om CLAB måste överges, på grund av t ex krig eller miljökatastrofer, kan konsekvenserna bli allvarliga.

Om CLAB överges uppstår dock inga omedelbara faror. Även om kylningen helt skulle upphöra så finns det tillräckligt med vatten i bassängerna för att det skulle dröja mer än en månad innan så mycket vatten har avdunstat att bränslet friläggs. Men har man till dess inte fyllt på med mer vatten så stiger temperaturen, vilket kan leda till bränsleskador. Om anläggningen är torrlagd och bränsleskador uppstått kan radioaktiva isotoper frigöras och spridas till omgivningen via atmosfären; när bassängerna har återfyllts kan aktivitet även spridas ut i grundvattnet. Stråldoserna till personer som antas befinna sig i närheten av den övergivna anläggningen kan i värsta fall bli i storleksordningen 10–100 mSv/år.

En annan konsekvens av ett övergivande är att själva anläggningen kan komma att kontamineras i sådan utsträckning att det, vid en senare tidpunkt, skulle bli mycket svårt att återta kontrollen och flytta bränslet till en säkrare plats. Om människor letar sig ner i det övergivna bergrummet kan de komma att utsättas för mycket höga stråldoser.

CLAB kan bara torrläggas om mer vatten avdunstar på grund av uppvärmningen från bränslet än vad som strömmar in i anläggningen från det omgivande berget. Om ca 250 år har bränslets resteffekt minskat så mycket att CLAB inte längre skulle kunna koka torrt. Tidpunkten för övergivandet är alltså avgörande för vilka konsekvenser som uppstår. Konsekvenserna avgörs också av om anläggningen måste överges omedelbart eller om man får en viss förvarning. Ju längre tid personalen får på sig, desto mer omfattande åtgärder kan de vidta för att minska utsläppen till omgivningen.

En allvarlig konsekvens av nollalternativet är att den kompetens som nu finns, vad gäller det planerade systemet för slutförvaring, skulle riskera att försvinna. Denna aspekt tar även KASAM upp: ”utvecklingen av en fruktbar idé till en mogen, utprovad teknik tar decennier, när tekniken ska fylla de anspråk som ställs på hantering och slutförvaring av högaktivt avfall. Under tiden hinner den kompetens inom kärnavfallsområdet som nu finns hos myndigheter, kärnkraftföretag, SKB, universitet och konsulter att skingras. Om dessutom kärnkraften avvecklats under tiden och avfallsarbetet satts på sparlåga blir arbetsområdet ointressant och får ingen nyrekrytering. Engagemang, överblick och detaljkunskaper finns nu. Att riskera att avveckla denna resurs är ett dåligt alternativ.”

Ur finansieringssynpunkt är en senareläggning av djupförvarsprojektet troligen fördelaktig.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Bakgrund</b>	9
<b>2</b>	<b>Är nollalternativet ett alternativ?</b>	11
<b>3</b>	<b>Kort beskrivning av CLAB</b>	13
<b>4</b>	<b>Förlängd mellanlagring i CLAB</b>	17
4.1	Bränslet och lagrade aktiva reaktorkomponenter	17
4.1.1	Fenomen som påverkar livslängden	18
4.1.2	Underhålls- och reparationsmöjligheter	19
4.2	Installationer och system	20
4.2.1	Fenomen som påverkar livslängden	20
4.2.2	Underhålls- och reparationsmöjligheter	20
4.3	Bergrum och byggnadskonstruktioner	21
4.3.1	Fenomen som påverkar livslängden	21
4.3.2	Tänkbara skadefall	23
4.3.3	Inspektions-, provnings- och reparationsmöjligheter	24
<b>5</b>	<b>Missödesanalys</b>	25
5.1	Förutsättningar vid missödesanalysen	25
5.1.1	Aktivitetssinnehall	25
5.1.2	Resteffekt	26
5.1.3	Analyserade fall	27
5.2	Riskbedömning	28
5.2.1	Försämrad miljö i vatten eller luft	28
5.2.2	Helt utebliven kylning av bränslet	28
5.2.3	Kriticitet	29
5.2.4	Mekaniska skador på bränslet	29
5.2.5	Förlust av allt vatten i bassängerna	30
5.2.6	Yttre händelser	30
5.2.7	Övergivet CLAB	30
<b>6</b>	<b>Övriga konsekvenser</b>	35
6.1	Icke kärntekniska miljökonsekvenser	35
6.2	Förlorad kompetens	35
6.3	Konsekvenser för kostnader och finansiering	36
<b>7</b>	<b>Slutsatser</b>	37
	<b>Referenser</b>	39

# 1 Bakgrund

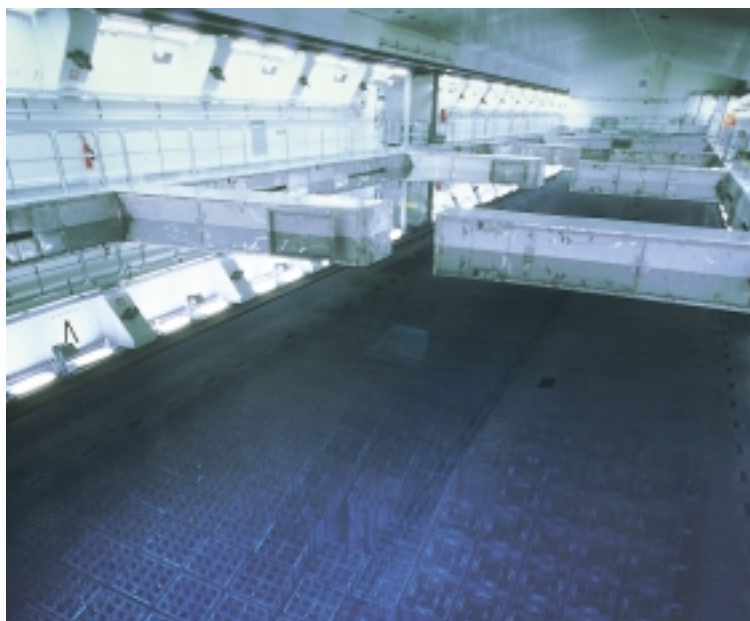
I den tillståndsansökan som SKB planerar att lämna in för att få bygga ett djupförvar måste det ingå en miljökonsekvensbeskrivning. Enligt miljöbalken ska en miljökonsekvensbeskrivning bl a innehålla: "en beskrivning av konsekvenserna av att verksamheten eller åtgärden inte kommer till stånd". Det är detta som brukar benämnas nollalternativet.

För djupförvarsprojektet innebär nollalternativet att det använda kärnbränslet fortsätter att lagras i CLAB, eftersom det är där det mellanlagras i dag, figur 1-1.

I samband med FUD-program 98 /1/ och en systemredovisning av KBS-3-metoden /2/ redovisade SKB två rapporter som behandlade tekniska aspekter på förlängd mellanlagring i CLAB: "Kontrollerad långtidslagring i CLAB" /3/ och "Konsekvenser av ett övergivet CLAB" /4/.

Efter utvärderingen av FUD-program 98 bedömde SKI och SSI att SKB:s redovisning av nollalternativet var tillräcklig och väl underbyggd med underlagsrapporter /5/. De ansåg dock att SKB borde utarbeta en separat rapport kring nollalternativet. Regeringens beslut 2000-01-24, med anledning av SKB:s FUD-program 98, innehöll också krav på belysning av innebörden av nollalternativet.

För att uppfylla regeringens krav ges i denna rapport en samlad beskrivning av konsekvenserna av nollalternativet. Rapporten utgör till stora delar en sammanfattning av /3/ och /4/ men belyser även andra aspekter än de rent tekniska. Andra system för övervakad lagring, än det som används i CLAB, berörs ej i denna rapport utan behandlas i /6/.



**Figur 1-1.** Nollalternativet innebär att det använda bränslet fortsätter att lagras i CLAB.

## 2 Är nollalternativet ett alternativ?

Enligt kärntekniklagen ska den som har tillstånd till kärnteknisk verksamhet svara för att de åtgärder vidtas som behövs för ”att på ett säkert sätt hantera och slutförvara i verksamheten uppkommet kärnavfall eller däri uppkommet kärnämne som inte används på nytt”. För att uppfylla detta krav har SKB tagit fram en metod (KBS-3-metoden) som innebär att det använda bränslet placeras i ett djupförvar. När ansökan om att få bygga djupförvaret lämnas in måste, enligt miljöbalken, en beskrivning ges av ”konsekvenserna av att verksamheten eller åtgärden inte kommer till stånd” – det s k nollalternativet.

SKB:s nuvarande planer innebär att det använda kärnbränslet mellanlagras i CLAB i ca 30 år innan det förs över till ett djupförvar. CLAB togs i drift 1985 och är byggd för att drivas i ca 60 år. Det är tekniskt sett fullt möjligt att förlänga den planerade lagringstiden i CLAB. Nollalternativet skulle därmed, tillsvidare, kunna vara ett alternativ. Sett i ett längre perspektiv (tusentals år) kan vi dock varken förvänta oss eller begära att framtida generationer ska stå för driften av CLAB. Nollalternativet kan därför aldrig bli en permanent lösning vilket gör att ordet ”nollalternativ” kan vara missvisande.

Enligt Boverket /7/ är nollalternativet inte heller ”ett ’genomförandevalternativ’ i den bemärkelsen att det behöver vara en önskvärd utveckling. Beteckningen alternativ i ’nollalternativ’ kan därför leda tanken fel.” De skriver vidare att nollalternativet ”ger en referensram att ställa projektförslaget mot, genom att förutsäga den framtida utvecklingen om projektet inte skulle genomföras”.

I kärnavfallsdebatten är det många som likställer nollalternativet med alternativet övervakad lagring under en längre tid. Övervakad lagring kan visserligen vara ett alternativ under en första period (storleksordningen hundratals år), men kan aldrig bli en långsiktig lösning, bl a på grund av nästa istid.

Ett övergripande krav för val av strategi för hantering av använt kärnbränsle /6/ återfinns i IAEA:s avfallskonvention /8/ där det bl a står att avfallsfrågan till alla väsentliga delar ska lösas av den generation som utnyttjar elproduktionen från kärnkraftverken.

I föreskrifterna som är kopplade till kärntekniklagen står det vidare att en anläggning för slutförvar av använt kärnbränsle ska vara konstruerad så att den är säker utan övervakning och kontroll.

KASAM skriver i /9/ att långtidslagring inte kan ses som en slutlig lösning ”eftersom den förutsätter att framtida samhällen genom många generationer av beslutsfattare känner ett lika stort ansvar för kärnavfallet som vår generation gör. De måste kontinuerligt, oavsett sina egna samhällskriser och politiska prioriteringar, sörja för de ekonomiska resurser och den myndighets- och tillsynsstruktur som behövs, för att en övervakad lagring skall bli minst lika säker som den slutförvaring vår generation kan genomföra. Den förutsättningen är inte rimlig.”

Nollalternativet kan, med bakgrund av detta, inte ses som ett egentligt alternativ.



### 3 Kort beskrivning av CLAB

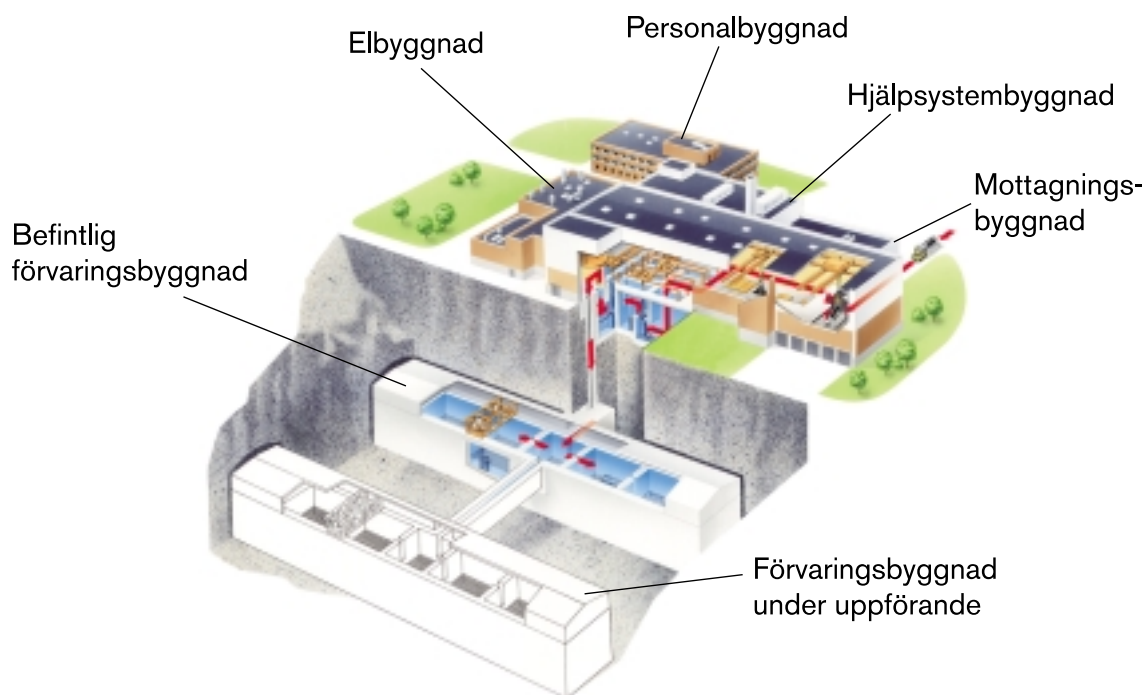
Det centrala mellanlagret för använt kärnbränsle, CLAB, ligger på Simpevarpshalvön i nära anslutning till Oskarshamns kärnkraftverk, figur 3-1. Enligt SKB:s planer ska bränslet mellanlagras där i ca 30 år innan det förs över till ett djupförvar.

CLAB består av en mottagningsdel i marknivå och en förvaringsdel som ligger i ett bergtrum med taket 20–30 meter under markytan, se figur 3-2. När transportbehållare med bränsle anländer till CLAB tas de emot i mottagningsbyggnaden. Där lastas bränsleelementen över från behållarna till speciella förvaringskassetter. Förflyttningen av bränsle sker i vattenbassänger. I anslutning till mottagningsbyggnaden finns också en personalbyggnad, elbyggnad och hjälpsystembyggnad. Kontrollrummet, som är bemannat dygnet runt, är placerat i elbyggnaden och har fönster med utsikt in i mottagningsbyggnaden. Bemanningen på CLAB motsvarar ca 100 årsarbeten.

När kassetterna har fyllts med bränsle förs de, i en vattenfylld hisskorg, ner till förvaringsbyggnaden. I förvaringsbyggnaden finns ett bassängblock med fem bassänger som sammanlagt rymmer bränsle motsvarande ca 5 000 ton uran (ton U). Vid årsskiftet 1999/00 lagrades bränsle motsvarande 3 200 ton U i CLAB. De befintliga bassängerna beräknas vara fyllda omkring år 2004. En utbyggnad av CLAB, med ytterligare ett bergtrum, pågår därför för närvarande och kommer att resultera i att CLAB sammanlagt kan lagra ca 8 000 ton U. Utbyggnaden beräknas vara klar till årsskiftet 2003/04.



**Figur 3-1.** Det centrala mellanlagret för använt kärnbränsle, CLAB, ligger i Simpevarp, strax norr om Oskarshamn.



**Figur 3-2.** CLAB består i huvudsak av en mottagningsbyggnad och förvaringsbyggnader. Dessutom finns byggnader för personal, el och hjälpsystem.

Den befintliga förvaringsbyggnaden består av en inredd bergsal som är 120 meter lång, 21 meter bred och 27 meter hög. Den utsprängda bergvolymen är ca 70 000 m<sup>3</sup>. Det nya bergrum som har sprängts ut i och med utbyggnaden av CLAB har samma mått. Nerfartstunneln till den befintliga förvaringsbyggnaden har en volym på ca 25 000 m<sup>3</sup> och de motsvarande tunnarna vid utbyggnaden uppgår till ca 30 000 m<sup>3</sup>. Den sammanlagda utsprängda volymen i CLAB:s underjordsdel är därför ca 200 000 m<sup>3</sup>.

Bergutrymmet i CLAB är relativt torrt. I den befintliga anläggningen rinner det in ca 40–50 liter vatten per minut (l/min). Under driftskedet efter utbyggnaden beräknas inläckaget bli ca 25 % större än vad det är i dag, det vill säga ca 60 l/min. Det inläckande vattnet har en sammansättning som varierar, men har en högsta kloridhalt på ca 1 g/l (Östersjövatten har en kloridhalt på 18–20 g/l).

Bergsalen i den befintliga anläggningen är inredd med ett inbyggt betongskal som upptill avslutas med ett plåttak. I salen finns ett bassängblock bestående av fyra förvaringsbassänger, som vardera är 13,8x13x18 meter, samt en mittbassäng som är 13,8x13x14 meter. Mittbassängen förbinder bassängblocket med bränslehissen och fungerar även som reservbassäng. Den mittersta delen av bassängblocket är fast förankrad mot bergsalens botten, medan de båda ändarna kan röra sig mot glidplattor som finns på stöd under bassängblocket. Vid utbyggnaden av CLAB kommer ett likadant bassängblock att byggas i det bergrum som nu har sprängts ut.

Bassängerna är invändigt klädda med rostfri plåt. För att kontrollera att svetsfogarna mellan bassängplåtarna är täta finns det ett speciellt läckagekontrollsystem. Det fungerar så att det, bakom svetsfogarna, finns kanaler som mynnar ut i uppsamlingskärl. Om ett uppsamlingskärl börjar fyllas med vatten så skickas ett larm om detta till kontrollrummet. För att vara helt säker på att bassängerna inte läcker görs även regelbundna visuella kontroller av uppsamlingskärlen. Läckagekontrollsystemet är utformat så att det, vid ett eventuellt läckage, går att ta reda på vilken svetsfog det är som läcker.

Vattnet i bassängerna är avjoniserat och cirkuleras kontinuerligt genom värmväxlare och reningsfilter. Vattnets temperatur är beroende av hur mycket bränsle som lagras i bassängerna och hur lång tid det har gått sedan bränslet togs ur reaktorn. För närvarande är vattentemperaturen ca 30°C. Förvaringsbassängerna innehåller var och en ca 3 100 m<sup>3</sup> vatten och den något mindre mittbassängen innehåller ca 2 400 m<sup>3</sup>. Efter utbyggnaden kommer det totalt att finnas ca 30 000 m<sup>3</sup> vatten i förvaringsbassängerna.

Mellan mottagningsdelen och förvaringsdelen finns det två schakt: ett för bränslehissen, och ett för personhissar, gångtrappa och ventilationskanal. I bränslehisschaktet finns det en ingjuten jordbävningssäker rörledning som kan användas för att fylla på vatten från t ex en brandbil om det, vid ett allvarligt missöde, finns risk att vattnet i bassängerna skulle koka bort.

En mer detaljerad anläggningsbeskrivning samt beskrivning av säkerhet och strålskydd m m finns i CLAB:s säkerhetsrapporter /10, 11/.

## 4 Förlängd mellanlagring i CLAB

Även om CLAB är byggd för att drivas i ca 60 år så kan den planerade drifttiden naturligtvis förlängas. Det grundläggande kravet för en fortsatt säker drift är att den höga kvaliteten på drift och underhåll som råder i dag bibehålls. En annan förutsättning är att elförsörjning, vattenförsörjning och andra servicefunktioner som i dag samordnas med OKG:s kärnkraftverk kan ordnas på ett likvärdigt sätt, även om kraftverket avvecklas.

När det gäller kärnavfall är vi ju vana vid att tala om riktigt långa – flera tusen år långa – tidsperspektiv. Att beskriva nödvändiga insatser för förlängd mellanlagring i CLAB i ett sådant tidsperspektiv är knappast meningsfullt. Det går dock att konstatera att arbetsinsatserna och därmed kostnaderna för kontroll och underhåll ökar med tiden. Om nödvändiga åtgärder till slut blir så omfattande att t ex hela bassängblock måste bytas ut kan det diskuteras om det är underhåll av en befintlig anläggning eller uppförande av en ny.

SKB har låtit studera förutsättningarna för att förlänga drifttiden till 100–200 år /3/ och detta kapitel utgör en sammanfattning av den studien. Förutsättningarna för förlängd drifttid varierar för olika delar av anläggningen. Den indelning som har använts i studien är:

- bränslet och lagrade aktiva reaktorkomponenter,
- installationer och system,
- bergrum och byggnadskonstruktioner.

Efter det att samtliga kärnkraftreaktorer har tagits ur drift kommer inget bränsle att transporteras till CLAB. Då kommer alltså endast förvaringsdelen att användas. En lämplig strategi kan, i så fall, vara att lägga mottagningsdelen i ”malpåse”, figur 4-1. För att detta ska kunna genomföras kan viss komplettering av utrustningen i förvaringsdelen behöva göras (t ex viss hanterings- och serviceutrustning).

Vid driften av CLAB uppkommer låg- och medelaktivt avfall, t ex skyddskläder, jonbytar-massor och utbytta delar. Detta driftavfall är kortlivat och transporteras i dag till Forsmark för slutförvaring. Om den planerade driftperioden förlängs fortsätter uppkomsten av radioaktivt avfall. De årliga mängderna blir dock troligen mindre än i dag, på grund av mindre hantering och lägre aktivitet på bränslet. Vid större reparationer eller andra åtgärder kan å andra sidan avfallsmängderna bli betydande.

### 4.1 Bränslet och lagrade aktiva reaktorkomponenter

Erfarenheter från lagring av använt bränsle i vattenbassänger finns i Sverige sedan 1960-talet.

Internationellt finns omfattande erfarenheter av långtidslagring /12/.



**Figur 4-1.** Om bränslet fortsätter att lagras i CLAB, även efter det att kärnkraftverken har tagits ur drift, kan det vara lämpligt att lägga mottagningsdelen i "malpåse".

#### 4.1.1 Fenomen som påverkar livslängden

Korrosionen på bränslekapslingen är mycket långsam och bromsas av det oxidskikt som byggts upp under driftperioden. Slutsatsen av erfarenheter och teoretiska beräkningar är att det inte verkar finnas några tekniska begränsningar för hur länge bränslet kan lagras i vatten, under förutsättning att lagringen sker i bassänger med kontrollerad vattenkemi /12/. Kvalitetskraven på vattnet i CLAB är i flera avseenden dessutom strängare än i många andra av de anläggningar varifrån erfarenheterna är hämtade, figur 4-2.

Övertrycket av gas i bränslestavarna och väteförekomst i kapslingen har inte heller någon påvisad effekt som kan begränsa livslängden /12/.

Relativt låg temperatur och god vattenkemi leder också till att konstruktionsmaterial i bränslet och andra aktiva komponenter får mycket låga korrosionshastigheter. I kontakt-ytor mellan olika material kan dock särskilda problem uppstå, även om inga erfarenheter pekat ut sådana vid normal vattenkemi.

Bränsle med små skador lagras ofta på samma sätt som oskadat bränsle. Men inte heller skadat bränsle väntas leda till problem, även om erfarenheterna är relativt begränsade. Efter det att aktiv gas och lösliga ämnen frigjorts sker ingen mätbar frigörelse av radioaktiva ämnen från själva bränslet.

#### 4.1.2 Underhålls- och reparationsmöjligheter

Forskning och erfarenheter pekar på att bränsle och övriga komponenter kan lagras i tidsperspektivet 100–200 år utan särskilda åtgärder. En förutsättning för detta är att bassängvattnet håller en god kvalitet. Avvikelse under kortare perioder har mindre betydelse.

Inspektioner av bränslet bör dock göras så att utvecklingen kan följas. Kontaktytor mellan bränslekapsling och konstruktionsmaterial (i t ex spridare) bör särskilt bevakas.

Bränsleelement med skador av begränsad omfattning kan placeras i särskilda skyddsboxar.



**Figur 4-2.** I den kemiska miljö som råder i vattenbassängerna i CLAB blir korrosionen på bränslet mycket långsam.

## 4.2 Installationer och system

### 4.2.1 Fenomen som påverkar livslängden

Bassängplåt, bränslekassetter och övrig bassänginredning är i huvudsak konstruerad av rostfritt material av hög kvalitet. Med gällande specifikationer för bassängvattnets kemi blir allmänkorrosionen på dessa delar mycket låg. Vid fortsatt god vattenkemi skulle, enligt konservativa bedömningar, allmänkorrosionen inte utgöra något problem ens om CLAB drivs vidare i mer än 1 000 år. Utbränningen av bor i bränslekassetternas borplåtar är obetydlig. (Borplåtarna utgör en marginal för att säkra att kriticitet, det vill säga en självunderhållande kedjereaktion, aldrig kan uppstå.)

Spaltkorrosion kan tänkas uppstå i konstruktioner där spalter förekommer, om vattnet i spalten blir stillastående eller genom radiolys. (Radiolys innebär kemisk sönderdelning på grund av strålning.) De prover som har tagits ut från kassetter (där radiolys kan förekomma eftersom de är nära bränslet) har inte visat på något anmärkningsvärt. Det går dock inte att dra några långtgående slutsatser av detta eftersom proverna tagits från kassetter som endast använts i drygt tio år.

Det ställ som förvaringskassetterna står i består av ett gallerverk som innehåller en stor mängd knutpunkter, sammanhållna med bultar. Här finns spalter där spaltkorrosion skulle kunna uppstå. Kassetstället bör därför inspekteras regelbundet om drifttiden för CLAB förlängs.

Bassängplåtens baksida är utsatt för en annan kemisk miljö än det totalavsaltade vatten som finns i bassängerna. Normalt ligger baksidan an mot betongen och är utsatt för luft med en relativt hög fukthalt. Vid ett eventuellt läckage, som inte avleds till läckagekontrollsystemet, kan vatten lokalt komma att stå mot plåten. Detta vatten blir då genom kontakt med betongen inte längre totalavsaltat utan får ett högt pH-värde. Någon accelererad korrosion i denna miljö förväntas dock inte eftersom kloridhalten i vattnet förblir låg.

Mikrobiologisk aktivitet i bassängvattnet skulle kunna ge upphov till spaltkorrosion men väteperoxid, som uppstår på grund av radiolys, motverkar sådan aktivitet. Någon mikrobiologisk aktivitet har heller inte iakttagits i kärnkraftverkens bränslebassänger. I CLAB har dock en beläggning av mögel observerats på vissa bassängytor som är utsatta för låg strålnivå. Detta fenomen följs upp i dag men bör, vid förlängd mellanlagring i CLAB, studeras närmare.

Livslängden hos hanteringsutrustningar, processystem för kylning och rening av vatten samt servicesystem (ventilation, vatten- och elförsörjning, avfallshantering, etc) begränsas dels av slitage, dels av tillgång till reservdelar och kompetens för underhåll av utrustning som blivit omodern. Några tekniska svårigheter att genomföra underhåll och modernisering av dessa system förutses inte.

### 4.2.2 Underhålls- och reparationsmöjligheter

Som nämnts ovan förväntas korrosion inte begränsa bassängplåtens livslängd. Livslängden bedöms alltså vara mer än 200 år. Läckor i plåten kan uppkomma, men dessa kan detekteras med läckagekontrollsystemet. Mindre läckage kan ändå ha viss inverkan på betongen, se avsnitt 4.3. Reparation av en läcka kan bara ske om vattennivån först sänkts till under den nivå där läckaget uppstått. I vissa fall kan det innebära att en bassäng måste tömmas på bränsle. Metoder för att kunna göra reparationer under vatten är dock under utveckling.

Inspektion av bränslekassetter kan göras under planerade former. Eventuell spaltkorrosion kan på så sätt upptäckas på ett tidigt stadium. Reparation eller utbyte av kassetter kan tekniskt genomföras, men förutsätter ny hanteringsutrustning i förvaringsdelen (det vill säga om mottagningsdelen ligger i ”malpåse”).

Övrig utrustning i bassängerna kan i viss utsträckning inspekteras utan att bränslet flyttas. Noggrann inspektion och reparation av kassetställena kan dock endast göras i en tömd bassäng.

En inspektionsplan för bränslet och utrustningen i bassängerna finns utarbetad och genomförs årligen. En komplettering av inspektionsplanen kan behövas för att få bättre kunskap om radiolysens inverkan.

Ett problem som har identifierats när det gäller reparation är skiljeväggarna mellan bassängerna. För att kunna göra reparationer av portarna med tillhörande tätningsplåt krävs nämligen att två bassänger töms. Problemet kan troligen lösas genom specialkonstruerade, tillfälliga avtätningar.

Process- och hjälpsystem är normalt åtkomliga för inspektion och utbyte av erforderliga delar. Livslängden hos dessa system varierar kraftigt. Rörsystem kan möjligen hålla i 200 år, medan pumpar, ventilations-, el- och kontrollutrustning, etc behöver bytas regelbundet. Modernisering och byte av den här typen av komponenter är sådant som görs redan i dag.

## **4.3 Bergrum och byggnadskonstruktioner**

Berget som sådant förutsätts vara stabilt eftersom skillnaden mellan 60 år och 200 år i ett geologiskt sammanhang är betydelselöst. Den påverkan som kan ske är antingen genom vittring av sprickytor eller lermineral, eller genom korrosion eller degradering av material som använts för att förstärka sådana områden. Vittring eller försvagning i dessa områden kan förorsaka nedfall av utrustning, betong eller bergblock i bassängerna och därmed åstadkomma skada.

### **4.3.1 Fenomen som påverkar livslängden**

Livslängden hos byggnadsdelarna påverkas i hög grad av den miljö de befinner sig i. Betong, armering och stålkonstruktioner som är i kontakt med grundvatten utsätts för en fuktig eller våt miljö med grundvattnets innehåll av klorider och andra salter, som vid avdunstning kan anrikas i betongen. Byggnadsdelar inom själva förvaringsbyggnaden befinner sig i en relativt torr miljö eller kan ha kontakt med totalavsaltat vatten.

Betongen ger ett grundläggande gott korrosionsskydd för armeringen, dels genom att den är tät och skyddar mot genomströmning av vatten, dels genom att pH-värdet hos betongens porvatten är högt. Betongens egenskaper kan dock påverkas av kemiska ämnen i omgivningen, vilket antingen kan leda till att betongens hållfasthet minskar eller att armeringen angrips av korrosiva ämnen.



Karbonatisering innebär att koldioxid tränger in i betongen och bildar kalciumkarbonat. Betongens hållfasthet påverkas inte påtagligt av karbonatisering, men korrosionsskyddet upphör. Den tid det tar för karbonatiseringen att nå in till armeringen varierar från ca 50 år (vissa luftberörda konstruktioner) till mer än 200 år (konstruktioner i fuktig miljö utan kontakt med luft).

Klorid förekommer i CLAB endast i grundvattnet, i förhållandevis låg koncentration. Det bedöms därför inte finnas någon risk att kloriderna ska inverka på själva betongen. Däremot kan de påverka korrosionen på stål i bergförankrade delar.

Sulfatangrepp på betong orsakas av att vattenlösliga sulfater i grundvattnet tränger in i betongen och bildar starkt svällande kemiska föreningar. Expansionen kan leda till totalt sönderfall av konstruktionen. Sulfathalten i grundvattnet uppgår inte till sådana värden att besvärande sulfatangrepp behöver befaras under anläggningens planerade drifttid. På vissa ställen kan dock anrikning av sulfater ske, t ex i sprutbetong och andra beklädnader i berggrum. Det är därför troligt att vissa betongkonstruktioner kan börja degraderas på kortare tid än 200 år.

Urlakning kan ske genom att rent, avsaltat vatten som strömmar genom otät betong eller genom sprickor i betongen gradvis löser ut den kalciumhydroxid som bildats vid cementreaktionen. En sådan kalkurlakning kan försämra betongens hållfasthet. Den betong som finns i berggrummet i CLAB är dock tämligen resistent mot urlakning. Även vid genomgående sprickor begränsas urlakningen därför till en tunn zon intill sprickan. Sådan lokal urlakning kan emellertid öka risken för armeringskorrosion. Läckor genom bassängplåten är sällsynta, men om de uppträder skulle urlakning i sprickor kunna försvaga betongtvärsnittet inom 100 år.

Betongkonstruktioner som är gjutna mot berg kan också bli utsatta för urlakning. Grundvattnet är emellertid, i detta avseende, betydligt mindre aggressivt än bassängvattnet, vilket medför att urlakningen sker långsammare. Vid lokala större grundvattenflöden kan dock skador inträffa på kortare tid än 100 år.

Om vatten läcker genom en spricka kan självtätning ske genom att kalciumhydroxid karbonatiseras av den koldioxid som finns i det genomströmmande vattnet och i den omgivande luften. Kristaller av kalciumkarbonat och kalciumhydroxid fälls då ut, ansamlas och växer i sprickorna, vilket så småningom kan resultera i att sprickan tätas. Även armeringens korrosionsskydd gynnas av självtätning. Självtätningen är viktig för de små sprickor som uppkommer i sprutbetongen, men den har inte beaktats när det gäller bassängerna.

Det tar lång, ofta mycket lång, tid innan betongen har påverkats av de olika miljöeffekterna så att korrosion på armeringen kommer igång. Men när förutsättningarna för korrosion väl är uppfyllda (sänkt pH-värde, närvaro av fukt, syre och eventuellt klorider eller andra korroderande ämnen) kan korrosionshastigheten i stålet i vissa fall bli hög. Om en lång livslängd önskas ska förebyggande åtgärder därför sättas in innan korrosionen kommit igång.

Korrosionsmiljön i förvaringsbyggnaden är inte aggressiv. Luftfuktigheten är relativt låg och det vatten som är i kontakt med betongen är totalavsaltat. De delar som riskerar att drabbas av korrosion utgörs därför främst av bergförankrade delar såsom infästningsbultar för traversbanans konsoler, tak och väggar, bergbultar för bergförstärkning och sprutbetongens armering.

Läckströmmar i bergmassan (orsakade av elektriska anläggningar, särskilt likströmsanläggningar) kan orsaka punktkorrosion på metaller i elektrisk kontakt med berget. Förekomsten av sådana läckströmmar kartläggs till viss del redan i dag men bör, vid förlängd mellanlagring i CLAB, undersökas närmare.

#### 4.3.2 Tänkbara skadefall

I bassängerna kan lokala deformationer och sprickor i betongen uppkomma. Förloppen är långsamma och problemen kan därför identifieras, värderas och åtgärdas i god tid innan allvarliga skador uppstår. Om sprickorna i betongen blir genomgående och om en större läcka i bassängplåten samtidigt skulle uppstå kan vattnet i bassängen, i värsta fall, förloras.

För att ta upp längdändringar, orsakade av t ex temperaturvariationer, är bassängerna (förutom mittbassängen i varje bassängblock) upplagda på plintar som är försedda med glidlager, figur 4-3. Om glidförmågan hos lagren skulle försvinna kan mycket stora krafter uppstå. Dessa krafter skulle kunna ge upphov till sprickor och andra skador på bassängerna. Bassängerna torde dock inte kunna kollapsa.

Förutom bassängblocket och bergmassan är konsolerna för bränslehanteringsmaskinens traversbana troligen den byggnadskonstruktion som, vid kollaps, skulle kunna ge de allvarligaste skadorna på bränslet. Konsolerna är utförda av betong och väger ca 8 ton styck. De är förankrade i berget med dels ett förspänt stag och dels ett antal ingjutna bultar. Om en konsol trots allt lossnar kommer den att stå kvar på den underliggande betongväggens överkant (om traversbalken är obelastad). Skulle den slutligen tippa kommer några bränsleelement att skadas. Om det inte finns något bränsle i bassängen kommer det troligen att gå håll på bassängplåten, medan betongkonstruktionen fortfarande kommer att vara intakt. Traversen själv är konstruerad så att den inte kan falla ner i bassängen och förorsaka bränsleskador.

Förvaringsbyggnadens innertak är upphängt i berget med bergbultar. Om taket blir överbelastat i samband med underhålls- eller reparationsarbeten, eller om bultarna rostar av, kan delar av taket och det som finns på taket falla ner i bassängerna. Skadorna på bränslet blir betydligt mindre än vid händelsen med en fallande traverskonsol eftersom den fallande vikten är mindre och mer utbredd.



**Figur 4-3.** Variationer i förvaringsbassängernas längd tas upp av de glidlager som bassängerna vilar på.

Innertaket skyddar mot mindre utfall av sprutbetong från taket. Skulle oupptäckta skador ändå förorsaka nedfall av betong eller stenblock kan detta leda till skador på bränsle eller på hanterings- och processutrustning. Läckor i bassängplåten kan uppstå men sannolikheten för skador som äventyrar bassängernas funktion bedöms vara obetydlig.

Övriga konstruktioner är belägna i nivå med bassänghallens plan eller utanför bassängerna under detta plan. Konstruktionerna är relativt små jämfört med bassängerna och bedöms därför inte kunna skada varken bassängerna eller bränslet. Däremot kan givetvis skador på byggnaderna åstadkomma skador på installerad processutrustning samt på el- och instrumentutrustning. Detta leder då till driftavbrott och reparationsbehov.

### **4.3.3 Inspektions-, provnings- och reparationsmöjligheter**

Åldringen av byggnadsdelarna kartläggs genom besiktning, mätning samt provtagning och detta sker i viss utsträckning redan i dag. Mängden utpumpat grundvatten samt bassängernas horisontella rörelser och vertikala deformationer är exempel på sådant som redan nu mäts enligt fastställda program. För att bättre kunna bestämma åldringsprocessens utveckling och byggnadskonstruktionernas återstående livslängd behövs dock en mer omfattande provtagning.

Inspektionsprogram kan utformas så att god information om betongens och bergförstärkningarnas tillstånd kan ges. Genom att kombinera olika metoder, både oförstörande och förstörande, kan tillståndet hos olika konstruktionsdetaljer följas.

Vid alla större arbeten i bassänghallen eller på ovanliggande nivåer måste bränslet och vattnet i bassängerna isoleras från arbetsplatsen med damm- och vattentäta skydd. Vid arbeten i en bassäng måste bassängen tömmas på bränsle och vatten. Arbeten utanför bassängerna på lägre nivåer kan i allmänhet utföras på enklare sätt.

Om en mycket lång lagringstid i CLAB förutses så bör t ex befintliga bergbultar kompletteras med nya som har bättre korrosionsskydd. Även andra reparationer bör genomföras om den förväntade lagringstiden skulle öka betydligt.

Skulle, mot förmodan, mycket omfattande reparationsbehov uppstå finns det möjlighet att bygga ut CLAB med ett tredje bergrum. Bassängblocken skulle på så sätt kunna friställas, ett i taget, och en fullständig restaurering göras.

## 5 Missödesanalys

Någon fullständig missödesanalys för långtidslagring i CLAB har hittills inte genomförts. Innehållet i detta kapitel grundar sig dock till stor del på de missödesanalyser som har gjorts för CLAB /10/ och i samband med utbyggnaden av CLAB /11/. Analysen nedan syftar till att:

- belysa hur konsekvenserna av missöden som inträffar längre fram i tiden lindras, jämfört med de konsekvenser som redovisas i CLAB:s säkerhetsrapporter /10, 11/ (på grund av att bränslets aktivitet och resteffekt avklingat),
- belysa möjliga konsekvenser av de svårare missöden som inte beaktats i /10/ och /11/ men som skulle kunna inträffa på grund av haveri i åldrad utrustning,
- redovisa de konsekvenser som skulle kunna uppstå om CLAB, av någon anledning, måste överges med bränsle kvar i bassängerna.

### 5.1 Förutsättningar vid missödesanalysen

De detaljerade säkerhetsanalyser som är gjorda för CLAB /10, 11/ förutsätter att bränslet precis har tagits emot från kärnkraftverken, det vill säga att det endast har gått 9 månader sedan bränsle från kokvattenreaktorer (BWR-bränsle) togs ur reaktorn, respektive 12 månader för bränsle från tryckvattenreaktorer (PWR-bränsle). Dessa siffror, som är den minsta tid som bränsleelementen måste lagras vid kärnkraftverken innan de får skickas till CLAB, är valda för att visa de värsta konsekvenser som kan uppstå vid varje analyserat missöde.

Radioaktiva ämnen avklingar med tiden vilket medför att bränslets radioaktivitet och resteffekt blir mindre och mindre, ju äldre det blir. Konsekvenserna av ett missöde blir därmed lindrigare ju längre bränslet har stått i CLAB. Några beräkningar av doser till omgivningen, vid långsiktig lagring i CLAB, har därför inte gjorts (annat än för ”missödet” övergivet CLAB) eftersom de aldrig kan bli större än de doser som anges i /10/ och /11/.

I analysen har vi antagit att bränsle motsvarande 8 000 ton U lagras på CLAB, det vill säga den mängd som CLAB är dimensionerad för efter utbyggnaden. Bassängerna i de två bergrummen beräknas vara fyllda år 2010.

#### 5.1.1 Aktivitetsinnehåll

Det använda kärnbränslet består av en mängd olika radionuklider med varierande betydelse vid ett missöde. Aktivitetsinnehållet vid olika avklingningstider för de, i detta sammanhang, viktigaste nukliderna framgår av tabell 5-1. Innehållet i tabellen grundar sig på tabell 6-2 i /10/.

**Tabell 5-1. Avklingning av bränslets aktivitet (PWR-bränsle)**

Nuklid	Halveringstid (år)	Aktivitet efter avklingningstiden		
		1 år (TBq/ton U)	30 år (TBq/ton U)	100 år (TBq/ton U)
Tritium	12,3	32	6	0,1
Krypton-85	10,7	460	70	0,75
Strontium-90	28,8	3800	1900	350
Jod-129	15,9x10 <sup>6</sup>	0,002	0,002	0,002
Cesium-134	2,06	9000	0,5	3x10 <sup>-11</sup>
Cesium-137	30,1	6100	3100	600

Vid missöden som leder till skador på bränslet är det, i första hand, gasformiga ämnen som ger ökade stråldoser till omgivningen. Av dessa ämnen är det krypton-85 som ger det största bidraget. Efter 30 års avklingning har aktiviteten, och därmed omgivningspåverkan vid ett utsläpp, minskat med en faktor 6. Efter 100 år har aktiviteten reducerats med en faktor 600.

Bränsleskador ger också upphov till ökad aktivitet i bassängvattnet. Denna vattenburna aktivitet domineras av cesium som också har avklingat betydligt efter 30 år. Cesium-134, som dominerar efter ett års avklingning, är försumbart efter 30 år medan cesium-137 har halverats. Efter 100 år har cesium-137 reducerats med en faktor 10.

I ett ännu längre tidsperspektiv har de flesta av nukliderna ovan avklingat. Omgivningspåverkan kommer då i stället att domineras av mer långlivade, men också mer svårslösliga ämnen, såsom plutonium, neptunium och americium.

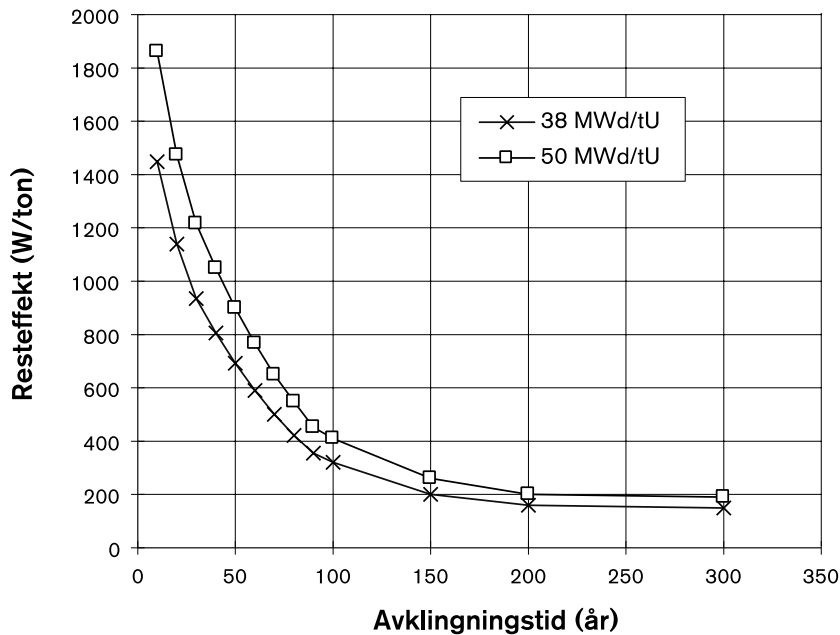
### 5.1.2 Resteffekt

CLAB är för närvarande dimensionerad för att lagra bränsle med en sammanlagd resteffekt på 8,5 MW. I och med utbyggnaden av CLAB kan det, i framtiden, uppstå behov av att öka den siffran. Detta är fullt möjligt att göra eftersom kapaciteten att kyla vattnet i förvaringsbassängerna kan byggas ut.

Vid resteffektberäkningar i det långsiktiga perspektivet har vi utgått från år 2010 (då båda bergrummen beräknas vara fyllda). Då, precis som i dag, kommer det att finnas dels bränsle som tagits ur reaktorn långt tidigare och dels sådant som relativt nyligen tagits ur drift. Det nyare bränslet kommer att stå för större delen av den totala resteffekten. Vi har antagit att ett representativt medelvärde är bränsle som avklingat under 20 års tid.

Den totala resteffekten år 2010 kommer, enligt beräkningar med värden tagna ur figur 5-1, då att vara ca 10 MW (med 8 000 ton U i bassängerna). Resteffekten minskar därefter till ca 6 MW år 2040 och ca 3 MW år 2080. I ett ännu längre perspektiv minskar resteffekten långsammare och når 1 MW ca år 2300.

Resteffekten är inte jämnt fördelad mellan de olika bassängerna. Bränslet i den första förvaringsbyggnaden kommer t ex att vara betydligt äldre, och därmed svalare, än bränslet i den förvaringsbyggnad som nu håller på att byggas. Fördelningen av resteffekten är ointressant vid normal drift men har betydelse vid de missöden då bränslet friläggs helt eller delvis.



**Figur 5-1.** Resteffekten som funktion av tiden för typiskt BWR- och PWR-bränsle (enligt Decay/Origen).

### 5.1.3 Analyserade fall

#### **Befintliga säkerhetsanalyser**

I den befintliga säkerhetsrapporten för CLAB /10/ har ingående missödesanalyser gjorts. Konsekvenserna av brand, hanteringsmissöden, långvarig förlust av kylning och spädmattning av bassängerna samt yttre påverkan och jordbävning har där analyserats. Inför utbyggnaden av CLAB analyserades även konsekvenserna av att ett stenblock faller ner i en bassäng /11, 13/. Missödena vid dessa inledande händelser leder inte, i något fall, till omgivningspåverkan som innebär väsentlig fara för allmänheten.

Dessa analyser är relevanta också i det längre tidsperspektivet, eftersom drift och underhåll förutsätts kunna ske med samma kvalitet som i dag. Som nämnts ovan skulle dock konsekvenserna av ett inträffat missöde bli lindrigare på grund av att bränslets aktivitet och resteffekt avklingar med tiden.

#### **Tillkommande händelser på grund av åldring**

När anläggningen åldras kan allvarigare händelser tänkas, särskilt om det uppstår problem med att behålla kompetent personal som kan sköta drift, provning och underhåll. I denna analys diskuteras därför två händelser som inte har ansetts motiverade att ta upp under det normala driftskedet, men som skulle kunna inträffa om provning och underhåll eftersatts. Dessa inledande händelser är förlust av allt vatten i bassängerna och omfattande bränsleskador på grund av nedfallande stenblock.

## ***I händelse av att CLAB måste överges***

Vid långsiktig mellanlagring i CLAB kan vi inte utesluta att omständigheter som medför att anläggningen måste överges kan uppstå. Krig eller miljökatastrofer kan t ex göra att CLAB måste överges plötsligt. Det kan också tänkas att personalen får en viss förvarning så att övergivandet kan ske planerat och konsekvenslindrande åtgärder därmed genomförs.

Eftersom konsekvenserna blir lindrigare ju äldre bränslet är och ju längre framförhållning som ges, har vi analyserat ett antal olika scenarier /4/.

## **5.2 Riskbedömning**

### **5.2.1 Försämrade miljö i vatten eller luft**

Sannolikheten för försämrade miljö i anläggningens vatten eller luft ökar om det inte finns kompetent personal och resurser för drift och underhåll. De tekniska möjligheterna för säker långsiktig lagring i CLAB finns beskrivna i kapitel 4.

Kontrollerad lagring i CLAB förutsätter att infrastrukturen runt anläggningen inte ändras på ett sådant sätt att luft- eller grundvattenkvaliteten väsentligt förändras. Viss försämring av grundvattenkvaliteten kan uppkomma genom miljöpåverkan i form av surare regn. Även elektriska anläggningar i omgivningen, t ex större stationer för likströmsöverföring, kan leda till läckströmmar vilka skulle kunna ge upphov till accelererad korrosion.

Konsekvenserna av brister blir i första hand snabbare åldring av byggnadsdelar, system och bränsle samt någon ökning av sannolikheten för att de händelser som beskrivs nedan skulle kunna inträffa. Brister under kortare tid saknar dock betydelse. Det finns även goda marginaler eftersom t ex nuvarande vattenkvalitet är väsentligt bättre än vad som strikt skulle erfordras enligt internationell erfarenhet.

Försämrade miljö kan även leda till ökad kontaminering (nedsmutsning av radioaktiva ämnen) i bassängerna och reningssystemen. Frigörelsen av korrosionsprodukter från ytorna minskar normalt med lagringstiden, men skulle alltså kunna öka vid försämrade miljö. Detta borde dock mer än väl kompenseras av de radioaktiva ämnenas avklingning. (Kobolt-60 som är den främsta aktiverade korrosionsprodukten som förekommer på bränslet har en halveringstid på ca 5 år.)

### **5.2.2 Helt utebliven kylning av bränslet**

Sannolikheten för helt utebliven kylning borde normalt vara densamma som under den planerade driftperioden. Oupptäckta brister i processystemen skulle dock kunna leda till viss ökning av denna sannolikhet, liksom degradering av byggnader eller berg som skulle kunna leda till skador på processystemen. Ökningen av sannolikheten bedöms vara liten.

Konsekvenserna av utebliven kylning sker enligt CLAB:s säkerhetsrapport /10/ under långsamma förlopp. Inför utbyggnaden av CLAB gjordes beräkningar med 12 MW resteffekt i bassängerna /11/ och dessa visade att det tar 7 dygn innan vattnet värmts upp till 90°C och 46 dygn innan så mycket vatten har kokat bort att nivån har sjunkit ner till kassetternas överkant. (Enligt avsnitt 5.1.2 kommer den totala resteffekten år 2010 att vara ca 10 MW.)

Efter 100 års drift av CLAB skulle motsvarande tider, på grund av den minskande rest-effekten, vara mer än 3 gånger så långa. Det finns alltså goda tidsmarginaler att, vid behov, vidta åtgärder för att återuppta kylningen.

### 5.2.3 Kriticitet

Kriticitetssäkerheten påverkas inte av förlängd drifttid för CLAB /3/. Förbrukningen av bor i kompaktkassetternas borstålplåtar är t ex obetydlig. Om en plåt helt skulle lossna (på grund av spaltkorrosion) uppkommer inte heller kriticitet eftersom plåten då fortfarande finns kvar i kassetten och därmed täcker bränslets hela längd.

Även om bränslets konstruktionsdelar skulle korrodera sönder, så att bränsledelar eller konstruktionsdelar faller ner mot bassängbotten, är sannolikheten för kriticitet försumbar. Bränslets ursprungliga konfiguration är ju optimerad för att åstadkomma kriticitet i en reaktor; alla andra konfigurationer har sämre förutsättningar.

Förvaringskassetterna i CLAB är dimensionerade så att även bränsle som aldrig bestråls i en reaktor ska kunna placeras i bassängerna utan att kriticitet uppstår. Detta utgör en god marginal mot oönskad kriticitet.

### 5.2.4 Mekaniska skador på bränslet

Mekaniska skador på bränslet analyseras i CLAB:s säkerhetsrapporter /10, 11/. I /10/ beräknas konsekvenserna av en tappad förvaringskasset, varvid samtliga 9 PWR-element går sönder. Dosen till sk kritisk grupp efter ett sådant missöde beräknas till 0,6  $\mu\text{Sv}$  (mikroSievert). Omgivningsdosen domineras av krypton-85, medan kontamineringsringen i anläggningen domineras av cesium. Som nämnts i avsnitt 5.1 har man i dessa säkerhetsrapporter förutsatt bränsle med ett års avklingning.

I samband med utbyggnaden av CLAB analyserades konsekvenserna av att ett stenblock faller ner på förvaringskassetter i de befintliga bassängerna. I /11/ analyserades vad som händer om ett stenblock på ca ett ton på ett olyckligt sätt faller ner och träffar en kasset. Konsekvenserna av detta blir desamma som för fallet tappad förvaringskasset enligt ovan. I /13/ analyserades konsekvenserna av att det största tänkbara bergblock som skulle kunna finnas mellan bergbultarna lossnar och faller ner i bassängerna. Doserna vid ett sådant fall skulle, som mest, kunna bli ca 5,5 gånger större än för stenblocket på ca ett ton, det vill säga ca 3,3  $\mu\text{Sv}$ .

Om samma missöde inträffar när CLAB har varit i drift i 100 år blir det nästan ingen påverkan på omgivningen. Orsaken till detta är att krypton-85 då har minskat med en faktor 600, se tabell 5-1. Kontamineringen med cesium i bassängerna blir ca en faktor 20 lägre eftersom cesium-134 då har avklingat till försumbara nivåer och cesium-137 med en faktor 10.

Sannolikheten för mekaniska skador vid långsiktig lagring i CLAB får anses öka med tiden även om god kontroll på integriteten hos t ex byggnader och bergförstärkningar upprätthålls. En faktor som ändå minskar sannolikheten för mekaniska skador är att det blir mindre hantering av bränsle än under den planerade driftperioden.

Konsekvenserna ur radiologisk synvinkel blir, som visats ovan, avsevärt mindre med tiden. Detta medför att man då kan tåla väsentligt mer omfattande skador än om bränslet just anlännt till CLAB. Kostnaderna för uppstädning och senare inkapsling kan dock bli betydande om bränslet skadas i större omfattning.



Nedfall av större föremål kan givetvis även skada bassängplåten och orsaka läckage av vatten från bassängerna. Sådana läckage begränsas av betongens täthet och blir måttliga så länge det fallande föremålet inte samtidigt slår sönder betongkonstruktionen.

### 5.2.5 Förlust av allt vatten i bassängerna

Sannolikheten att bassängerna helt skulle tömmas på vatten (på grund av skador på betong eller armering till den grad att botten eller väggar rämningar, eller att så stora bergutfall sker och faller olyckligt i bassängerna) bedöms enligt redovisningen ovan vara obetydlig. Möjligen skulle en kraftig jordbävning i kombination med degraderad byggkonstruktion kunna leda till en sådan händelse. Sannolikheten ökar givetvis om CLAB överges så att tillsyn och reparationer upphör.

Konsekvenserna av att bassängerna töms på vatten blir förstås allvarliga. Bränslet värms då upp i luftatmosfär men uppvärmningen sker långsamt. En enkel överslagsberäkning (helt utan kylning) visar att bränslet når temperaturer över 500°C först efter någon vecka, om missödet inträffar efter 100 års drift av CLAB. I praktiken går uppvärmningen långsammare eftersom luften i bergrummet till viss del skulle kyla bränslet.

Beräkningar i /4/ visar att luftkylning genom naturlig cirkulation genom anläggningens ventilationskanaler kan hålla bränslets temperatur under 400°C om hela anläggningen torrläggts efter ca år 2150. Skador på bränslekapslingen kan uppstå, men vid den tidpunkten har inventariet av gasformig aktivitet till stor del avklingat. Om bränslet friläggs tidigare blir temperaturen högre och bränsleskador inträffar därmed snabbare.

Om bassängerna tömts kan bergrummet i sin helhet fyllas med vatten för att säkerställa att bränslet kyls. Det kan dock bli svårt att återta kontrollen över anläggningen efter en sådan händelse.

Konsekvenserna av att allt vatten i bassängerna förloras kan likställas med konsekvenserna av ett tidigt övergivande av CLAB, se avsnitt 5.2.7.

### 5.2.6 Yttre händelser

Sannolikheten för yttre händelser, såsom brand och störningar i el- och vattenförsörjning, förändras inte med tiden, under förutsättning att kvaliteten på drift och underhåll upprätthålls.

Konsekvenserna av sådana händelser blir desamma som under den planerade driftperioden, förutom de radiologiska konsekvenserna som minskar med tiden på grund av avklingningen. Tidsmarginalerna för att genomföra nödvändiga åtgärder ökar av samma skäl.

### 5.2.7 Övergivivet CLAB

Sannolikheten för att CLAB måste överges i framtiden är mycket svår att bedöma. Sverige har ju varit ett stabilt land under lång tid och i ett överblickbart tidsperspektiv måste sannolikheten för ett övergivande anses vara mycket liten.

Det går emellertid inte att utesluta att det kan uppstå krig, ekonomisk kris, miljökatastrofer, klimatförändringar eller andra händelser som skulle kunna leda till att CLAB

måste överges. Sett i det mångtusenåriga perspektiv som vi är tvungna att använda när det gäller kärnavfall så finns det en uppenbar risk att anläggningen någon gång måste överges, om inte förr så vid nästa istid.

Konsekvenserna av att CLAB överges beror till stor del på när detta sker; ju senare anläggningen överges, desto lindrigare blir konsekvenserna eftersom bränslets aktivitet och resteffekt avklingar med tiden. Konsekvenserna beror även på om anläggningen måste överges omedelbart eller om man får en viss förvarning. Vilka konsekvenslindrande åtgärder som kan vidtas är beroende av hur lång förvarning som ges. Exempel på sådana åtgärder är omflyttning av bränsle för att jämna ut resteffekten, öppning av portar mellan bassängerna och vattenfyllning av hela underjordsdelen.

Om CLAB överges uppstår inga omedelbara faror. Även i det värsta beräkningsfallet så finns det tillräckligt med vatten i bassängerna för att det skulle dröja mer än en månad innan så mycket vatten har avdunstat att bränslet friläggs, se avsnitt 5.2.2. Om bränslet friläggs blir konsekvenserna allvarligare än om det är omgivet av vatten. Anledningen till detta är att temperaturen, och därmed sannolikheten för bränsleskador, ökar om bränslet omges av luft.

Ett övergivande som leder till torrläggning och omfattande bränsleskador skulle ge upphov till en, minst sagt, otrevlig miljö i förvaringsbyggnaderna och deras närhet. Radioaktiva ämnen skulle spridas i anläggningen och det skulle bli synnerligen svårt att, i framtiden, återta kontrollen och flytta bränslet till en säkrare plats.

Eftersom konsekvenserna av ett övergivet CLAB är så beroende av när övergivandet sker och hur mycket tid som ges för konsekvenslindrande åtgärder har vi låtit analysera ett antal olika scenarier /4/. Årtalen i dessa scenarier är 2010 (maximal resteffekt), 2085 (anläggningen har varit i drift i 100 år) och 2250 (tidigaste årtal som torrkokning av bränslet troligen undviks).

### ***Tidigt övergivande***

CLAB kan bara torrläggas om mer vatten avdunstar på grund av uppvärmningen från bränslet än vad som strömmar in i anläggningen från det omgivande berget. Om CLAB överges före år 2250 är resteffekten fortfarande så hög att det är troligt att allt vatten i förvaringsbassängerna kokar bort /4/, figur 5-2. Med tidigt övergivande är det denna period, fram till år 2250, som avses.

I ett inledningsskede (efter det att kylningen upphört) ökar temperaturen på vattnet och det börjar så småningom att koka. När vattenångan når taket kommer den att kondensera. Detta leder inte nödvändigtvis till att vattnet återförs till bassängerna eftersom dropparna i stället kan följa taket och rinna ner i utrymmet mellan bassängerna och bassängbyggnaden. Vi har därför gjort det konservativa antagandet att vattenvolymen i bassängerna minskar i den takt som fås om förångningen av vattnet motsvarar hela resteffekten.

Vid ett övergivande år 2010 skulle det, med dessa antaganden, ta mellan ca 0,3 år och ca 2 år innan vattnet i bassängerna har kokat bort. De olika tiderna representerar olika grader av konsekvenslindrande åtgärder. Om CLAB överges år 2085 blir motsvarande tider mellan ca 1 och ca 6 år.

Det grundvatten som läcker in i bergrummet (när vattnet inte längre pumpas ut) kommer efter ca 2 år att vara i nivå med bassängkanten. Vattnet som då fortsätter att läcka in kommer att rinna ner i förvaringsbassängerna och bidra till kylning och senare även

återfyllning av bassängerna. Hur lång tid återfyllningen tar beror bl a på hur stort inläckaget är, men den tar troligen mycket lång tid. (När bergrummet är fyllt upp till bassängkanten har inläckaget uppskattats till ca 0,5 l/s.)

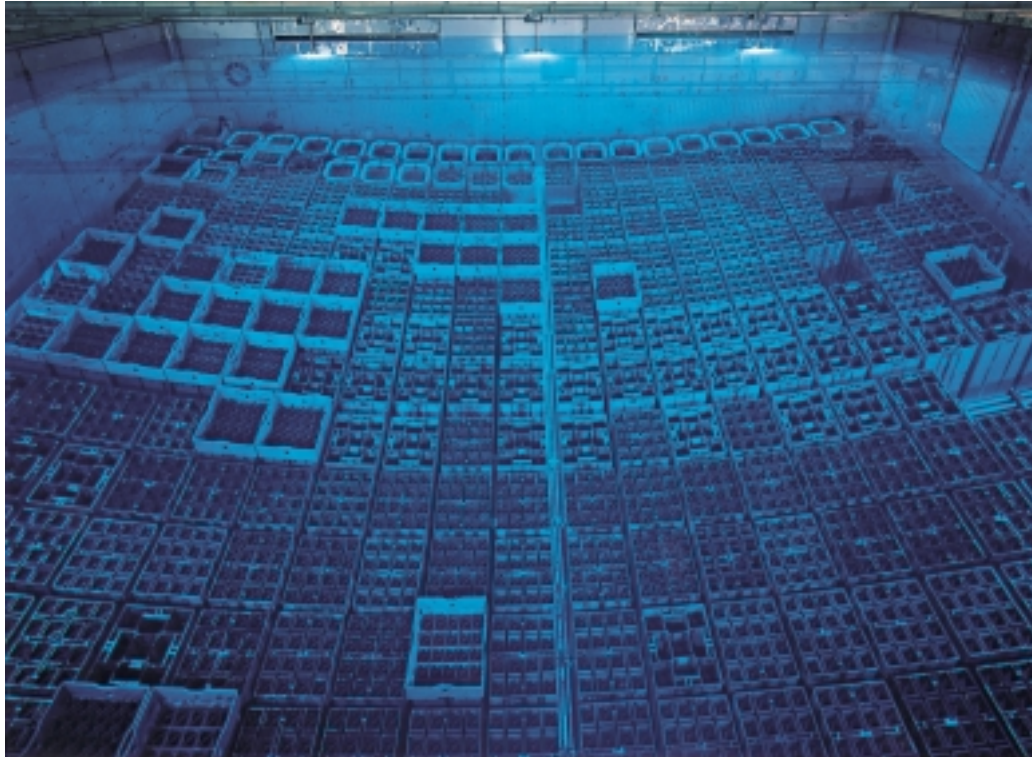
Innan bassängerna på detta sätt åter har fyllts med vatten, kan bränslet vara omgivet av luft under en längre period. I och med att bränslet omges av luft ökar temperaturen, och därmed takten i vilken bränsleskador uppkommer. Vid ett övergivande mellan 2010 och 2085 kan bränsletemperaturen enligt konservativa beräkningar komma att uppgå till 500–800°C.

### **Sent övergivande**

Om CLAB överges senare än ca 2250 kommer bränslet troligen inte att friläggas. Bränsleskador uppträder då mer sällan, vilket medför att mindre aktivitet skulle spridas via atmosfären.

Kylningen av bränslet med inläckande grundvatten innebär att salter anrikas i vattnet. Detta kan med tiden öka korrosionshastigheterna på bränslekapsling och andra komponenter, vilket skulle leda till ökad spridning av aktivitet till grundvattnet.

Även om CLAB överges före år 2250 så kan konsekvenslindrande åtgärder hindra, eller åtminstone kraftigt fördröja, torrkokning. Om bergrummet t ex kan sättas i förbindelse med ett kärr eller något annat vattendrag kan kylningen bli tämligen effektiv. En förbindelse med Östersjön skulle också kunna tänkas om tiden medger.



**Figur 5-2.** Vid ett tidigt övergivande (före år 2250) är bränslet fortfarande så varmt att vattnet i förvaringsbassängerna, så småningom, skulle koka bort.

## **Doser till omgivningen**

De stråldoser som drabbar omgivningen om CLAB överges bestäms till stor del av:

- tidpunkten då övergivandet sker,
- åtgärder som eventuellt hunnit vidtas för att försöka hålla bassängerna vattenfyllda,
- tidsförloppet för återfyllning med inläckande grundvatten.

Om anläggningen är torrlagd och bränsleskador uppstått kan radioaktiva isotoper frigöras och spridas till omgivningen via atmosfären; när bassängerna har återfyllts kan aktivitet spridas i grundvattnet. Ett tredje sätt som skulle kunna ge doser är om människor letar sig ner i det övergivna berggrummet. Utan kunskap om använt kärnbränsle och radioaktiv strålning skulle individer på detta sätt kunna utsättas för mycket höga doser. Runt om i världen finns det många exempel där radioaktiva komponenter, som t ex hamnat på soptippar, gett stora doser till människor som hittat sådana komponenter och tagit dem med sig hem.

Doserna vid spridning i atmosfären uppkommer i huvudsak genom inandning av cesium-137, men i någon mån även av krypton-85. Tillskottet från markbeläggning har inte beaktats, eftersom det bedöms ge betydligt lägre doser än inandningsdosen. När det gäller doser via vatten är det kol-14, strontium-90, jod-129 samt cesium-137 som står för de största bidragen.

Vid ett tidigt övergivande förväntas doserna från såväl atmosfärisk spridning som spridning via grundvattnet till Östersjön bli i storleksordningen 10–100 mSv/år (milliSievert per år). Den högre dosen gäller för en person som antas befinna sig en stor del av sin tid endast någon enstaka kilometer från den övergivna anläggningen. Utsläppet till luft kommer att ske strax efter övergivandet, medan utsläppet till vatten, med konservativa antaganden, tidigast kan ske 200 år efter det att anläggningen övergivits.

Ett sent övergivande förväntas ge försumbara doser via atmosfären. Dosen via grundvattnet förväntas bli mindre än 10 mSv/år. Utsläppet har även i detta fall konservativt antagits ske 200 år efter övergivandet.

De ovanstående doserna baseras på bidrag från lösliga och lättlakade radionuklider. Under vissa förhållanden skulle även normalt svårslösliga och svårakade nuklider kunna ge dos (t ex plutonium, americium och neptunium). Mycket konservativa uppskattningar, där dessa nuklider förutsatts uppnå teoretiska lösligheter, visar att dostillskottet skulle kunna bli av samma storleksordning som från de lösliga nukliderna.

Som jämförelse kan nämnas att vi i Sverige i genomsnitt utsätts för en stråldos på ca 5 mSv/år (på grund av den naturliga bakgrundsstrålningen, radon i bostäder, etc), att en person som arbetar på CLAB i genomsnitt får ett extra bidrag på ca 1 mSv/år och att den maximala tillåtna dosen för den som arbetar i en kärnteknisk anläggning är 50 mSv/år.

## 6 Övriga konsekvenser

Utöver de tekniska aspekter på nollalternativet som beskrevs i kapitel 4 och de konsekvenser av missöden som beskrevs i kapitel 5, ger förlängd mellanlagring i CLAB även andra konsekvenser. Den kanske allvarligaste av dessa är att den långsiktiga lösningen på problemet med det använda kärnbränslet då skjuts på framtiden. En viktig princip i det svenska kärnavfallsprogrammet är att den generation som använder elen från kärnkraften också ska finna en lösning på avfallsproblemet. Samma princip återfinns i IAEA:s avfallskonvention /8/ där det bl a står att avfallsfrågan till alla väsentliga delar ska lösas av den generation som utnyttjar elproduktionen från kärnkraftverken.

### 6.1 Icke kärntekniska miljökonsekvenser

De icke kärntekniska miljökonsekvenserna av nollalternativet är obetydliga. I samband med ansökan om att få bygga ut CLAB beskrevs de icke kärntekniska miljökonsekvenserna av utbyggnaden /14/ och då även för driftskedet. Den beskrivningen kan anses gälla för nollalternativet, under förutsättning att CLAB drivs vidare under kontrollerade former.

Vid ett övergivande uppstår det i första hand radiologiska miljökonsekvenser. Någon utredning av icke kärntekniska miljökonsekvenser vid ett övergivande har inte gjorts. Det kan dock konstateras att en sådan konsekvens är att den kvarstående värmeutvecklingen skulle ge upphov till en uppvärmning av berget och, i någon mån, även av markytan.

### 6.2 Förlorad kompetens

En allvarlig konsekvens av att djupförvarsprojektet avbryts är att den kompetens som nu finns på kärnavfallsområdet troligen skulle gå förlorad. Kärnteknikens starka ställning i Sverige på 1960- och 70-talen ledde till att branschen som helhet attraherade hög kompetens. Den demokratiska processen och de lagar den har lett till har också medfört att Sverige i dag anses vara en av världens ledande nationer när det gäller hantering och slutförvaring av kärnavfall.

Sedan mitten av 1970-talet, då det svenska kärnavfallsprogrammet startade på allvar, har SKB:s arbete med forskning och utveckling medfört att kompetens har byggts upp på en lång rad områden som är knutna till hantering och slutförvaring av kärnavfall. Några exempel på sådana områden är grundvattenkemi, bergets mekaniska och hydrologiska egenskaper, bränsleupplösning och materialkunskap om t ex koppar. Om djupförvarsprojektet avbryts helt är det svårt att se vad som skulle kunna få de personer som besitter denna specialistkunskap att stanna kvar och inte söka sig till andra områden.

Denna aspekt tar även KASAM upp /9/: ”Redan en förlängd mellanlagring i avvaktan på att nya kunskaper och ny teknologi skall leda till bättre metoder kan få en allvarlig konsekvens. Utvecklingen av en fruktbar idé till en mogen, utprovad teknik tar decennier,

när tekniken skall fylla de anspråk som ställs på hantering och slutförvaring av högaktivt avfall. Under tiden hinner den kompetens inom kärnavfallsområdet som nu finns hos myndigheter, kärnkraftföretag, SKB, universitet och konsulter att skingras. Om dessutom kärnkraften avvecklats under tiden och avfallsarbetet satts på sparlåga blir arbetsområdet ointressant och får ingen nyrekrytering. Engagemang, överblick och detaljkunskaper finns nu. Att riskera att avveckla denna resurs är ett dåligt alternativ.”

I några länder håller just detta på att ske, i och med att planerna på ett slutförvar mer eller mindre lags på is. Kompetensen går givetvis att bygga upp igen, antingen inom landet eller genom att importera kunskap, men mycket tid och pengar kan gå förlorade om projekt av den här omfattningen går i stå.

Det går även att dra paralleller med andra industrier när verksamheten, av olika anledningar, avvecklats. Den svenska varvsindustrin är ett sådant exempel. I dag finns det en oro för vad som kommer att hända med kunskaperna på kärnteknikområdet, i och med avvecklingen av de svenska kärnkraftverken.

### 6.3 Konsekvenser för kostnader och finansiering

Om djupförvarsprojektet avbryts kommer SKB:s verksamhet att dras ner. Ett minimikrav är bibehållande av den organisation som krävs för en fortsatt säker drift av de befintliga anläggningarna. På kort sikt kommer således de årliga utgifterna för SKB:s verksamhet att minska. Vad som sker på längre sikt är mer osäkert. Kostnadsutvecklingen beror på vilken metod för slutförvaring som slutligen kommer att tillämpas, utvecklingsarbetet för denna metod samt i vilken takt bränslet kommer att tas om hand när hanteringen väl startar. Kostnaden för mellanlagringen i CLAB kommer att öka men samtidigt kommer en förlängning av den genomsnittliga lagringstiden och den lägre strålningsnivå och resteffekt som blir följderna därav kunna ge viss kompensation för detta. (Kapslarna skulle t ex kunna göras större och/eller placeras tätare i djupförvaret.)

Finansieringen av systemet för att ta hand om det använda kärnbränslet sker i första hand genom avgifter på kärnkraftsproducerad el, idag ca 1,0 öre/kWh. Medlen placeras i en särskild fond, kärnavfallsfonden. Finansieringen bygger även på att reaktorinnehavarna ställer säkerheter som ska garantera kostnadstäckning till en skälig nivå om kostnader tillkommer på grund av oplanerade händelser. Förlängd lagring i CLAB betraktas som en sådan oplanerad händelse och inräknas i underlaget för bestämning av säkerhetsbeloppet. En senareläggning av planeringen för det slutliga omhändertagandet skulle innebära att detta fall inkluderas under fonden med åtföljande justering av målet för uppbyggnaden av densamma.

Fonden liksom säkerheterna stäms av varje år mot de framtida kostnaderna varvid dessa nuvärdesberäknas med en kalkylränta som är i paritet med den avkastning på fonderade medel och säkerheter man förutsätter skall kunna uppnås. Med den framtida avkastning som idag ligger till grund för avgiftsberäkningen är det högst osannolikt att en avsevärd förskjutning av programmet på det sätt som skisseras här skulle kunna ge ett ökat behov av fondering. Detta oavsett i vilken riktning systemet för omhändertagande av använt bränsle utvecklas.

Ur finansieringssynpunkt ter sig således en senareläggning av djupförvarsprojektet och förlängd lagring i CLAB fördelaktig. Vid en avsevärd senareläggning uppstår frågan om de ekonomiska systemens långsiktiga stabilitet liksom stabiliteten av samhällsstrukturen i stort.

## 7 Slutsatser

Nollalternativet – det vill säga förlängd mellanlagring i CLAB – innebär inga väsentliga risker för omgivningen, under förutsättning att dagens höga kvalitet på drift och underhåll kan upprätthållas. Det finns i dagsläget inga tekniska skäl varför lagringstiden i CLAB inte kan förlängas till 100 år eller mer. Eftersom bränslets radioaktivitet och resteffekt avtar med tiden blir konsekvenserna av eventuella missöden betydligt lindrigare, än om samma missöde skulle inträffa i dag.

Om personalen i framtiden däremot tvingas överge CLAB kan det få allvarliga konsekvenser. Stråldoserna till personer i omgivningen skulle inte vara acceptabla och själva anläggningen skulle kontamineras i sådan utsträckning att det, vid en senare tidpunkt, skulle bli mycket svårt att återta kontrollen och flytta bränslet till en säkrare plats.

Eftersom samhällsutvecklingen, i ett långtidsperspektiv, är så svårbedömd går det inte att utesluta att CLAB, förr eller senare, måste överges. Denna reella risk är omöjlig att kvantifiera, men det går inte att bortse från den i det mångtusenåriga perspektiv som vi måste använda när det gäller kärnavfall.

En allvarlig konsekvens, på mera kort sikt, är att den kompetens som nu finns på kärnavfallsområdet troligen skulle gå förlorad. Forsknings- och utvecklingsarbetet har, genom åren, medfört att kompetens har byggts upp inom en lång rad nyckelområden. Om djupförvarsprojektet avbryts helt är det svårt att se varför personer med dessa kunskaper skulle stanna kvar och inte söka sig till andra områden.

Det finns även andra skäl, såväl etiska som juridiska, som gör att ett långsiktigt omhändertagande av det använda bränslet inte kan skjutas på framtiden mer än nödvändigt.

# Referenser

- 1 **SKB.** FUD-program 98. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning samt utveckling och demonstration av inkapsling och geologisk djupförvaring, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1998.
- 2 **SKB.** Systemredovisning av djupförvaring enligt KBS-3-metoden, R-98-10, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1998.
- 3 **Söderman E.** Kontrollerad långtidslagring i CLAB, R-98-17, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1997.
- 4 **Birgersson L, Grundfelt B, Pers K.** Konsekvenser av ett övergivet CLAB, R-98-18, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1997.
- 5 **SKI.** SKIs utvärdering av SKBs FUD-program 98, SKI Rapport 99:16, Statens kärnkraftinspektion, 1999.
- 6 **SKB.** Systemanalys. Val av strategi och system för omhändertagande av använt kärnbränsle, R-00-32, Svensk Kärnbränslehantering AB, 2000.
- 7 **Boverket.** Boken om MKB, Del 1. Att arbeta med MKB för projekt. Dnr: 4084-6055/91, Boverket, 1997.
- 8 **IAEA.** Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, International Atomic Energy Agency, 1997.
- 9 **KASAM.** Kärnavfall, metod – plats – miljökonsekvens. KASAMs yttrande över SKB:s FUD-program 98, SOU 1999:67, 1999.
- 10 **SKB.** CLAB Säkerhetsrapport, Allmän del, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1995.
- 11 **SKB.** Preliminär säkerhetsrapport, Allmän del, CLAB Etapp 2, PR 97-03a, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1997.
- 12 **IAEA.** Further analysis of extended storage of spent fuel. Final report of a Co-ordinated Research Programme on the Behaviour of Spent Fuel Assemblies during Extended Storage (BEFAST III) 1991–1996, IAEA-TECDOC-944, International Atomic Energy Agency, 1997.
- 13 **Vogt J.** Maximala radiologiska konsekvenser av fallande stenblock i förvaringsdelen, CLAB Etapp 2, PPM 98-3450-17, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1997.
- 14 **SKB.** Icke kärntekniska miljökonsekvenser, CLAB Etapp 2, PR 97-04, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1997.