

R-98-17

Kontrollerad långtidslagring i CLAB

Erik Söderman

ES-konsult AB

Oktober 1997

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



Kontrollerad långtidslagring i CLAB

Erik Söderman

ES-konsult AB

Oktober 1997

Denna rapport har gjorts på uppdrag av SKB. Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarnas egna och behöver nödvändigtvis inte sammanfalla med SKB:s.

SAMMANFATTNING

SKB genomför utredningar av konsekvenserna av fortsatt våt lagring av bränslet i CLAB efter de 60 år för vilka anläggningen dimensionerats.

Föreliggande rapport belyser konsekvenserna av fortsatt våt lagring av bränsle i CLAB under lång tid, 100 - 200 år. Lagringen sker under kontrollerade former, d.v.s. med drift och övervakning av anläggningen och med erforderliga underhållsåtgärder av bergrum, byggnader och installationer.

Studien, som genomförts i tre avsnitt och belyst Bergförstärkningar, Byggnadskonstruktioner och Installationer, visar att lagringstiden kan utsträckas till åtminstone 200 år, under vissa förutsättningar.

Grundläggande förutsätts att kvalitet i drift och underhåll upprätthålls, så att vattenkvalitet och miljö i lagringsdelen upprätthålls enligt gällande specifikationer, samt att infrastrukturen runt CLAB avseende el- och vattenförsörjning, avfallshantering och kompetens finns tillgänglig. Ovanjordsdelens hanteringsfunktioner kan läggas i ”malpåse” och rekonditioneras med, vid tiden för utlastning till slutförvar, adekvat utrustning.

Bränslet och övriga lagrade reaktorkomponenter bedöms ha goda förutsättningar för långtidslagring utan skadlig degradering. Vissa installationer i lagringsbassängerna kan utsättas för spaltkorrosion och behöva bytas. Befintligt uppföljningsprogram behöver kompletteras avseende spaltkorrosion under inverkan av neutronstrålning.

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

Byggnadskonstruktionerna inom lagringsdelen bedöms i huvudsak ha en livslängd om 200 år; dock erfordras ett uppföljningsprogram som kan visa behov av reparation och förnyelse av vissa delar.

Bergförstärkningar kan inte med dagens kunskap förutsägas ha en livslängd om 200 år. Detsamma gäller infästningsbultar för innertak och installationer. Här måste ett uppföljningsprogram och utbyte av vissa delar förutses. Detta program föreslås genomföras i två steg:

- Ett ”nollvärdesprov” som bör genomföras innan CLAB etapp 2 byggs, varvid en kartläggning görs av utförandekvalitet och tillstånd hos bergförstärkningar, sprutbetong och byggnadskonstruktioner så långt det är rimligt med hänsyn till tillgänglighet med bränsle i CLABs bassänger. Detta nollvärdesprov kan även ge erfarenheter till grund för detaljutförande av CLAB etapp 2.

- En "halvtidsrenovering" av CLAB etapp 1 som genomförs då etapp 2 tagits i drift men medan ännu två bassänger i taget i etapp 1 kan tömmas på bränsle och göras tillgänglig för noggrannare inspektion och erforderligt utbyte av konstruktionsdetaljer med begränsad livslängd.

Missödesanalysen visar att omgivningskonsekvenserna av missöden under en förlängd lagringstid minskar med tiden genom avklingningen av bränslets aktivitet och därmed av resteffekten. Även svårare missöden, som kunde bli en konsekvens av åldring får därigenom begränsade omgivningskonsekvenser. Tidsmarginalerna för att åtgärda inträffande driftstörningar ökar i betydlig grad.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 BAKGRUND	1
1.1 UTREDNINGENS FÖRUTSÄTTNINGAR	2
1.2 RAPPORTENS UPPLÄGGNING	2
2 BRÄNSLET OCH LAGRADE AKTIVA KOMPONENTER	3
2.1 LIVSLÄNGDSPÅVERKANDE FENOMEN	3
2.2 UNDERHÅLLS- OCH REPARATIONSMÖJLIGHETER	4
3 INSTALLATIONER OCH SYSTEM	5
3.1 LIVSLÄNGDSPÅVERKANDE FENOMEN	5
3.1.1 Borutbränning i kompaktkassetter	5
3.1.2 Allmänkorrosion i bassängerna	5
3.1.3 Spaltkorrosion	6
3.1.4 Hanteringsutrustning och processsystem	7
3.2 UNDERHÅLLS- OCH REPARATIONSMÖJLIGHETER	8
3.2.1 Bassängplåt och bassänginredningar	8
3.2.2 Process- och hjälpsystem	9
4 BERGRUM OCH BYGGNADSKONSTRUKTIONER	10
4.1 LIVSLÄNGDSPÅVERKANDE FENOMEN	12
4.1.1 Karbonatisering	13
4.1.2 Inverkan av klorider	13
4.1.3 Inverkan av sulfater	13
4.1.4 Inverkan av urlakning	14
4.1.5 Inverkan av självläkning	14
4.1.6 Inverkan av korrosion	15
4.2 SKADEFALL	16
4.2.1 Bassängblocket	16
4.2.2 Traversbanan	17
4.2.3 Innertaket	18
4.2.4 Bergbultar och sprutbetong	18
4.2.5 Övriga byggnadskonstruktioner	18
4.3 INSPEKTIONS- OCH PROVNINGSMÖJLIGHETER	18
4.4 REPARATIONSMÖJLIGHETER	21
5 MISSÖDESANALYS	23
5.1 FÖRUTSÄTTNINGAR VID MISSÖDEN EFTER LÅNG LAGRING AV BRÄNSLET	23
5.1.1 Aktivitetsinnehåll i långtidsperspektiv	23
5.1.2 Resteffekt	24
5.2 INLEDANDE HÄNDELSER	25
5.2.1 Befintliga analyser	25

5.2.2 Tillkommande händelser p.g.a. åldring	26
5.3 RISK- OCH KONSEKVENSVÄRDERING	26
5.3.1 Försämrade miljö i vatten eller luft	26
5.3.2 Helt utebliven kylning av bränslet	27
5.3.3 Kriticitet	27
5.3.4 Mekaniska skador på bränslet	28
5.3.5 Förlust av allt vatten i basängar	28
5.3.6 Yttre händelser	29
6 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	30
7 REFERENSER	32

KONTROLLERAD LÅNGTIDSLAGRING I CLAB

1 BAKGRUND

SKB genomför utredningar av konsekvenserna av fortsatt våt lagring av bränslet i CLAB efter de 60 år för vilka anläggningen dimensionerats.

Föreliggande rapport skall belysa konsekvenserna av fortsatt våt lagring av bränsle i CLAB under lång tid, 100 - 200 år. Förutsättning i denna utredning är vidare att lagringen sker under kontrollerade former, d.v.s. med drift och övervakning av anläggningen och med erforderliga underhållsåtgärder av bergrum, byggnader och installationer. Konsekvenserna av att CLAB överges med bränsle kvar i anläggningen redovisas i [8].

Alla funktioner skall belysas med tyngdpunkt på sådana anläggningsdetaljer, där livslängden kan vara svårbedömd och där möjligheterna att genomföra uppföljning och förnyring är begränsade. Följande huvudfrågor belyses i studien:

1. Vilka fenomen påverkar åldringen och vilka verkningar får denna på utrustningens funktion.
2. Hur identifierar man degradering genom inspektion och provning?
3. Hur kan åldrande utrustning ersättas innan risk finns för icke önskade händelser?
4. Vilka händelser kan inträffa, som kan leda till bränsleskador eller allvarliga driftstörningar?
5. Vilka kan omgivningskonsekvenserna bli av sådana händelser?

Utredningen är av teknisk natur och går ej in på kostnader för förnyelse.

Denna rapport utgör en sammanfattande beskrivning av arbetet, som bedrivits i tre delutredningar, som representerar tillgängligt erfarenhetsunderlag hos svenska konstruktörer:

- "Bergförstärkning" [1], utförd under ledning av professor Håkan Stille, KTH
- "Byggnadskonstruktioner" [2], utförd under ledning av Harry Larsson, ROX AB
- "Installationer" [3], utförd av ABB Atom under ledning av Tore Waltersten

IAEAs erfarenhetsutbyte BEFAST [5] utnyttjas för värdering av bränslets tålighet för lagring under lång tid.

1.1 UTREDNINGENS FÖRUTSÄTTNINGAR

Delutredningarna har studerat CLAB i dess nuvarande utformning och med ett ytterligare bergrum i huvudsak enligt samma riktlinjer som gäller för nuvarande anläggning. Erfarenhetsåterföring från CLAB etapp 1 kan i första hand väntas innebära förbättringar i etapp 2, som kommer att färdigställas år 2004 enligt gällande plan. Förbättringarna kan även väntas beröra långtidsegenskaper.

Utredningen utgår även från att driften av CLAB skall fortsätta i kontrollerade former. Detta gäller då i första hand lagringsdelarna med sina kyl- och reningssystem och hanteringssystem i lagringsdelen. Delar av ovanjordsdelen kan, efter avslutad inlagring, läggas i "malpåse" och rekonditioneras vid den tidpunkt då tömning av lagringsdelen blir aktuell.

I vissa delar är driften av CLAB beroende av samfunktion med närliggande kraftverk. Detta gäller t ex kraftförsörjning, vattenförsörjning och viss personal för administration och underhåll m.m. Vid avveckling av kraftverket förutsätts att dessa servicefunktioner kan ordnas på ett ur CLABs synpunkt likvärdigt sätt.

Utredningen har koncentrerats på tekniska aspekter och har inte gått in på kostnader för upprätthållande av CLABs kvalitetsnivå. Delutredningarna beskriver hur kvalitén skall följas upp och vilka åtgärder som behöver göras för att säkra kvaliteten.

1.2 RAPPORTENS UPPLÄGGNING

I de inledande kapitlen beskrivs hur bränslet, byggnader och olika system påverkas i ett längre tidsperspektiv samt hur deras funktionsduglighet kan upprätthållas genom underhåll och tillsynsprogram. Framställningen utgör en sammanfattning av de olika delutredningarna.

Därefter sammanfattas i missödesanalysen tänkbara inledande händelser och konsekvenser av dessa. Hänvisning sker till den slutliga säkerhetsrapporten för CLAB och framför allt tidsaspekterna i olika händelseförlopp och avklingningens inverkan på tänkbara utsläpp belyses. Därtill görs överväganden om svårare haverier, som ej behandlas i CLABs säkerhetsrapport, men som skulle kunna inträffa om uppföljning och förnyelse eftersätts.

I det avslutande kapitlet ges slutsatser och rekommendationer.

2 BRÄNSLET OCH LAGRADE AKTIVA KOMPONENTER

Kravet på bränslet och lagrade komponenter är att det skall bibehållas mekaniskt intakt så att det kan överföras till slutlager enligt de förutsättningar som gäller. Vidare skall förutsättas att bränsleskador som leder till frigörelse av aktivitet till bassängerna bibehålls inom de gränser, för vilka anläggningen dimensionerats.

Erfarenheter från lagring av använt bränsle finns i Sverige sedan Ågestareaktorn på 60-talet och av det kommersiella programmet som startade med Oskarshamn 1, i kommersiell drift sedan 1972. I Sverige fanns vid årsskiftet 1995/96 bränsle motsvarande 2.300 tonU lagrat. CLAB är efter utbyggnad med etapp 2 dimensionerat för 8.000 ton.

Sverige har under en följd av år samarbetat inom IAEA för att systematisera erfarenheterna av bränslelagring och för att samordna erforderliga forskningsprogram. Forskningsprogrammen har dels omfattat uppföljning och kontroll av lagrat bränsle, dels mer detaljerade studier av korrosionsförlopp på bränsle och komponenter i lagret, av inverkan av vattenkemi och av hög utbränning, av uppförandet hos skadat bränsle och av t.ex. korrosion i kontaktytan mellan olika material i lagret.

För CLAB pågår ett uppföljningsprogram som omfattar såväl bränsle som i lagringsbassängerna ingående komponenter och bassängplåten. Etapp 2 av detta uppföljningsprogram beskrivs i [4].

Det internationella samarbetet inom IAEA har rapporterats i BEFAST-gruppen (Behaviour of Spent Fuel Assemblies during Extended Storage). Slutrapporten av BEFAST III från Maj 1997 [5] har använts som underlag för föreliggande rapport.

I de länder som deltog i BEFAST-samarbetet fanns vid årsskiftet 1995/96 drygt 60.000 tonU bränsle med zirkoniumbaserad kapsling som lagrades i vattenbassänger på kraftverk eller i särskilda lagringsanläggningar. Erfarenheten är således omfattande och omfattar lagringstider upp till 44 år och utbränning hos bränslet upp till 50 MWd/tonU.

2.1 LIVSLÄNGDSPÅVERKANDE FENOMEN

Korrosion på bränslekapslingen kunde påverka dennas livslängd. Såväl teoretiska beräkningar som erfarenheterna ligger bakom BEFAST-rapportens slutsats att inga tekniska begränsningar finns för långtidslagring i bassänger.

Denna slutsats baseras på de vattenkemiska specifikationer för de olika anläggningar, som bidragit till erfarenhetsunderlaget.

Väsentligt är emellertid att lagringen kan ske under vattenkemiskt kontrollerade former. CLABs specifikationer är i flera avseenden strängare än i många andra av de anläggningar som ligger till grund för erfarenheterna.

Även inverkan av det begränsade inre övertryck som finns i bränslestavarna, och av väteförekomst i kapslingen har beaktats inom BEFAST. De visades inte ha någon effekt som kan begränsa livslängden.

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

Erfarenheterna av lagring av skadat bränsle är likaledes goda, även om de är relativt begränsade. Bränsle med små skador, som kunnat observeras i kraftverken, lagras ofta på samma sätt som oskadat bränsle. Sedan aktiv gas och vattenlöslig aktivitet frigjorts sker ingen mätbar aktivitetsfrigörelse från själva bränslet.

2.2 UNDERHÅLLS- OCH REPARATIONSMÖJLIGHETER

På grundval av erfarenheter och internationell forskning synes behovet av ytterligare åtgärder för att säkra lagring även i tidsperspektivet 100 - 200 år begränsade. Utvecklingen bör dock fortsatt följas genom inspektioner och särskilt kontaktytor mellan bränslekapsling och konstruktionsmaterial i spridare m.m. bevakas. Eftersom bränslet tillförs under minst en 30-årsperiod kommer gott om tid att föreligga för åtgärd om något problem skulle uppstå. För bränsleskador av begränsad omfattning finns utrustning för omhändertagande i särskilda skyddsboxar.

Det är vidare väsentligt att vattenkemiska specifikationer kan innehållas, även om marginalerna för CLABs del förefaller goda i en internationell jämförelse.

3 INSTALLATIONER OCH SYSTEM

Det förutsätts här att CLAB används för inlagring av bränsle och hårdkomponenter under sin planerade livslängd. Om CLAB sedan används för fortsatt lagring kan hanteringsdelen ovan jord läggas i ”malpåse” och endast de delar som erfordras för säker lagring kontinuerligt hålls driftklara. Inför urlastning till slutlagring kan sedan hanteringsdelarna rekonstrueras med vid den tidpunkten modern utrustning om de inte kontinuerligt underhållits.

För att en sådan ”malpåse”-strategi skall kunna genomföras, kan viss komplettering av utrustningen i lagringsdelen komma att erfordras. Exempelvis föreslås, att kassettraversen förses med gripapar för enskilda bränsleelement och att viss inspektions- och serviceutrustning installeras i lagringsdelen.

Delutredningen [3] berör dels materialintegriteten hos bränslekassetter, bassängplåt och bassänginredningar, dels livslängden hos processystem och hjälputrustningar.

3.1 LIVSLÄNGDSPÅVERKANDE FENOMEN

3.1.1 Borutbränning i kompaktkassetter

Bränslekassetterna för kompaktlagring är utförda med borplåtar för att säkra underkriticitet även om färskt bränsle med hög reaktivitet skulle tillföras lagret. Genom den, visserligen begränsade, neutronbestrålning som dessa utsätts för sker en utbränning. Beräkningar visar att förbrukningen av ^{10}B genom bestrålningen under 200 år är helt obetydlig ($<10^{-6}$ av borinnehållet).

3.1.2 Allmätkorrosion i bassängerna

Bassängplåt, bränslekassetter och övrig bassänginredning är i huvudsak konstruerad av rostfritt material av hög kvalitet. Med gällande vattenkemispecifikationer, tabell 2.1, blir allmätkorrosionen mycket låg. Få uppgifter har hittats om allmätkorrosionshastigheter för rostfritt stål i rent vatten vid låga temperaturer. [5] refererar koreanska mätningar som pekar på 0,01-0,1 $\mu\text{m}/\text{år}$. Konservativa extrapolationer från mätningar i reaktormiljö pekar på en avverkning om 0,042 $\mu\text{m}/\text{år}$. Utgångspunkt för extrapolationen är 0,21 $\mu\text{m}/\text{år}$ vid 280°C. Borplåtarna har konstruerats med en korrosionsmån om 0,14 mm. Denna dimensionering styrs av neutronabsorptionsförmågan; för övriga konstruktionselement kan en högre avverkning accepteras.

Tabell 2.1: Vattenkemiska specifikationer

	Specifikation	Typiska värden CLAB
Konduktivitet (25°C) $\mu\text{S/m}$	max 500	100
pH	5,6-8,6	6,5-7
Klorid (Cl^-) ppb	max 500	<0,2
Fluorid (F^-), ppb	max 500	0,5-1
Kisel (SiO_2) ppb	max 2000	100-200

Allmänkorrosion på bassängplåt, -inredningar och bränslekassetter bedöms således inte utgöra något problem för förlängd lagring i 200 år. Förutsättning är dock, liksom beträffande bränslet, att de vattenkemiska specifikationerna innehålls.

3.1.3 Spaltkorrosion

Spaltkorrosion kan tänkas uppstå i konstruktioner där spalter förekommer och där den lokala vattenkemin kan avvika från bassängvattnets. Sådana avvikelser kan förekomma i spalter främst av två skäl:

- Radiolys på grund av neutronstrålning
- Stagnanta förhållanden i spalten

Radiolys innebär att vattenmolekyler under neutronbestrålning sönderdelas varvid joner, radikaler och nya molekyler bildas. Detta medför sannolikt att en oxiderande miljö bildas i spalten. Potentialskillnaden mellan spalten och det omgivande mediet minskar då och någon risk för spaltkorrosion uppstår inte. Vätgasbildning vid radiolysen kan dock vid tillräckligt höga koncentrationer leda till en reducerande miljö.

Radiolysförutsättningar föreligger enbart i närheten av själva bränslet, d.v.s. i vissa bränslekassetter. Prover har tagits ut från en äldre typ av kassett. Efterföljande undersökning av de utkapade proverna visade inte på något anmärkningsvärt. Dessa kassetter har emellertid endast använts under drygt 10 år och ger inte underlag för långtgående slutsatser. Även i vissa PWR-kassetter förekommer spalter med stagnanta förhållanden. En noggrannare utredning av dessa förutsättningar rekommenderas.

Beträffande bassänginredningar i övrigt är även dessa i vattenberörda delar utförda i rostfritt stål 2343. Kassettstället består av ett gallerverk som är skruvat och svetsat till svetsplattor i bassängväggarna c:a 3 m över bassängbotten. Detta gallerverk, som är lågt påkänt utom i samband med jordbäv-

ningar, innehåller en stor mängd knutpunkter, sammanhållna med bultar. Här uppkommer spalter, där spaltkorrosion kunde uppkomma.

Kassettställets konstruktion och utformning kan på lång sikt medföra problem, varför det bör inspekteras regelbundet.

Bassängplåtens baksida är utsatt för en annan kemi än det totalavsaltade vattnet. Normalt ligger den an mot betongen och är utsatt för luft med en relativt hög fukthalt. Vid eventuellt uppkommande bassängläckage, 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 inte, bassängerna är isolerade från grundvatteninläckage och kloridhalten i vattnet förblir låg. Eventuell kloridförekomst i betongen skulle kunna ge upphov till gropfrätning. Även betongens kloridhalt är emellertid låg, vilket bekräftas av gjorda vattenanalyser på läckagevatten, och det syrafasta rostfria stålet (SS2343) har hög beständighet mot gropfrätning.

Mikrobiologisk aktivitet i bassängvattnet kunde förorsaka problem. Några sådana problem har inte iakttagits i kraftverkens bränslebassänger. Den på grund av radiolysen förekommande väteperoxiden motverkar mikrobiell aktivitet. Dock har i CLAB iakttagits beläggning av mögel på vissa ytor utsatta för låg strålnivå. Ett sådant skulle kunna ge upphov till spaltkorrosion. Denna fråga bör följas upp ytterligare och eventuellt specifikationer för ytrenhet införs

3.1.4 Hanteringsutrustning och processystem

Hanteringsutrustningar i lagringsdelen, processystem för kylning och rening samt servicesystem för ventilation, vatten- och elförsörjning samt avfallshantering måste hållas i drift. Livslängden hos dessa system begränsas dels av slitage, dels av tillgång till reservdelar och kompetens för underhåll av omodern utrustning. Några tekniska svårigheter att genomföra sådant underhåll och förnyelse av processystem finns inte. För delar utanför bassängerna finns åtkomlighet för reparationer, för vattenberörda delar i bassängerna och för genomföringar i bassängväggarna gäller vad ovan sagts om bassänginredningar.

Det finns anledning notera behovet av infrastruktur runt CLAB i detta perspektiv. Dels erfordras försörjningar med el, vatten och även de tjänster som OKG nu består, dels erfordras tillgång till transporter och lagring av det låg- och medelaktiva avfall som kommer att genereras.

3.2 UNDERHÅLLS- OCH REPARATIONSMÖJLIGHETER

3.2.1 Bassängplåt och bassänginredningar

Bassängplåten tätar bassängerna mot bakomliggande betong. Som nämnts ovan förväntas inte korrosionen begränsa livslängden hos plåten, den bedöms vara mer än 200 år. Läckage kan icke förty uppkomma. Detta kan detekteras med det läckagekontrollsystem som samlar upp eventuellt läckage. Mindre läckage kan accepteras; viss påverkan på betongen kan dock ske, se vidare kapitel 4 nedan. Reparation av läckande bassängplåt kan ske först sedan vattennivån sänkts till under nivån där läckan skett - i vissa fall kan alltså bassängen även behöva tömmas på bränsle. Metoder är också under utveckling för reparation av läckage under vatten.

CLAB är så dimensionerat att en bassäng i taget alltid skall kunna tömmas genom omflyttning av bränslekassetter. Detta krav måste vidmakthållas också i långtidsperspektivet.

Inspektion av bränslekassetter kan göras i planerade former och eventuell spaltkorrosion klarläggas på ett tidigt stadium. Erfarenheterna bör även läggas till grund för eventuell modifiering av framtida kassetter. Reparation eller utbyte av kassetter kan tekniskt genomföras, men kan komma att förutsätta en hanteringsutrustning i lagringsdelen, som ej finns för närvarande.

Skulle degradering av kassetter ske utan att upptäckas, kunde i svåraste fall konsekvensen kunna vara att en borplåt i kassetten lossnar och faller mot kassetten botten. Borplåten är emellertid tillräckligt lång för att trots detta uppfylla sin nukleära funktion, risk för kriticitet i kassetten uppkommer således ej.

Övrig utrustning i bassängerna kan i viss utsträckning inspekteras utan att bränslet flyttas. Beträffande kassetställena kan en noggrann inspektion liksom reparation göras endast i en tömd bassäng. Skulle kassetställens gallerverk befaras brista, kan deras funktion provisoriskt ersättas av låsgafflar, som håller ihop bränslekassetterna och bibehåller den geometriska ordningen.

En inspektionsplan för bränslet och utrustningen i bassängerna finns utarbetad [4] och genomförs årligen enligt plan. Denna inspektionsplan bör kompletteras med studium av kuponger utsatta för spaltkorrosion under inverkan av neutronstrålning för att få kunskap om radiolysens inverkan.

Det problem som identifierats beträffande reparation utgörs av skiljeväggar mellan bassänger, där portramarna med tillhörande tätningsplåt för reparation skulle kräva tömning av två bassänger. Troligen kan emellertid problemet lösas genom specialkonstruerade tillfälliga avtätningar. Även om inga specifika problem identifierats i dessa områden, bör man för CLAB etapp 2 överväga att montera dubbla portramar, en mot varje bassängdel.

De radiologiska förutsättningarna vid inspektion och reparationer förväntas vara bättre i långtidsperspektivet än i den nu pågående driften på grund av avklingningen av viktiga radioaktiva ämnen. Co-60, som är den viktigaste aktiveringsprodukten, har en halveringstid om c:a 5 år. Även väsentliga klyvningsprodukter, Kr-85, Cs-134 och Cs-137 har minskat kraftigt. Detta kan delvis motvägas av deponerad aktivitet på bassängplåt och konstruktioner, men arbetsmiljön vid reparationer förväntas ändå kunna göras helt acceptabel.

3.2.2 Process- och hjälpsystem

Dessa är normalt åtkomliga för inspektion. Utbyte av erforderliga delar kan göras tekniskt enkelt även om det kan vara förenat med kostnader. Driftavbrott under utbyte får anpassas till funktionskrav på olika systemdelar.

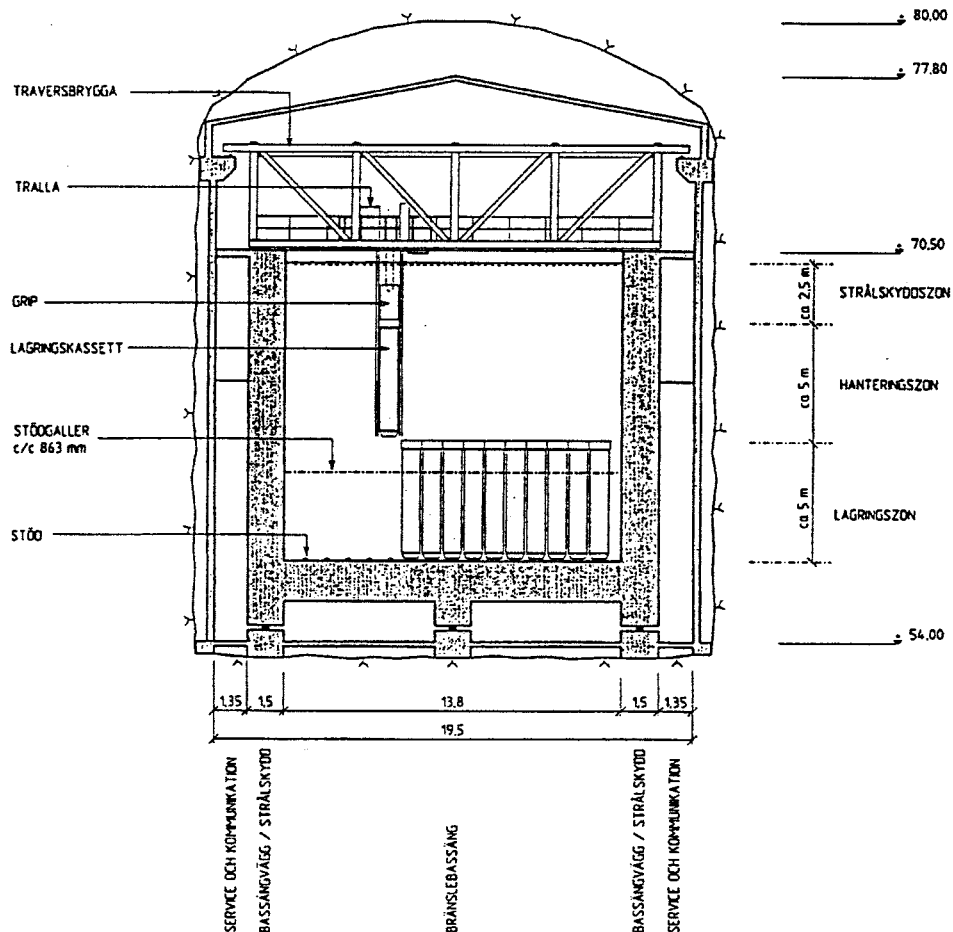
Livslängden hos dessa system varierar kraftigt. Rörsystem kan möjligen hålla 200 år, medan pumpar och andra processkomponenter, ventilations- och elutrustning kanske behöver bytas efter 30-60 år. Kontrollutrustning och datorer har normalt kortare livslängd på grund av teknikutvecklingen.

4

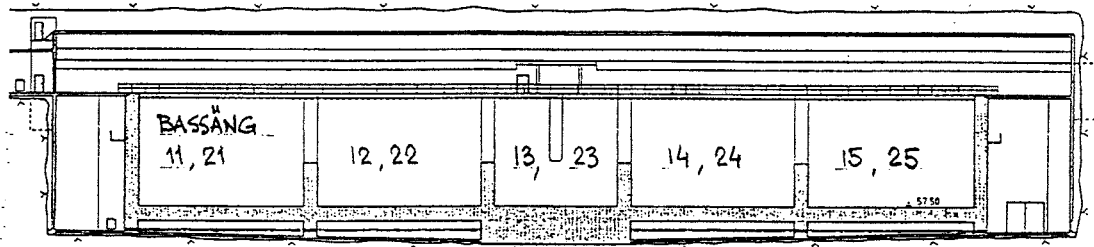
BERGRUM OCH BYGGNADSKONSTRUKTIONER

Hittills har bränslets och installationernas livslängd värderats utifrån förutsättningen att bergrummet och byggnaderna är oförändrat stabila. Även denna förutsättning måste givetvis ifrågasättas i långtidsperspektivet. Detta görs i [1] och [2], som innehåller detaljerade genomgångar av miljöpåverkan på de olika byggnadsdelarna. I [1] har felträdsteknik använts för att identifiera felkedjor, som kan leda till bergutfall och bränsleskador.

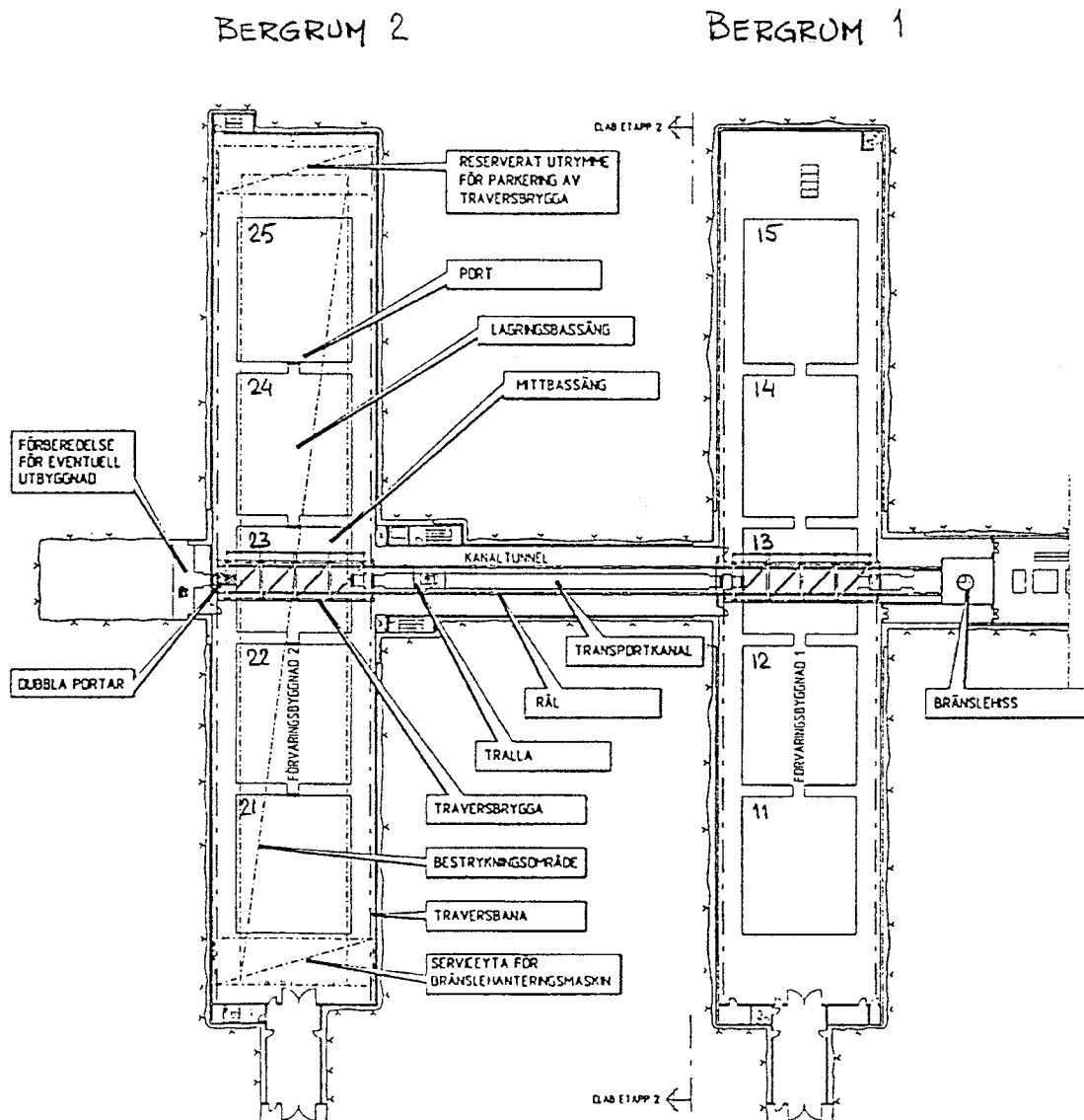
I figur 4.1 till 4.3 visas bergrummets byggnadsdelar.



Figur 4-1: Tvärsektion av CLAB



Figur 4-2: Längdsektion av CLAB



Figur 4-3: Plan av CLAB, med bergrum II

Berget som sådant förutsätts stabilt, tidsperspektivet 60 eller 200 år är i geologiskt sammanhang betydelselöst. Påverkan kan ske genom vittring av sprickytor eller lermineral, de delar som givit anledning till bergförstärkning. De delar som värderas är de, som kan förorsaka nedfall av utrustning, betong eller bergkilar i bassängen eller på byggnadsdelar eller utrustning som kan störa driften. Bergförankrade delar av betydelse är då:

1. Bergmassan och bergförstärkning i form av bultar och sprutbetong ensam eller i samverkan som bärande och tätande element i tak och vägg.
2. Betongkonsol i samverkan med förspända stag.
3. Sprutad betongbåge som bärande element.
4. Innertak upphängd med ingjuten bult.
5. Hängrännor och stuprör för avledning av inläckande vatten.
6. Dräner för uppsamling av inläckande vatten.
7. Innervägg av armerad betong fäst till berg med bult.
8. Infästningar för ventilation och övriga bergförankrade detaljer.

Av byggnadsdelarna inuti lagringsdelen har följande delar, som väsentligt kan påverka lagringsfunktionen studerats:

1. Bassängerna med fundament och glidlager
2. Traversbanan
3. Innertaket
4. Övriga byggnadsdelar.

4.1 LIVSLÄNGDSPÅVERKANDE FENOMEN

Livslängden hos byggnadsdelarna påverkas i hög grad av den miljö de utsätts för. Betong, armering och stålkonstruktioner utsatta för grundvatten finns i en fuktig eller våt miljö med grundvattnets innehåll av klorider och andra salter, som vid avdunstning kan anrikas i betongen. Byggnadsdelar inom själva lagringsbyggnaden har en torr miljö eller kan ha kontakt med totalavsaltat vatten. Skillnaderna i miljön leder till skillnader i livslängdsvärdering.

Betongen ger ett grundläggande gott korrosionskydd för armeringen, dels genom att den är tät och skyddar mot vattengenomströmning, dels genom att pH-värdet hos betongens porvatten är högt. Betongens egenskaper kan de-

graderas av kemiska ämnen i omgivningen, som antingen påverkar betongens hållfasthet eller möjliggör kontakt med korrossiva ämnen som kan angripa armering. Degradering motverkas i vissa avseenden av fortsatt hydratation av cementkorn i betongen, som ökar dess hållfasthet och av självläkning av sprickor och andra defekter.

4.1.1 Karbonatisering

Karbonatisering innebär att koldioxid, som finns i luften, tränger in i betongen och reagerar med hydroxyljonerna och bildar kalciumkarbonat. Karbonatiseringen tränger in som en front i betongen och orsakar en kraftig sänkning av porlösningens pH. När karbonatiseringsfronten når stålet är armeringen inte längre korrosionskyddad.

Karbonatiseringen påverkar inte betongens hållfasthet påtagligt, utan innebär endast att korrosionsskyddet upphör. Tiden det tar för karbonatiseringsfronten att nå in till armeringen är därför viktig och uppskattas enligt nedan:

- Bassängfundament under golvnivå (hög fukthalt, ringa CO₂) >200 år
- Bassängfundament över golvnivå (RH 50%, normal CO₂) ca 100 år
- Bassänger, utsida mot luft (RH 50%, normal CO₂) ca 100 år
- Bassänger, insida mot plåt (RH >80%, ingen CO₂) >200 år
- Övriga konstruktioner i inomhusmiljö (RH 50%, normal CO₂) 50-100 år
- Övriga konstruktioner mot berg (RH >80%, ringa CO₂) c:a 200 år

Sedan betongens täcksikt karbonatiserats är det således viktigt att god inomhusmiljö upprätthålls för att begränsa armeringskorrosionen.

4.1.2 Inverkan av klorider

Klorid förekommer i CLAB endast i grundvattnet och även där i förhållandevis låg koncentration. Inga risker bedöms därför föreligga för kloridinverkan på själva betongen. Däremot kan kloriderna påverka korrosionen på stål i bergförankrade delar, se avsnitt 4.1.6 nedan.

4.1.3 Inverkan av sulfater

Sulfatangrepp på betong förorsakas av att vattenlösliga sulfater i grundvattnet tränger in i betongen och reagerar med dess innehåll av aluminatföreningar. De kemiska föreningar som bildas är starkt svällande. Expansionen kan leda till totalt sönderfall av konstruktionen.

Sulfathalten i grundvattnet uppgår inte till sådana värden att besvärande sulfatangrepp behöver befaras under anläggningens normala livstid. På vis-

sa ställen kan dock anrikning av sulfater ske, till exempel i sprutbetong och andra beklädnader i bergrum, när grundvatten med måttligt hög sulfathalt kontinuerligt tränger igenom betongen och avdunstar på insidan. Det är troligt att vissa motgjutna betongkonstruktioner av detta skäl kan börja degraderas på kortare tid än 200 år.

4.1.4 Inverkan av urlakning

Rent mjukt vatten kan lösa avsevärda mängder kalciumhydroxid, upp till 1,65 g/l vid 20°C. Vatten som strömmar genom otät betong eller genom sprickor i betongen kan därför gradvis lösa ut den kalciumhydroxid som bildats vid cementreaktionen. Kalkurlakningen kan medföra hållfasthetsförluster.

Den betong som finns i bergrummet har högt vatten/cementtal och är därmed tämligen resistent mot urlakning. Även vid genomgående sprickor i en sådan betong blir urlakningen begränsad till en tunn zon intill sprickan. Sådan lokal urlakning kan öka risken för armeringskorrosion.

Rent, totalavsaltat vatten finns i bergrummets bassänger. Bassängerna är invändigt klädda med 4 mm rostfri plåt i botten och 3 mm i väggarna. Plåt-skarvarna är utförda med dubbeltätade svetsade skarvar med testkanaler. Därför förekommer endast något enstaka lokalt läckage genom plåten eller genom något svetsskarv, möjligen vid bassängportarna. Ett sådant läckage finns nu i bassäng nr 14. Det mesta av det utläckande vattnet samlas upp i läckindikeringsystemet. Emellertid finns det också en drag-/krympspricka i en gjutfog i bassängens botten, där en mindre del av vattnet läcker ut. Flödet i sprickan har varierat från 2 droppar per 10 min till ingenting. Därtill kommer den fukt som avdunstar. Vattnet som kommer ur sprickan förefaller vara kalkmättat, eftersom kalk faller ut i kontakt med luften.

Försiktiga beräkningar pekar på att för en sådan spricka kan den uttransporterade kalkmängden bli 20 kg på 100 år. Detta kan vara tillräckligt för att åstadkomma urlakning som försvagar betongtvärsnittet.

Betongkonstruktioner som är gjutna mot berg, till exempel bassängfundament, ytterväggarnas fundament, traverskonsolerna, kan bli utsatta för urlakning. Grundvattnet är emellertid betydligt mindre aggressivt än bassängvattnet, varför urlakningsprocessen blir långsammare. Vid lokala större grundvattenflöden kan skador inträffa på kortare tid än 100 år.

4.1.5 Inverkan av självläkning

Om vatten läcker genom en spricka kan självtätning ske genom att kalciumhydroxid karbonatiseras av den koldioxid som finns i det genomströmmande vattnet och i omgivande luft. Kristaller av kalciumkarbonat och kalciumhydroxid faller ut, ansamlas och växer i sprickorna, vilket så småningom resulterar i att sprickan tätas.

Självvätning sker inte om sprickan rör sig och inte heller om genomströmningen av vatten är så kraftig att urlakning sker och avdunstningen på luftsidan är otillräcklig för att den lösta kalken skall fällas ut.

Självvätningen gynnar också korrosionsskyddet på armeringen. Självvätningens procedur är således gynnsam för betongkonstruktionernas livslängd. Den är viktig för de små sprickor som uppkommer i sprutbetongen, men har ej beaktats beträffande bassängerna.

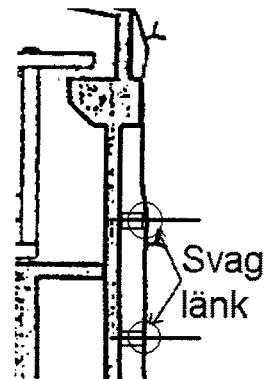
4.1.6 Inverkan av korrosion

Som har noterats ovan tar det lång, ofta mycket lång tid innan betongen har påverkats av de olika miljöeffekterna så att korrosionsskyddet på armeringen har försämrats så mycket att korrosionen kommer igång. Men när förutsättningarna för korrosion väl är uppfyllda - sänkt pH-värde, närvaro av fukt, syre samt eventuellt klorider eller andra korroderande ämnen - kan korrosionshastigheten i stålet i vissa fall bli hög.

Konservativt bör man därför inte tillgodoräkna sig det tillägg i livslängd som skulle kunna erhållas för den tid det tar för korrosionen att nå en skadlig nivå. Om en lång livslängd önskas skall således förebyggande åtgärder sättas in innan korrosionen kommit igång.

Korrosionsmiljön inom byggnaden är inte aggressiv. Luftfuktigheten är låg och vattenkontakt med betongen utgörs av totalavsaltat vatten. Korrosionsrisker föreligger främst för bergförankrade delar:

1. Infästningsbultar för betongväggarna runt bergummet. Dessa är förankrade för att inte knäckas, se Figur 4-4. Övergången mellan berg och infästningsbult utgör den svaga länken. För dessa bedöms livslängden till 50-70 år. För längre livslängder bör troligen bultarna ersättas med rostfritt material.
2. Infästningsbultar för innertak och installationer är i större utsträckning än vägginfästningarna tillgängliga för inspektion. Den svaga länken utgörs även här av anslutningen mot berget.



Figur 4-4: Förankring av vägg

3. Betongkonsolerna för traversbanan. De är fastsatta i berget med både förspända stag av höghållfast stål och ingjutna bultar utan förspänning. De förspända stagen till betongkonsolerna har så kallat dubbelt korrosionsskydd, vilket innebär att staget är inneslutet i ett plaströr med cementbruk mellan röret och staget. Emellertid är den yttersta änden av stången fri och utgör därmed den ur korrosionssynpunkt svagaste delen av konstruktionen. Det är därför inte uteslutet att något stag kan rosta av på kortare tid än 50 år. Endast traversbanan har idag förspända

stag. Dessa kan utsättas för spänningskorrosion. De är försedda med mätklockor som anger förspänningskraften och kan således kontrolleras.

4. Sprutbetongens armering kan angripas lokalt i områden där sprickor förekommer och grundvatten läcker in; självläkning motverkar dock. Generellt bedöms livslängden till mer än 100 år, i ett längre perspektiv krävs troligen utbyte i vissa partier.
5. Beträffande bergbultar är förhållandena delvis skilda från vad som gäller för betongarmering. Sammansättningen av bultbruket liksom utförandekvalitet, t.ex. avseende vidhäftning är väsentlig. I allmänhet är bergbultarna korrosionsskyddade. Vid god kvalitet på utförandet bedöms livslängden till minst 100 år för ingjutna bergbultar.

Läckströmmar i bergmassan, orsakade av elektriska anläggningar, särskilt likströmsanläggningar, kan förorsaka punktkorrosion på metaller i elektrisk kontakt med berget. Förekomsten av sådana läckströmmar bör kartläggas.

4.2 SKADEFALL

Nedan diskuteras de skadefall som i första hand kan äventyra bränslets integritet eller leda till allvarliga driftstörningar vid degradering i bergförstärkningar eller byggnadsdelar.

4.2.1 Bassängblocket

Bassängerna utgör ett mångfalt statiskt obestämt system. Det innebär att lokala överskridanden av hållfastheten yttrar sig i lokala deformationer och sprickor i betongen. Degradering är ett långsamt förlopp och uppkommande deformationer kan identifieras, värderas och åtgärdas i god tid innan bassängernas mekaniska integritet äventyras. Om sprickorna i betongen blir genomgående och om en större läcka skulle uppstå i tätplåten, kan vattnet i bassängen förloras.

Bassängerna är, förutom mittbassängen i varje bassängblock, upplagda på plintar med glidlager för att ta upp längdändringar på grund av temperaturvariationer och krympning. Om glidförmågan hos lagren skulle försvinna kan man få mycket stora krafter vid lagren och som sprider sig vidare i bassängerna och bassängfundamenten med sprickor och andra skador som följd. Däremot torde inte bassängerna kollapsa. Bassängvatten kan dock förloras om man samtidigt har läckor i bassängplåten. Riskerna för skador av denna art uppkommer främst vid nedkylning av bassängerna efter en kraftig uppvärmning. Begränsningar finns därför i tillåten nedkylningstighet.

En total kollaps av hela bassängblocket bör inte behöva förutses i scenariet med fortsatt övervakad drift av CLAB. Möjligen kan degradering leda till att marginalerna för bassängblockets jordbävningssäkerhet minskar.

4.2.2 Traversbanan

Upplagen (konsolerna) för traversbanan till bräslhanteringsmaskinen är troligen den byggnadskonstruktion, förutom bassängblocket och bergmassan, som vid kollaps kan ge de allvarligaste skadorna på bränslet.

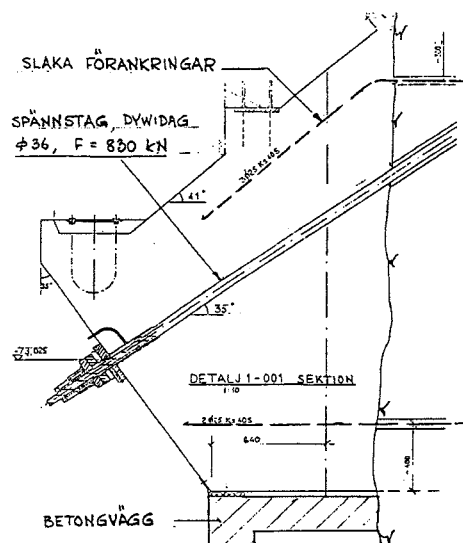
Konsolerna är utförda av betong och väger ca 8 ton per styck. De är förankrade i berget med ett förspänt stag som är dimensionerat för lasten från konsol och traversbana. Dessutom är konsolen förankrad med ett antal ingjutna bultar utan förspänning som också klarar dimensionerande last, Figur 4-5.

Det förspända staget är försett med en mätklocka som anger förspänningskraften. Om staget blir utsatt för korrosion kan det gå av utan förvarning. Konsolen hålls då på plats av bultarna förutsatt att dessa har kvar c:a 20% av sin styrka.

Om konsolen lossnar helt, kommer den att stå kvar på den underliggande betongväggens överkant om traversbalken är obelastad. Om balken är belastad kan konsolen falla ned på bassängkanten, förutsatt att infästningen till balken lossnar. Det finns emellertid en liten risk för att den tippar över och ramlar ner i bassängen. I så fall kommer några bränsleelement

att skadas, se vidare avsnitt 5.3.4. Om det inte finns något bränsle i bassängen kommer det troligen att gå hål i plåten, medan betongkonstruktionen fortfarande kommer att vara intakt. Traversen själv är så utförd att den inte kan falla ned i bassängen och förorsaka bränsleskador.

Den ovanstående beskrivningen gäller bergrum 1. Traversbanan i bergrum 2 planeras att utföras på ett sätt som gör den ännu mindre känslig för bergförankringarnas kondition.



Figur 4-5: Traverskonsol

4.2.3 Innertaket

Innertaket inklusive det bärande balksystemet 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 ned i bassängerna. Skadorna på bränslet blir betydligt mindre jämfört med fallande traverskonsol eftersom den fallande vikten är mindre och mer utbredd.

4.2.4 Bergbultar och sprutbetong

Innertaket skyddar mot mindre utfall av sprutbetong från taket. Dimensioneringen av bergförstärkningarna är gjord så att nedfall av bergblock ej behövt beaktas i CLABs säkerhetsanalys. Skulle emellertid oupptäckta skador förorsaka nedfall av betong eller stenblock kan detta leda till skador på underliggande bränsle eller på hanterings- och processutrustning. Vidare kan läckor i bassängplåten åstadkommas; däremot bedöms sannolikheten för skador som äventyrar bassängernas funktion som obetydlig.

4.2.5 Övriga byggnadskonstruktioner

Övriga konstruktioner är belägna i nivå med bassänghallsplanet eller utanför bassängerna under detta plan. Konstruktionerna är relativt små jämfört med bassängerna och bedöms därför inte kunna skada 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, som behandlas i kapitel 3 och i missödesanalysen, kapitel 5.

4.3 INSPEKTIONS- OCH PROVNINGSMÖJLIGHETER

Syftet med inspektion och provning är att i tid få underlag för bestämning av nödvändiga åtgärder för att vidmakthålla anläggningens funktioner.

Åldringen identifieras genom okulära besiktningar, mätning och provtagning. Okulära besiktningar och vissa mätningar och provtagningar utförs redan rutinmässigt enligt fastställda program, till exempel mätningar av bassängernas horisontella rörelser och vertikala deformationer och av utpumpade mängder grundvatten. Provtagning görs regelbundet av grundvattnets sammansättning. Dessa åtgärder utförs med intervall upp till 4 år.

För bestämning av åldringsprocessens utveckling och återstående livslängd hos byggnadskonstruktionerna erfordras en betydligt mer omfattande provtagning, som emellertid kan genomföras med tämligen stora intervall. Man

får härvid skilja på fristående konstruktioner som är åtkomliga från alla sidor för granskning och konstruktioner som har dolda delar.

Inspektionsprogram kan utformas som ger god information om betongens och bergförstärkningarnas tillstånd. Genom kombination av olika metoder, oförstörande och förstörande, kan tillståndet hos olika konstruktionsdetaljer följas:

- Okulär granskning av betongsprickor och bultändar
- Sprickmätning med mätlupp
- Mätning av karbonatiseringsdjup med indikatorvätska
- Täcksiktetsmätning - elektromagnetisk kontroll av täcksiktets tjocklek
- Hållfasthetsprovning och fysikalisk/kemisk analys på utborrade kärnor.
- Bomknackning
- Vidhäftningsprov på kärnor i sprutbetong
- Provdragning av infästningsbultar.
- Urborring och analys av bergbultar och infästningsbultar

Vissa av provningarna är svåra att genomföra, dels p.g.a. åtkomlighet, särskilt ovanför bassängnivån, dels därför att de är förstörande, t.ex. urborring av bergbultar. Det rekommenderas att ett inspektionsprogram genomförs i CLAB för att kvalitetsbestämma beständighet och utförandenivå på befintlig konstruktion. Tabell 4.1 visar föreslagen omfattning avseende de bergberörda delarna. Tabell 4.2 visar motsvarande program för byggnadsdelar inom lagringsdelen..

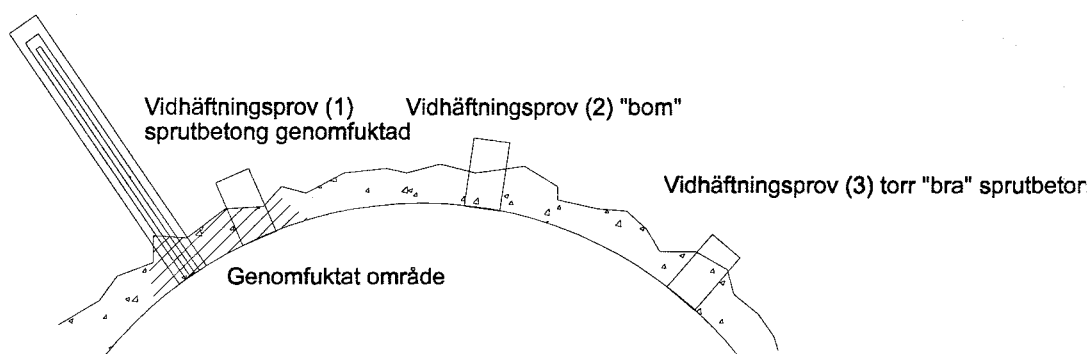
Tabell 4.1 Inspektionsprogram för "noll-värdes" bestämning av bergberörda delar.

Visuell inspektion:	Alla fria berg- och sprutbetongytor inspekteras visuellt, sprickbildning, genomfuktning, ev utfall noteras.
Bomknackning:	Alla sprutbetongytor bomknackas. Minst 1 "knack" per m ² .
Vidhäftningsprov:	Kärnborring och utdragning utförs i serie om tre, 1) sprutbetong genomfuktad 2) "bom" 3) torr "bra" sprutbetong. Vidhäftningsprov utförs i samma områden som utborrad bult. Exakt plats bestäms efter visuell inspektion.
Provtryckning:	Kärnor från vidhäftningsprov provtrycks om möjligt, annars tas nya kärnor i anslutning till plats för vidhäftningsproven.

Materialanalys:	Kärnor från vidhäftningsprov analyseras med avseende på kloridhalt, sulfathalt, densitet. Om möjligt bestäms karboniseringsdjup.
Utborrning av bult:	C:a 10 st takbultar borrar ut i olika sektioner. Exakt plats bestäms efter visuell inspektion (genomfuktning av sprutbetong). Ev korrosionsangrepp noteras.
Provdragning av förspända stag:	Samtliga förspända stag provdrags om möjligt. Provdragning utförs i olika steg för att bestämma stagens kondition.
Vattenprover	Tre vattenprover tas direkt från läckageplats. Vatten analyseras m a p klorid och sulfatinnehåll, pH hårdhet samt metaller.
Läckströmmar	Mätning av läckströmmar kring bergrummet för att faställa om det finns risk för läckströmskorrosion.

I Figur 4-6 visas schematiskt hur vissa av proverna kan genomföras. Ett nollvärdesprov ger grunden för framtida provning och kan också ge värdefullt underlag för metodutveckling inför byggandet av CLAB etapp 2.

Utborrning av bult



Figur 4-6: Schematisk bild av provsektion

Tabell 4.2: Förslag till inspektionsprogram för "nollvärdes"-bestämning av byggnadskonstruktioner

Visuell inspektion:	Kontroll av sprickbildning, fuktning och utfällningar av kalk eller rost och av andra skador på betongkonstruktioner, samt korrosion på stålkonstruktioner.
Provtryckning:	Göres på urborrade kärnor från bassängfundament och där visuell inspektion identifierat större skador.
Materialanalys:	Bestämning av karboniseringsdjup. Kärnor från provtryckning analyseras med avseende på kloridhalt, sulfathalt, cementhalt, cement/ballastreaktioner.

4.4 REPARATIONSMÖJLIGHETER

Vid alla större arbeten i bassänghallen på nivå +70,5 eller högre måste bränslet och vattnet i bassängerna isoleras från arbetsplatsen med skydd. Skydden skall vara damm- och vattentäta samt tåla belastningar från tappade föremål.

Vid arbeten i en bassäng måste bassängen tömmas på bränsle och vatten. Endast en bassäng i taget kan tömmas. Arbeten utanför bassängerna på lägre nivåer kan i allmänhet utföras på enklare sätt.

Möjliga metoder skisseras nedan:

- Sprutbetong tak och sprutbetongbågar: Nedknackning och byte av skadad sprutbetong kan ske. Nedmontering av innertak krävs. Över bassänger måste temporärt skydd och arbetsbrygga monteras. Omfattande arbeten krävs för att garantera täthet mot nedfall och damm etc i bassänger.
- Bergbultar i tak: Skadade bultar kan ersättas med nya. Nedmontering av innertak krävs samt skydd över bassänger, se ovan.
- Upphångningsbultar i tak: Enstaka bultar kan bytas med innertak på plats. Åtgärder för skydd mot damm och mindre nedfall krävs. Vid byte bör rostfria bultar väljas.
- Stag i konsolen: Förspända stag och slaka förankringar kan bytas även om borrningsarbetet blir omfattande. Ett bättre alternativ är kanske att utföra nya konsoler vid sidan av de befintliga med upplag på befintlig vägg.
- Sprutbetong väggar: Nedknackning och byte av sprutbetong är genomförbart men svårt med hänsyn till det trånga utrymmet mellan innervägg och bergvägg. Det kan vara svårt om inte omöjligt att få dit ny sprutbetong.
- Bergbultar i vägg: Svårt att byta med hänsyn till det trånga utrymmet mellan innervägg och bergvägg. Måste bultningen kompletteras får man ta upp hål i innerväggen. Borrning och sättning av bult kan sedan ske genom dessa hål.
- Infästningsbult för innervägg: Kan ersättas. Troligen är det enklast att borra genom innervägg och in i berg. Vid utbyte bör rostfria bultar väljas.
- Grundläggning och fundament (plintar under bassängerna): Utbyte eller reparation kan ske etappvis
- Glidlager under bassängerna: Underhåll fordras normalt inte. Utbyte, för provning eller reparation, kan ske under drift. Bassängerna och angränsande lager klarar att överbrygga lasten vid den urbilning av lagerplattor som krävs.

- Bassängernas botten och väggar: Urbilning kan ske för lokal reparation av korroderad armering i anslutning till sprickor eller gjutfogar, där läckagevatten från bassängen kan ha förorsakat skador. Bilning och pågjutning kan också utföras för att ersätta karbonatiserad betong.
- Mellanväggarna mellan bassängerna: Utgör ett problem ur inspektions- och reparationssynpunkt, eftersom de är åtkomliga för inspektion endast efter demontering av bassängplåten på den sida som tömts på bränsle. Å andra sidan har mellanväggarna normalt samma vattentryck på båda sidor och är inte utsatta för luftens koldioxid. Känsligaste delen av dessa mellanväggar är portramarna, där en dubblering bör övervägas, för att möjliggöra åtkomlighet efter tömning av endast en bassäng.
- Övriga byggnadskonstruktioner: Kan underhållas eller bytas med ganska normala metoder; dock att avgränsningar måste göras för att skydda bränslebassängerna mot damm och fallande föremål.

Skulle, mot förmodan, mycket omfattande reparationsbehov uppstå, kan det visa sig attraktivt att bygga ett tredje bergrum, för att kunna friställa ett i taget av de befintliga för fullständig restaurering.

På grund av de omfattande arrangemang som krävs för vissa av inspektionerna rekommenderas ett program i två steg:

1. **"Nollvärdesbestämning"** genomföres inom ramen för CLAB etapp 2 för att få en så god kunskap som möjligt och kunna dra erfarenheter inför etapp 2. I detta inspektionsprogram väljs så långt möjligt representativa inspektionsställen, men utesluts vissa, som kräver de mest omfattande skyddsåtgärderna.
2. **"Halvtidsreovering"** planeras och genomförs sedan etapp 2 tagits i drift men medan fortfarande två bassänger i taget i etapp 1 kan tömmas på bränsle och avskiljas för noggrannare inspektion och reparation/utbyte av konstruktionsdelar i erforderlig omfattning.

5 MISSÖDESANALYS

Någon fullständig missödesanalys för långtidsperspektivet har ej genomförts. Nedan redovisas en analys, som har två huvudsyften:

- att belysa den lindring av konsekvenserna av missöden som redovisas i CLAB säkerhetsrapport [6] och som beror på att aktivitet och resteffekt i bränslet avklingat
- att belysa möjliga konsekvenser av de svårare missöden som ej beaktats i [6] men som skulle kunna inträffa på grund av haveri i åldrad utrustning.

Inledningsvis beskrivs avklingningen av aktivitet och resteffekt i bränslet. Därefter sammanfattas de inledande händelser som beaktas, dels i ursprunglig analys, dels för de ytterligare händelseförlopp som kan behöva beaktas i långtidsperspektivet som en konsekvens av åldringsskador på berg, byggnader eller utrustning.

Slutligen beskrivs risken för och konsekvenserna av olika typer av inledande händelser. Dessa beskrivningar baseras på att missödet inträffar senare än c:a 100 år efter idrifttagning av CLAB, dvs efter år 2080.

5.1 FÖRUTSÄTTNINGAR VID MISSÖDEN EFTER LÅNG LAGRING AV BRÄNSLET

5.1.1 Aktivitetsinnehåll i långtidsperspektiv

Det aktivitetsinnehåll i bränslet som redovisas i [6] baseras på bränsle med högsta utbränning ett år efter avslutad produktion. De olika sönderfallsprodukterna har olika halveringstider och klingar därför av olika fort. I Tabell 5-1 visas aktivitetsinnehållet för PWR-bränsle vid olika avklingningstider med utgångspunkt från Tabell 6-2 i CLAB Säkerhetsrapport, Allmän del.

Tabell 5-1: Avklingning av aktivitet i bränslet

Nuklid	T½ (år)	Avklingning 1 år (enl. [6]) TBq/ton U	Avklingning 30 år TBq/ton U	Avklingning 100 år TBq/ton U
H-3	12,3	32	6	0,1
Kr-85	10,7	460	70	0,75
Sr-90	28,8	3800	1900	350
I-129	15,9*10 ⁶	0,002	0,002	0,002
Cs-134	2,06	9000	0,5	3x10 ⁻¹¹
Cs-137	30,1	6100	3100	600

Omgivningspåverkan av missöden, som leder till skador på bränslet bestäms i första hand av gasformiga utsläpp, här representerat av Kr-85. Dessa utsläpp har efter 30 års avklingning reducerats med en faktor 6, efter 100 år med en faktor 600. Detta innebär att man ur omgivningssynpunkt kan tåla betydligt mer omfattande mekaniska skador på bränslet vid missöden än de som redovisas i FSAR utan att överskrida de där redovisade, och mycket låga, omgivningskonsekvenserna.

Även cesiuminventariet, som vid bränsleskador dominerar frigörelsen av vattenburen aktivitet till bassängerna, har efter 30 år minskat. ¹³⁴Cs, som dominerar efter ett års avklingning, har helt försvunnit medan ¹³⁷Cs har halverats

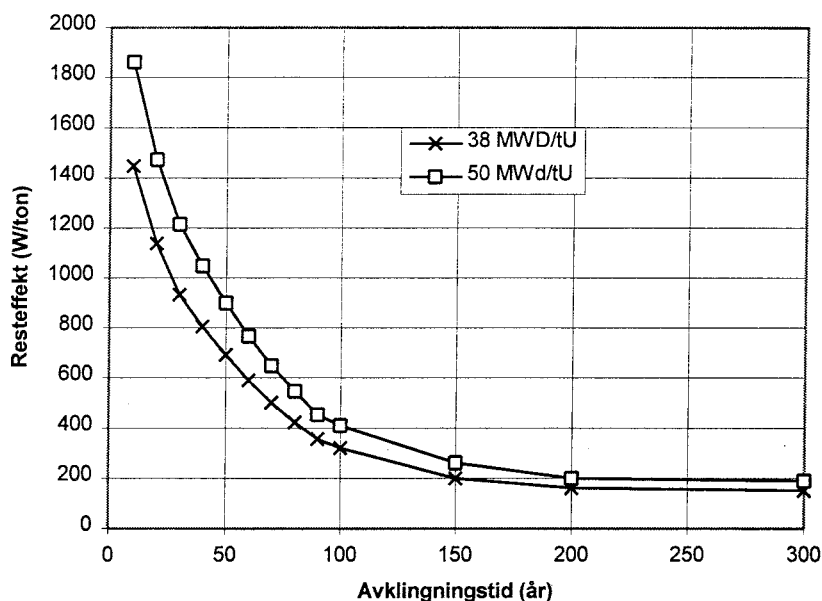
5.1.2 Resteffekt

Resteffekten i bränslet klingar likaledes av med tiden. CLAB är dimensionerat för 8,5 MW resteffekt, med utbyggnadsmöjlighet till 12 MW, om detta skulle erfordras i slutskedet av inlagringen i CLAB etapp 2 omkring år 2010.

Bränslet år 2010 utgör en blandning av gammalt och relativt nybestrålat bränsle, där det nybestrålade bidrar med större delen av den totala resteffekten. Vi antar att bränsle som klingat av under 10 år utgör ett representativt medelvärde. Resteffekten skulle då, enligt Figur 5.1 vara c:a 12 MW med 8.000 ton bränsle i bassängerna. Resteffekten minskar därefter till c:a 4 MW år 2080 och 2 MW år 2040.

Bränslet och resteffekten kommer att vara fördelad på 7 eller 8 bassänger i de två bergrummen. Fördelningen av nytt och gammalt bränsle mellan bassängerna har betydelse endast i de störningsfall, då bränslet friläggs helt eller delvis och skillnaderna minskar också med tiden. Eventuellt kan i samband med "halvtidsrenoveringen" fördelningen av bränsle mellan bassängerna göras så att resteffekten blir ungefär lika fördelad mellan bassängerna.

Figur 5.1: Resteffekt som funktion av tiden för typiskt LWR- bränsle (enl. Decay/Origen)



5.2 INLEDANDE HÄNDELSER

5.2.1 Befintliga analyser

I säkerhetsrapporten för CLAB [6] redogörs i kapitel 8 för händelseförlopp vid och konsekvenser av systemstörningar och missöden inom följande kategorier:

- Brand
- Hanteringsmissöden
- Långvarig förlust av kylning och spädmatning av bassängerna
- Yttre påverkan och jordbävning

De analyser som där redovisas är relevanta också i det längre tidsperspektivet, eftersom det förutsätts att drift och underhåll förutsätts ske på samma kvalitetsnivå som under den förutsedda driftperioden om 60 år.

I den preliminära säkerhetsrapporten för utbyggnaden av CLAB etapp 2 [7] redovisas också konsekvenser av

- Nedfallande stenblock i bergrum 1

I inget av analyserade fall leder missödena till omgivningspåverkan som innebär väsentlig fara för allmänheten.

5.2.2 Tillkommande händelser p.g.a. åldring

För en åldrande anläggning kan allvarigare inledande händelser tänkas, särskilt om svårigheter uppstår att tillgodose erforderliga resurser i form av kompetent personal och medel för drift, provning och underhåll av anläggningen i det långa tidsperspektivet.

Därför diskuteras nedan också ett antal händelser, som inte befunnits motiverade att ta upp under det normala driftskedet, men som skulle kunna inträffa om provning och underhåll eftersatts.

- Förlust av allt vatten i en bassäng
- Omfattande bränsleskador på grund av nedfallande stenblock

5.3 RISK- OCH KONSEKVENSVÄRDERING

Missödesanalysen för CLAB innehåller ingen fullständig kvantifiering av risken (sannolikheten) för olika typer av missöden. Inte heller denna analys har kvantifierat riskerna. Det är emellertid motiverat att diskutera ökning/minskning av risker och konsekvenser. Detta görs nedan för olika kategorier av inledande händelser.

Konsekvenserna av händelser beskrivna i [6] blir mildare än vad som där sägs, eftersom aktivitetsinnehållet i bränslet minskat väsentligt, vilket även påverkar den resteffekt som utvecklas i bränslet.

5.3.1 Försämrade miljö i vatten eller luft

Risken för att vatten- och luftmiljön inom anläggningen skulle försämrats är främst kopplad till uppehållande av kompetens och resurser för drift och tillsyn. De tekniska möjligheterna föreligger enligt beskrivningarna ovan. Där emot kan bristande resurser leda till att kvaliteten i drift och underhåll eftersätts.

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

Konsekvenserna av brister blir i första hand snabbare degradering av byggnadsdelar, system och även bränslets integritet, samt någon ökning av risken för de händelsegrupper som vidare beskrivs nedan. Det kan dock noteras att brister under kortare tid saknar betydelse samt att goda marginaler finns - nuvarande vattenkvalitet är t.ex. väsentligt bättre än vad som strikt skulle erfordras enligt internationell erfarenhet.

Förutom en fortsatt degradering av utrustning kan försämrade miljö leda till ökad kontaminering i bassängvattnet. Frigörelsen av korrosionsprodukter från ytorna minskar normalt med lagringstiden, denna skulle kunna öka vid försämrade miljö; det torde dock mer än väl kompenseras av avklingningen av den främsta aktiverade korrosionsprodukten som förekommer på bränslet, ^{60}Co , som har en halveringstid om c:a 5 år. Aktivitetsinventariet i lagringsbassängerna och reningssystemen kan alltså väntas vara betydligt mindre efter 100 år.

5.3.2 Helt utebliven kylning av bränslet

Risken för helt utebliven kylning borde normalt vara densamma som under den normala driftperioden. Oupptäckta brister i processystemen kunde leda till viss ökning av risken, liksom degradering av byggnader eller berg, som kunde leda till skador på processystemen. Riskökningen värderas emellertid som liten enligt de överväganden som gjorts ovan i rapporten.

Konsekvenserna av helt utebliven havsvattenkylning är enligt CLAB missödesanalys långsamma. Då bränslets resteffekt är som störst tar det enligt [7] 7 dygn innan bassängvattnet värmts upp till 90°C och 46 dygn innan bränslefriläggning inträffar. Efter 100 års drift av CLAB skulle motsvarande tider vara mer än 3 gånger så långa på grund av den avklingande resteffekten. Mycket rikliga tidsmarginaler finns således för att vid behov åstadkomma provisoriska åtgärder för att kyla bort resteffekten. Behovet av spädmatning för att ersätta resteffekten 4 MW motsvarar endast c:a 2 kg/s.

5.3.3 Kriticitet

Kriticitetssäkerheten påverkas inte av förlängd drifttid för CLAB. Det visas i [3] att borförbrukningen i kompaktkassetternas borstålplåtar är helt obetydlig. Spaltkorrosion som skulle kunna få en borplåt att lossna innebär att den fortfarande finns kvar i kassetten och täcker bränslets hela höjd; någon kriticitetsrisk uppkommer således ej.

5.3.4 Mekaniska skador på bränslet

Mekaniska skador analyseras i CLAB säkerhetsrapport [6] och [7]. I [6] beräknas konsekvenserna av en tappad bränslekassett, varvid samtliga 9 PWR-element går sönder. I [7] uppskattas som mest en lika stor skada inträffa om ett stenblock på c:a 1 ton på ett olyckligt sätt faller ned i bassängen och träffar en bränslekassett. Dosen till kritisk grupp efter ett sådant missöde beräknas till $0,6 \times \mu\text{Sv}$. Man utgår då från bränsle med ett års avklingning. Omgivningsdosen domineras av ^{85}Kr , medan kontamineringen i anläggningen domineras av cesium.

Omgivningspåverkan vid mekaniska skador efter 100 års drift av CLAB uteblir nästan helt, kryptoninventariet har minskat ungefär med en faktor 500, kontamineringen med cesium i lagringsbassängerna blir c:a en faktor 20 lägre än vad som redovisas i CLAB säkerhetsredovisning (^{134}Cs har avklingat helt, ^{137}Cs har minskat en faktor 10).

Risken för mekaniska skador i långtidsperspektivet får anses öka även om god kontroll hålles på byggnaders och bergförstärkningars integritet och på tillståndet hos mekaniska utrustningar i bassänger och för hantering. En faktor som minskar risken är att omfattningen av bränslehantering i anläggningen kommer att vara mindre än under driftperioden.

Konsekvenserna ur radiologisk synpunkt är, som ovan visats, väsentligt mindre, varför man tål väsentligt mer omfattande skador än då bränslet just anlant till CLAB. Däremot kan givetvis kostnaderna för uppstädning och senare inkapsling bli betydande om bränslet skadas i större omfattning.

Nedfall av större föremål kan givetvis dessutom förorsaka skador på bassängplåten och läckage av bassängvatten från bassängerna. Sådana läckage begränsas av betongens täthet och blir måttliga så länge bassängernas mekaniska integritet upprätthålles.

5.3.5 Förlust av allt vatten i basänger

Risken att bassängerna helt skulle tömmas på vatten på grund av degradering av betong eller armering till den grad att botten eller väggar rämnar 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.

Konsekvensen av bassängtömning, om den inträffar efter 100 års drift av CLAB, blir att bränslet värms upp i luftatmosfär. Uppvärmningen sker dock långsamt. En enkel överslagsberäkning visar att först efter någon vecka helt utan kylning når bränslet temperaturer över $500\text{ }^\circ\text{C}$, detta på grund av att resteffekten i patronerna avklingat, resteffekten är c:a 350 W/tonU .

I sista hand kan berggrummet i sin helhet vattenfyllas över bränslenivån för att möjliggöra provisoriska åtgärder inför tätning av bassängen. Någon närmare analys av en sådan operation har inte genomförts, men omgivningskonsekvenserna torde bli begränsade, eftersom aktiviteten sjunkit i så hög utsträckning.

5.3.6 Yttre händelser

Risken för yttre händelser, brand, störningar i försörjning med el, vatten och kylmedel är i huvudsak oförändrad, åter under förutsättning att kvalitet i drift och underhåll upprätthålls.

Konsekvenserna av sådana händelser blir desamma som under driftperioden, utom avseende de radiologiska konsekvenserna, som minskar med tiden på grund av avklingningen. Tidsmarginalerna för åtgärder ökar också.

Endast i samverkan med brister i underhåll kan svårare konsekvenser uppstå. Dessa har berörts ovan.

Sammanfattningsvis kan konstateras att lagringstiden i CLAB torde kunna utsträckas till åtminstone 200 år utan att omgivningssäkerheten påverkas. Slutsatserna baseras på att

- drift och underhåll bedrivs så att luftkvalitet och vattenkemiska specifikationer innehålls.
- infrastruktur runt CLAB i form av el- och vattenförsörjning, avfallshandling och kompetensförsörjning kan upprätthållas.
- ett inspektionsprogram etableras, som i tid klarlägger behov av underhåll eller förnyelse av åldrande anläggningsdelar.
- erforderlig förnyelse sker i planerade former.

Bränslehanteringsfunktionerna ovan jord kan läggas i ”malpåse” om lagringsdelen kompletteras med viss hanteringsutrustning för enskilda bränsleelement. Dessa funktioner kan inför uttransport av bränslet rekonditioneras med vid tiden modern utrustning.

Det konstateras i utredningen att bränslets tålighet för långtidslagring är god, medan dagens kunskap förutsäger begränsad livslängd för

- el- och kontrollutrustningar
- processsystem
- stålkonstruktioner i korrosiva miljöer
- bergförstärkningsbultar, infästningsbultar och sprutbetong på berg

El- och kontrollutrustningar är, liksom processsystem, relativt lätta att ersätta medan vissa stålkonstruktioner och bergförankringar kan innebära omfattande skyddsåtgärder för att undvika påverkan på bränslet under arbetets genomförande.

Livslängden bestäms i många fall av utförandekvalitet och lokala miljöförutsättningar. Detta gäller framför allt byggnadsdelar, men kan också beröra konstruktionsdetaljer i bränsle och bassänginredningar. Det rekommenderas därför att

- en ”nollvärdeskartläggning” av bergförstärkningar och byggnadskonstruktioner.
- en ”halvtidsrenovering” av CLAB etapp 1 då etapp 2 är i drift men medan ännu två bassänger i taget i etapp 1 kan tömmas på bränsle.

- fortsatt uppmärksamhet ägnas konstruktionsdetaljer i bränslet
- pågående program för uppföljning av bränsle och bassänginredningar kompletteras med
 - ◇ studium av förutsättningar för spaltkorrosion i bränslekassetter under radiolysinverkan
 - ◇ spaltkorrosion i kassetställens knutpunkter.
 - ◇ inverkan av mikrobiell aktivitet i bassängvattnet
- dubbla portamar för portarna mellan bassänger övervägs för CLAB etapp 2 och som komplettering i CLAB etapp 1 i samband med halvtidsreovering.

Erfarenheterna från denna utredning och från rekommenderade ”nollvärdesprov” kan ge anledning till modifierad detaljkonstruktion av CLAB etapp 2.

7 REFERENSER

- [1] **Stille H., Fredriksson A, Stille B, Johansson H.**
Långtidslagring i CLAB - Delutredning "Bergförstärkning"
SKB PM Anläggningar 97/37
- [2] **Larsson H, Landström A**
Långtidslagring i CLAB - Delutredning "Byggnadskonstruktioner"
SKB PM Anläggningar 97/36
- [3] **Torstenfelt, B**
Lång kontrollerad lagring i CLAB - Delutredning "Installationer"
(ABB Atom Rapport PAF 97-192. 1997-09-18)
SKB PM Anläggningar 97/38
- [4] **Glas, T**
CLAB - Långsiktigt uppföljningsprogram. Etapp 2
Vattenfall Energisystem Rapport GEK 140/95, 96-03-22
- [5] 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)
IAEA-TECDOC-944, Maj 1997
- [6] CLAB, Centralt mellanlager för använt bränsle.
Slutlig säkerhetsrapport, allmän del
SKB PM 95-09,1994, rev 1995
- [7] CLAB Etapp 2
Preliminär säkerhetsrapport, allmän del
SKB PR 97-03a, juni 1997
- [8] **Birgersson, L; Grundfelt, B; Pers, K**
Konsekvenser av ett övergivet CLAB
(Kemakta AR 97-14, 1997-10-10)
SKB Anläggningar PM 97/39