

R-98-18

Konsekvenser av ett övergivet CLAB

Lars Birgersson, Bertil Grundfelt, Karin Pers

Kemakta

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



Konsekvenser av ett övergivet CLAB

Lars Birgersson, Bertil Grundfelt, Karin Pers

Kemakta

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.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	UPPDRAGET	1
2	ANLÄGGNINGEN	2
3	VÄRMEUTVECKLING OCH INVENTAR	4
4	PLANERAT OCH PLÖTSLIGT ÖVERGIVANDE	6
4.1	Anläggningen överges plötsligt	6
4.2	Anläggningen överges planerat	6
4.3	Förutsättningar antagna i denna studie	7
5	HÄNDELSEUTVECKLING	9
5.1	Allmänt	9
5.2	Värmebalans - torrkokning	9
5.3	Torrlagda lagringsbassänger bränsleskador	10
5.4	Bränslekapslingens livslängd ivattenfyllda bassänger	13
5.5	Återfyllnad	13
5.6	Konstruktionernas integritet	16
5.7	Aktivitetsspridning och dosuppskattning för uttransport till atmosfären	16
5.8	Aktivitetsspridning och dosuppskattning för uttransport via grundvatten	17
6	KONSEKVENSER AV ÖVERGIVANDE VID OLIKA TIDPUNKTER	19
6.1	Övergivande av CLAB år 2010	19
6.2	Övergivande av CLAB år 2085	20
6.3	Övergivande av CLAB år 2250	21

APPENDIX

Appendix A: Sammanställning av volymer, ytor etc

Appendix B: Inströmmade vatten - mängd och kemisk sammansättning

Appendix C: Värmeledning i berget

Appendix D: Vattenbalansberäkningar

Appendix E: Ventilation

Appendix F: Flytkontroll

Appendix G: Uppskattning av dos

Appendix H: Förbindelse med ytvatten i form av kärr ovanför anläggningen eller Östersjön

SAMMANFATTNING

Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, har uppdragit åt Kemakta Konsult AB att utreda rimliga händelseförlopp och konsekvenser i form av stråldoser för ett hypotetiskt fall som innebär att man tvingas överge Centralt Lager för Använt Bränsle, CLAB, när anläggningen är fylld med använt kärnbränsle. I uppdraget har ingått att studera konsekvenserna av två scenarier, nämligen att CLAB av någon anledning måste överges plötsligt respektive att en viss förvarning ges så att vissa konsekvenslindrande åtgärder kan vidtas. Denna rapport utgör slutrapport av detta uppdrag.

Händelseförloppet efter att CLAB övergivits styrs av ett flertal faktorer som samtliga är mer eller mindre osäkra. Förhållandet mellan utvecklad resteffekt i bränslet och mängden inströmmande grundvatten till anläggningen styr risken för torrkokning i bassängerna liksom möjligheterna till återuppfyllnad av anläggningen med inströmmande grundvatten. Resteffekten får betraktas som väl känd medan vatteninflödet vid olika tidpunkter är väsentligt osäkrare.

Den förväntade vatteninströmningen till ett fullt utbyggt CLAB är ej känd utan har uppskattats utgående från kända inflöden till den nu existerande delen av anläggningen. Samtidigt är det troligt att grundvattenströmningen runt anläggningen och in till densamma kommer att påverkas av förloppet i anläggningen genom att temperaturhöjningar kan påverka både grundvattnets och bergets egenskaper. Dessa osäkerheter gör att de i denna rapport angivna årtalen för olika händelser skall betraktas som grova uppskattningar. Osäkerheten i angivna tidpunkter förstärks ytterligare av att avklingningen av resteffekten är mycket långsam varvid små förändringar i vattenflödet kan ge stora förskjutningar i de angivna tidpunkterna.

Även i uppskattningarna av omfattningen av skador på bränslet för det fall att bassängerna kan förväntas torrkoka respektive att vattentäckning över bränsleelementen bibehålls innehåller stora osäkerheter. Detta ger en osäkerhet i uppskattningen av källtermen för dosberäkningarna. När det gäller dosberäkningarna för utsläpp till luft har dessa begränsats till inhalationsdosuppskattningar. Detta innebär bl.a. att konsekvenser i form av markbeläggning inte är beräknade i uppdraget.

Scenario vid tidigt övergivande

Om resteffekten vid tidpunkten för övergivandet väsentligt överstiger den effekt som krävs för att förångat inströmmande vatten kommer anläggningen att torrläggas varvid bränsleelementen friläggs. Överslagsberäkningar visar att temperaturen i bränslet för detta fall förväntas bli så pass hög att omfattande bränsleskador ej kan uteslutas.

Tidpunkten för vad som skall betraktas som ett tidigt övergivande (varvid torrläggning kommer att ske) är beroende av det ovan nämnda förhållandet mellan utvecklad värmeeffekt och vatteninströmning. Under förutsättning att vatteninströmningen till en dränerad fullt utbyggd anläggning uppgår till 1 l/s (Rhen et al, 1996) kommer ett övergivande före ca år 2250 att utgöra ett "tidigt övergivande" varvid anläggningen torrläggs och bränsleelementen friläggs. Osäkerheten i denna siffra är dock stor eftersom en förhållandevis liten förändring av inströmmande mängd vatten kommer att få stor betydelse med tanke på att den utvecklade värmeeffekten avtar långsamt. Om friläggningen av bränsleelementen sker blir bränslets temperatur så hög att risken för omfattande skador på bränslekapslingen är stor.

Scenario vid sent övergivande

Om den utvecklade effekten vid tidpunkten för övergivandet väsentligt understiger den effekt vilken motsvarar förångning av inströmmande vatten kommer anläggningen ej att torrläggas och bränsleelementen kommer ej att friläggas. I detta fall bedöms bränsleskador ej uppkomma på grund av förhöjd temperatur. Dock kommer salthalten i det vatten som omger bränslet att öka på grund av avdunstning. Detta medför risk för bränslekorrosion. Vidare kan den varma och fuktiga miljö som fås i CLAB leda till att bergförstärkningar försvagas så att stenblock kan rasa ner i bassängen vilket kan leda till bränsleskador.

Med samma antagande om en vatteninströmning av 1 l/s kommer ett övergivande efter ca år 2250 att utgöra ett "sent övergivande", vilket innebär att bränsleelementen ej torrläggs.

Utsläpp till atmosfären

Utsläpp av radionuklider till atmosfären kommer att ske via gasfas, aerosoler och medstänk. Utsläppen kommer att påbörjas omedelbart efter att bränslekapslingen skadats oberoende av tidpunkten för övergivande.

Utsläpp till vatten

Utsläpp till vatten kan ske först då vattennivån i anläggningen överstiger nivån i den tänkta recipienten, Östersjön. Detta förväntas inträffa ca 1500-2000 år efter övergivandet av CLAB. Innan denna tidpunkt förväntas sålunda inga utsläpp via vattnet oberoende av när anläggningen överges. Denna tidpunkt är dock mycket osäker eftersom den bestäms av framtida vatteninströmning till anläggningen. I beräkningarna har därför utsläpp till vatten konservativt antagits ske redan 200 år efter övergivande av anläggningen.

Förväntade doser

Vid ett tidigt övergivande förväntas doserna från såväl atmosfärisk spridning som spridning via grundvattnet till Östersjön att bli i storleksordningen 10-100 mSv/år. Den högre dosen gäller för en person som vistas en stor del av sin tid endast någon enstaka kilometer från det övergivna CLAB. Utsläppet till luft kommer att ske strax efter övergivandet, medan utsläppet till vatten konservativt antagits ske 200 år efter övergivande av anläggningen.

Vid ett sent övergivande förväntas dosen till luft bli försumbar, medan dosen till vatten förväntas bli mindre än 10 mSv/år. Utsläppet har även i detta fall konservativt antagits ske 200 år efter övergivande av anläggningen.

Ovanstående doser baseras på bidrag från lösliga och lättläskade nuklider. Under vissa förhållanden skulle även normalt svårläskade och svårlösliga nuklider kunna ge ett dosbidrag. Mycket konservativa uppskattningar där dessa nuklider förutsatts uppnå teoretiska lösligheter i vattnet i anläggningen visar att dostillskottet skulle kunna bli av samma storleksordning som från lösliga nuklider. I uppskattningarna har ingen hänsyn tagits till kraftigt begränsande faktorer så som utlagningsmotståndet i bränslematrisen.

I studien har dostillskottet från markbeläggningen ej medtagits eftersom detta bedöms ge betydligt lägre doser än inhalation. Dock medför markbeläggning begränsningar vad gäller markanvändningen under lång tid.

1 UPPDRAGET

SKB genomför för närvarande ett antal projekt som bland annat syftar till att beskriva omgivningspåverkan från det svenska systemet för hantering av radioaktivt avfall. De olika projekten avses redovisas som delar av en systemstudie. Inom ramen för detta arbete har Kemakta Konsult AB fått i uppdrag att studera vad som skulle kunna hända om man av någon anledning skulle överge CLAB och låta det använda bränslet stå kvar.

Inom uppdraget har legat att utreda två scenarier för övergivandet av anläggningen. Det första scenariet är att anläggningen överges på ett planerat sätt, dvs att åtgärder avsedda att begränsa omgivningskonsekvenserna vidtas före övergivandet. I det andra scenariet antages att anläggningen av någon anledning måste överges plötsligt och utan förberedande åtgärder. I båda scenarierna antages att samtliga system i anläggningen är avslagna efter övergivandet. Detta innebär att anläggningen lämnas utan kylning, ventilation, vattenrening, etc.

Huvuddelen av utredningsarbetet har inriktats på att utreda temperaturutvecklingen och torrkokningsrisken för de olika scenarierna. Tidpunkten för övergivande har härvid varierats som en parameter.

2 ANLÄGGNINGEN

Detta avsnitt ger en översiktlig beskrivning av dimensioner och data för underjordsdelen av CLAB. En utförlig beskrivning återfinns i Appendix A. I Figur 2.1 visas en översiktsbild av anläggningen.

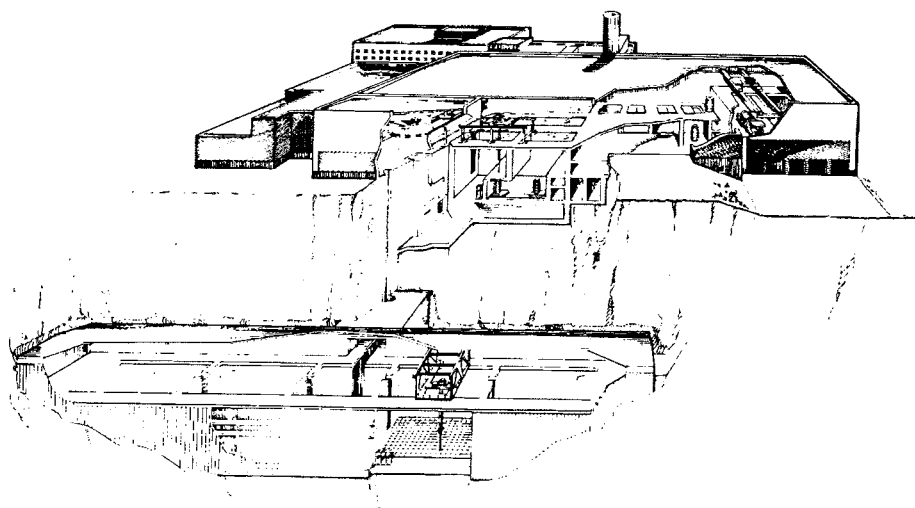


Figure 2-1. Översikt av mottagningsbyggnad och bergrum i CLAB.

Den nuvarande anläggningen under jord består av en inredd bergsal, 120 m lång, 21 m bred och 27 m hög. Den totalt utsprängda bergvolymen är 70 000 m³. Analysen förutsätter emellertid en anläggning som byggts ut med ytterligare en 70 000 m³ bergsal. För utredningen antas att utbyggnaden i stort sett är lika den nu befintliga anläggningen. Till volymen av bergsalarna skall läggas volymen av nerfartstunneln som uppgår till 25 000 m³ samt 30 000 m³ vilket omfattar tillkommande tunnlar vid en utbyggnad. Den totalt utsprängda volymen i underjordsdelen beräknas sålunda till ca 200 000 m³. Förutom nerfartstunneln som ansluter till de två bergsalarna på tre nivåer, finns två schakt, ett för bränslehiss och ett för personhiss. I det senare schaktet finns även en gångtrappa.

Den nuvarande bergsalen är inredd med ett inbyggt betongskal som upptill avslutas med ett plåttak av ganska platt ryggåstyp. I salen finns ett bassängblock bestående av fyra förvaringsbassänger, vardera med dimensionerna 13.8×13×18 m (b×h×l), samt en central förbindelsebassäng med dimensionen 13.8×13×14 m (b×h×l). Man bör förutsätta att förbindelsebassängen byggs ut med en kanal som förbinder de båda bassängblocken. Bassängblocket är fast förankrat mot bergsalens botten i mitten, men är fritt i båda ändarna som därmed kan röra sig mot glidplattor som finns på stöd under bassängblocket. Bassängerna är invändigt klädda med rostfri plåt. För kylning finns värmeväxlare som normalt håller

temperaturen i de med avjoniserat vatten fyllda bassängerna under 35°C. För närvarande är temperaturen i bassängerna ca 30 °C. Jonbytare finns installerade för adsorption av eventuellt frigjorda radionuklider. Ventilationen av bergrummet sker via en ventilationskanal i personhisschaktet. Var och en av förvaringsbassängerna beräknas innehålla ca 3 100 m³ vatten. Förbindelsebassängen uppskattas hålla ca 2 400 m³. Totalt skulle bassängerna en utbyggd anläggning hålla ca 30 000 m³.

Anläggningen är försedd med en jordbävningssäker ledning från mottagningsdelen ned till lagringsbassängerna för påfyllning av vatten från brandbil att användas om kylningen av bassängerna skulle falla ifrån för att förhindra att bassängerna torrläggs om bassängvattnet skulle koka bort. Vidare är anläggningen förberedd för en tillbyggnad så att bränsle skall kunna fraktas ut via nerfartstunneln. En sådan tillbyggnad kan sannolikt göras inom ett halvår eller ett år om erforderliga resurser sätts in. Bergsalarna har en minsta bergtäckning av 20 m, utom i ett litet hörn av anläggningen. Botten av bergsalarna ligger ca 65 m under markytan. Den ursprungliga grundvattenytan är relativt hög och varierar med årstiden från nära markytan till någon meter under markytan.

Det befintliga bergutrymmet är mycket torrt. Som redovisas i Appendix B har en vatteninläckning på ca 40-50 l/min uppmätts. Inläckaget under driftskedet efter utbyggnaden av CLAB beräknas bli ca 25 % större än inläckaget idag, dvs ca 60 l/min (3.6 m³/h). Detta förutsätter att motsvarande injektering görs som gjordes under första utbyggnaden av CLAB. Det inläckande vattnets sammansättning varierar inom vida gränser med en högsta kloridhalt på ca 1 g/l.

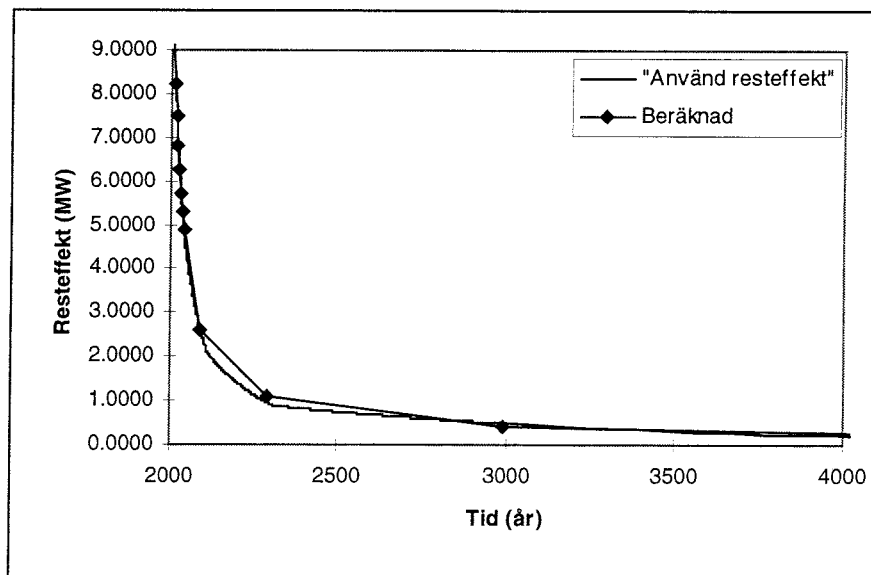
3

VÄRMEUTVECKLING OCH INVENTAR

Det antas att båda bassängblocken i CLAB är fyllda med kassetter innehållande BWR- och PWR-bränsle (7680 ton Uran) som avger en sammanlagd resteffekt av 8.5 MW år 2010. Detta motsvarar effekten i 20 år gammalt bränsle. I Figur 3-1 visas resteffekten som funktion av tiden baserat på beräkningar med datorprogrammet ORIGEN. I figuren visas också en anpassad kurva i vilken resteffekten antagits avklinga exponentiellt med halveringstider som för varje tidsintervall anpassats till den beräknade kurvan. Denna anpassade kurva har använts i beräkningarna i denna rapport. I Tabell 3-1 visas de anpassade halveringstiderna för olika tidsintervall.

Antagligen kommer värmeavgivningen över de olika blocken att vara ojämn eftersom det färskare bränslet avger betydligt mer värme än det som svalnat under lång tid. Detta har dock ej beaktats i denna förenklade studie. Om man i ett senare skede genomför detaljerade beräkningar på uppkomna kapslings-temperaturer måste hänsyn tas till ojämnt fördelad värmeavgivning pga skillnader i bränslekonstruktion och utbränning.

I Tabell 3-2 redovisas inventaret av några utvalda radionuklider i bränslet. Dessa nuklider har valts ut på grund av att de är relativt lösliga eller flyktiga och därmed kan förväntas frigöras i de scenarier som analyseras i detta projekt. Radionuklidinventaret av dessa radionuklider år 2010 har uppskattats ur data för 20-årigt BWR bränsle med en utbränning på 38 000 MWd.



Figur 3-1. Resteffekt i CLAB vid olika tidpunkter beräknad med datorprogrammet ORIGEN respektive anpassad exponentiell avklingning. I denna studie har den anpassade kurvan använts.

Tabell 3-1. Anpassade halveringstider för resteffekten i det använda bränslet.

Ålder på använt bränsle (år)	Halveringstid för resteffekt (år)
30-50	35
50-100	60
100-300	160
300-3 000	800

Tabell 3-2. Uppskattad aktivitet i CLAB år 2010 av valda radionuklider (i 20-årigt bränsle, motsvarande 7680 tU i CLAB).

Radionuklid	Halveringstid (år)	Aktivitet (Bq/tU), 20-årigt BWR bränsle (38 000 MWd)	Total aktivitet i CLAB (Bq) år 2010
¹⁴ C	$5,73 \cdot 10^3$	$5,0 \cdot 10^{10}$	$3,8 \cdot 10^{14}$
³⁶ Cl	$3,01 \cdot 10^5$	$5,5 \cdot 10^8$	$4,2 \cdot 10^{12}$
⁸⁵ Kr	10,7	$1,0 \cdot 10^{14}$	$7,7 \cdot 10^{17}$
⁹⁰ Sr	29,1	$2,0 \cdot 10^{15}$	$1,5 \cdot 10^{19}$
¹²⁹ I	$1,57 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^{13}$
¹³⁷ Cs	30,0	$2,8 \cdot 10^{15}$	$2,2 \cdot 10^{19}$

4 PLANERAT OCH PLÖTSLIGT ÖVERGIVANDE

I detta kapitel diskuteras skillnaden mellan de båda scenarierna planerat respektive plötsligt övergivande. I båda scenarierna antages att samtliga system i anläggningen är avstängda efter övergivandet.

Vid ett planerat övergivande antages att relevanta motåtgärder satts in för att begränsa omgivningskonsekvenserna av övergivandet. Som redovisas i avsnitt 4.1 kan olika motåtgärder vidtas beroende på hur lång förvarning man får.

4.1 ANLÄGGNINGEN ÖVERGES PLÖTSLIGT

Ett rimligt antagande är att elförsörjningen stängs av eller har upphört och att inte heller reservelförsörjningen fungerar. Detta innebär att kylningen av bassängvattnet upphör. Under en kort tid finns emellertid viss batteribackup för instrumenteringen. Personalen har alltid möjlighet att ta sig ut från anläggningen om den inte av någon anledning hindras.

4.2 ANLÄGGNINGEN ÖVERGES PLANERAT

Liksom vid ett plötsligt övergivande är det vid ett planerat övergivande rimligt att anta att elförsörjningen och kylningen av bassängvattnet upphör. Vid ett planerat övergivande har personalen viss tid på sig för förberedelser innan anläggningen överges. Nedan har fallen med en veckas, en månads och ett års varsel beaktats.

En veckas varsel

På en vecka kan man ha möjlighet att frakta ner eventuellt bränsle som finns i mottagningsdelen till förvaringsbassängerna. Man bör också kunna stänga av vissa system planerat, t ex värmväxlarsystem och jonbytarsystem, öppna portar mellan bassänger samt öppna ventilationsspjäll och portar till tillfartstunneln. Det är tveksamt om man hinner fylla bergrummet med vatten, i varje fall inte med vatten av högre renhet. Det borde även vara möjligt med en mindre omflyttning av bränsleelement för att t ex erhålla en jämnare värmeutveckling i bassängerna.

En månads varsel

På en månad kan man, om man finner det önskvärt, företa omflyttningar av bränsleelementkassetter i förvaringsbassängerna. Det bör vara möjligt att

fylla bergrummet med renvatten, men det är tveksamt om tillgången på avjoniserat vatten är tillräckligt stor. Reserverna av sådant vatten i mottagningsdelen ovan jord kan, om det användes, givetvis minska det tillkommande yttre behovet.

På en månads varsel skulle det också vara möjligt att öppna en förbindelse med närliggande ytvatten, t ex i form av ett kärr, för att öka vattningströmningen till anläggningen (se Appendix H). Effekten av ökat vatteninflöde till anläggningen är ökad kylning av bränslet, kortare torrlägningsperiod och snabbare återuppfyllnad av anläggningen. Det bör också vara möjligt att skapa en förbindelse till Östersjön så att vattentillförsel till bergrummet garanteras under lång tid.

Ett års varsel eller mer

Om man får ett års varsel eller mer kan mera omfattande åtgärder vidtas, även inkluderande vissa ombyggnadsarbeten. Ett drastiskt alternativ är att frakta upp alla eller en del av kassetterna till ett luftkyllt förvaringsutrymme ovan jord. Denna omflyttning går ej att genomföra på 1 år utan tar sannolikt närmare 10 år. Man måste tänka sig att förvara kassetterna eller föra över bränsleelementen till någon typ av strålskärmande och luftkylda behållare som förvaras i ett lämpligt utrymme som byggs för ändamålet. Ett tilltalande alternativ vore kanske att använda de behållare som är tänkta för underjordsförvaring i SFL. Om man enbart tar upp kassetter med "gammalt" bränsle har värmeavgivningen från det ingående bränslet minskat betydligt och konstruktionen av behållarna behöver inte bli så komplicerad som för "färskt bränsle". Förebilder finns i den tyska Castor-anläggningen för tillfällig förvaring av högaktivt avfallsglas från Frankrike.

På årsbasis är det säkert möjligt att fylla bergrummet med avjoniserat vatten om så är önskvärt för att t ex reducera korrosionen. Dock är inströmmande grundvatten salt.

Med ett års varsel är det dessutom möjligt att iordningställa anläggningen så att god ventilation via transporttunneln, bränslehisschakt och personhisschakt erhålls efter övergivandet.

4.3 FÖRUTSÄTTNINGAR ANTAGNA I DENNA STUDIE

I denna studie har antagits att viss förvaringen fås. De huvudsakliga motåtgärder som antagits vara vidtagna är:

- Eventuellt bränsle som finns i mottagningsdelen transporteras ner till förvaringsbassängerna.
- Portarna mellan bassängerna är öppna.
- Ventilation sker endast via självdrag, och alla spjäll är öppna.
- Befytliga system så som kylsystem, elsystem och vattenreningssystem stängs av i samband med övergivandet.

Vidare har konservativt antagits att portarna i tillfartstunneln ej öppnats. I studien har två fall beaktats, dels situationen när vattenvolymen i anläggningen motsvarar vad som normalt finns i bassängerna (ca 30 000 m³) och dels situationen att anläggningen återfyllts före övergivandet (ca 200 000 m³). Ingen extern förbindelse med ytvatten eller Östersjön har beaktats.

De flesta enklare åtgärder som kan vidtas vid ett planerat övergivande av anläggningen bedöms ha liten inverkan på det förväntade händelseförloppet. En åtgärd som dock under vissa förutsättningar väsentligt kan påverka händelseförloppet och som kan vidtagas vid ett planerat övergivande, men ej vid ett plötsligt övergivande, är att anläggningen vattenfylls. Denna åtgärd kan fördröja, eller till och med förhindra, torrläggning av bränsleelementen.

Att öppna en förbindelse med tillräckligt stor vattentäkt eller Östersjön förhindrar torrläggning av bränsleelementen.

5 HÄNDELSEUTVECKLING

5.1 ALLMÄNT

I detta avsnitt görs en allmän beskrivning av de processer som styr händelseutvecklingen efter det att anläggningen övergivits. Eftersom resteffekten är beroende av tiden kommer händelseförloppet att påverkas av den tidpunkt vid vilken anläggningen överges. I Kapitel 6 beskrivs de händelseförlopp som fås om anläggningen överges år 2010, 2085 respektive år 2250. Av dessa tider representerar 2010 scenariet ”maximal resteffekt i CLAB”, 2085 är godtyckligt vald som den tidpunkt då anläggningen är 100 år gammal medan 2250 är den tidigaste tidpunkt då torrkokning möjligen kan undvikas enligt beräkningar som gjorts inom detta projekt.

5.2 VÄRMEBALANS - TORRKOKNING

Det värme som alstras genom bränslets resteffekt kan ledas bort från bergrummen genom värmeledning genom berget eller genom uttransport med luft och vattenånga genom ventilationskanaler, schakt och/eller tillfartstunnlar. I Appendix C visas att värmeledningen genom berget är otillräcklig för att leda bort bränslets resteffekt. Om resteffekten är 8,5 MW (motsvarar år 2010) skulle det krävas en temperatur på bergväggen i anläggningen som väsentligt överstiger 1000 °C om allt avgivet värme skall ledas bort genom berget.

Temperaturförloppet i anläggningen kommer således primärt att styras av balansen mellan den utvecklade resteffekten och storleken på flödet av vattenånga/ventilationsluft ut ur anläggningen. Om resteffekten i det lagrade bränslet är större än den bortledda värmemängden kommer temperaturen i anläggningen att öka för att så småningom nå vattnets kokpunkt varvid vattnet i anläggningen börjar koka.

När det kokande vattnet når taket i anläggningen kommer det att kondensera. Detta leder inte med säkerhet till att vattnet återförs till bassängerna då det istället kan följa taket och droppa ned i utrymmet mellan bassängerna och bassängbyggnaden. I denna studie har därför konservativt antagits att vattenvolymen i bassängerna minskar med den takt som fås om hela resteffekten åtgår till förångning av vattnet.

Så länge bränslet täcks av vatten kommer temperaturen i anläggningen och i det omgivande berget att begränsas till vattnets kokpunkt. När vattenvolymen minskat så mycket att bränsleelementen börjar friläggas kommer temperaturen i dessa att kunna bli väsentligt högre än vattnets kokpunkt. De frilagda bränsleelementens huvudsakliga kylning kommer i detta skede att utgöras av värmeövergång till den ånga som avgår genom avkokningen från bassängvattnet och således strömmar förbi de frilagda bränsleelementen

samt av det strålningsvärme som avges från det upphettade bränslet. Strålningsvärmnet kommer att leda till uppvärmning av byggnadsstrukturer och bergväggar i anläggningens underjordsdel varvid kondensationen av avkokad ånga sannolikt upphör.

I Appendix D redovisas förenklade vattenbalansberäkningar för tre olika resteffektnivåer motsvarande de tre tidpunkter för övergivande som nämnts ovan samt för fallen plötsligt och planerat övergivande av anläggningen. Beräkningarna visar att det tar ca 0,3 år för anläggningen att torrkoka vid ett plötsligt övergivande år 2010 medan torrkokningstiden blir ca 2 år om man först fyller anläggningen med vatten (planerat övergivande). Om anläggningen istället överges år 2085 blir motsvarande torrkokningstider knappt 1 år respektive ca 6 år. Om anläggningen överges år 2250 kan möjligen torrkokning undvikas eftersom den per tidsenhet avkokade vattenmängden balanseras av det uppskattade inflödet av grundvatten till anläggningen.

5.3 TORRLAGDA LAGRINGSBASSÄNGER - BRÄNSLESKADOR

När bassängerna tömts på allt vatten kommer bränslet att kylas endast genom avgivande av strålningsvärme och genom självdragsventilation. Eftersom lagringsgeometrin innebär att huvuddelen av avgivet strålningsvärme absorberas av det övriga bränslet kommer självdragsventilation att utgöra den huvudsakliga kylningen. Omgivningsluft kommer att dras in i anläggningen via tillfartstunneln. Den uppvärmda luften kommer att avledas via ventilationskanalerna alternativt genom person- och bränslehisshakten.

I Appendix E redovisas beräkningar av det luftflöde som kan drivas genom ventilationskanalerna vid olika temperaturer samt hur mycket värme som kan transporteras vid detta luftflöde. Resultaten av beräkningarna visar att det krävs höga lufttemperaturer för att självdragsventilation genom ventilationskanalerna skall kunna kyla bort bränslets resteffekt. Eventuellt kan strömning genom schakten ge större luftgenomströmning och därmed större kylningskapacitet. Det är dock sannolikt att temperaturen i bränslet och i lagringsutrymmena blir hög om bränsleelementen torrläggas. I Figur 5-1 redovisas vilken lufttemperatur som enligt beräkningarna i Appendix E skulle krävas för att driva det luftflöde som vid varje tidpunkt krävs för att kyla bort bränslets resteffekt. Det bör noteras att kurvan i figuren är mycket ungefärlig. Det bör även noteras att figuren återger den erforderliga lufttemperaturen i berggrummen. Den temperatur som bränslet får är högre än dessa lufttemperaturer. Vid höga lufttemperaturer/luftflöden kan skillnaden mellan bränslets och luftens temperatur vara avsevärd.

Den temperatur som de frilagda bränsleelementen uppnår är en viktig faktor för bränslekapslingens möjligheter att förbli intakt. Chin och Gilbert (1989) har beräknat bränslets förmåga att klara en 40 årig lagring i inert atmosfär

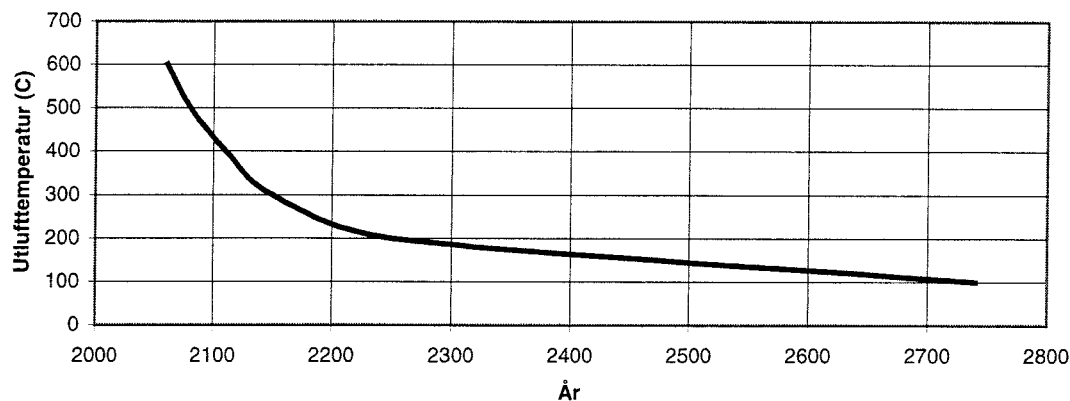
vid olika temperaturer. Enligt resultaten är kapslingens integritet i farozonen om temperaturen överstiger 350-400 °C. BEFAST III anger att temperaturen på bränsle som skall lagras torrt i inert atmosfär ej skall överstiga 410 °C (Tyskland) respektive 380 °C (USA). För torrlagring i luft anges temperaturer upp till 160 °C (Kanada).

Antag att 160 °C är en övre gräns för att undvika att kapslingsintegriteten påverkas. I Figur 5-1 framgår att temperaturen i utgående luft från anläggningen förväntas uppgå till 160 °C ca år 2400, förutsatt att självdragsventilation via ordinarie ventilationskanaler fungerar. Luften värms av bränslets resteffekt. Detta innebär att bränslet kommer att vara betydligt varmare än utgående luft, vilket i sin tur betyder att bränslets temperatur kommer att understiga 160 °C långt senare än år 2400. Torrläggning av bränsleelementen före denna tidpunkt bedöms i detta fall därför ge skador på kapslingen. I denna studie har det därför antagits att all bränslekapsling förlorar sin täthet inom en femårsperiod om anläggningen torrläggs.

Antag i stället att den dimensionerande temperaturen är den som BEFAST anger för lagring i inert atmosfär, dvs ca 400 °C. I Figur 5-1 framgår att temperaturen i utgående luft från anläggningen förväntas uppgå till 400 °C ca år 2100, förutsatt att självdragsventilation via ordinarie ventilationskanaler fungerar.

Antas att temperaturen i bränslet blir ca 100 °C högre än i utgående luft visar Figur 5-1 att bränsletemperaturer på ca 400 °C kan uppnås om anläggningen torrläggs före ungefär år 2150. Torrläggning av bränsleelementen före denna tidpunkt bedöms i detta fall därför ge skador på kapslingen.

Öppnar man tillfartstunneln när anläggningen överges erhålls betydligt större ventilationsflöden och förmodligen lägre bränsletemperaturer.



Figur 5-1. Beräknad ungefärlig erforderlig lufttemperatur i bergrummen för att driva det minsta luftflöde som krävs för att kyla bort bränslets resteffekt via ordinarie ventilationskanaler vid olika tidpunkter.

Vid ett tidigt övergivande visar beräkningar redovisade i rapporten "ASEA-ATOM, KPA 84-348" att mycket höga temperaturer kan fås. Beroende på bränsletyp, bränslets ålder samt om porten till transportunneln är öppen eller ej beräknas temperaturer på 350-900 °C uppnås. Om porten till transportunneln lämnas öppna förväntas temperaturen hamna i intervallets nedre del medan med stängda portar förväntas temperaturen nå intervallets övre del. Dessa beräkningar är gjorda för en resteffekt på 4 MW fördelad på fyra lagringsbassänger. I den fullt utbyggda anläggningen fördelas 8,5 MW på 8 lagringsbassänger. Den maximala bränsletemperaturen blir för detta fall sannolikt något högre eftersom ventilationskanalernas kapacitet inte kommer att öka i samma utsträckning som resteffekten i det lagrade bränslet vid utbyggnaden av CLAB.

Den maximala kapslingstemperaturen kan således vid ett tidigt övergivande närma sig de nivåer vid vilka förutsättningar finns för en snabb, exoterm reaktion mellan Zirkalloy och vatten. Denna reaktion har dock inte beaktats i detta projekt eftersom bränslekapslingen enligt ovan har antagits gå sönder redan vid lägre temperaturer på grund av andra processer.

Den höga temperaturen och god tillgång på fuktig varm luft kan leda till att urandioxiden (UO_2) oxideras till mer lösliga former så som U_3O_8 eller UO_3 . Oxiderat bränsle medför ökad frigörelse av radionuklider till omgivande vatten.

I denna studie har upphettningen av de torrlagda bränsleelementen antagits leda till att all bränslekapsling förlorar sin täthet inom en femårsperiod om anläggningen torrlagts.

5.4 BRÄNSLEKAPSLINGENS LIVSLÄNGD I VATTENFYLLDA BASSÄNGER

För det fall att uppvärmningen av bassängvattnet ej leder till torrkokning kan Zirkalloyen förväntas behålla sin täthet under väsentligt längre tid än om bassängerna torrläggas. Zirkalloyen är normalt mycket korrosionsbeständig beroende på ett mycket tätt oxidskikt på metallytan. I ett övergivet CLAB kommer dock vattenkemin att förändras i takt med att salt grundvatten strömmar in.

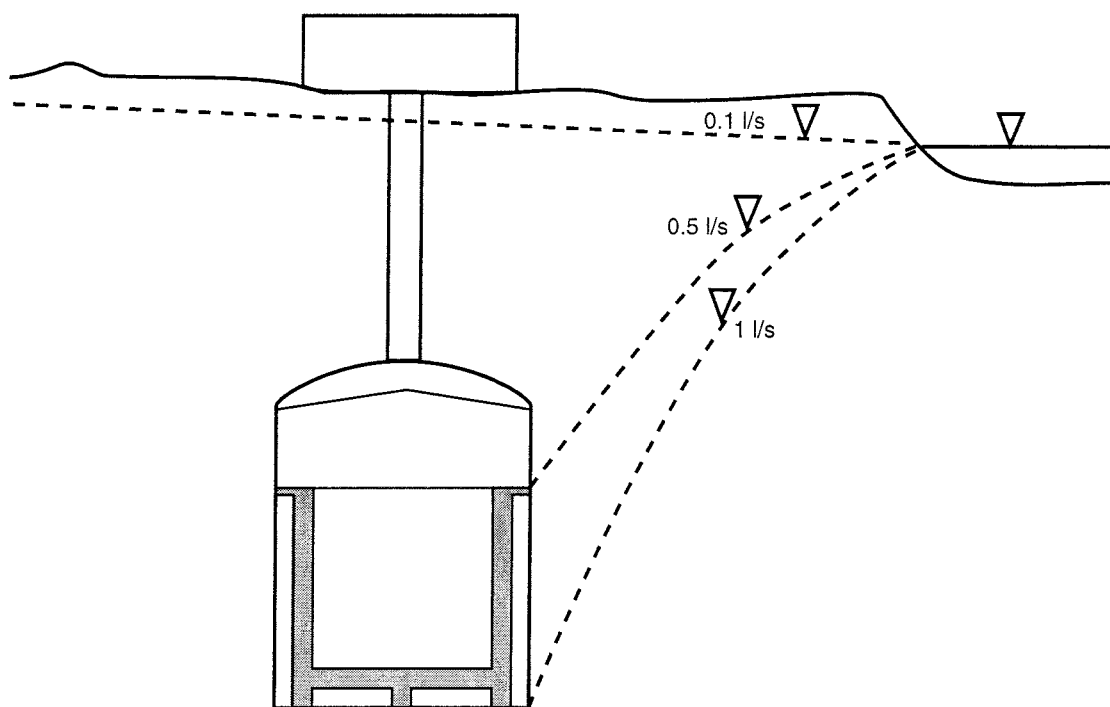
I Appendix D redovisas beräkningar av vilken salthalt som skulle fås i CLAB om anläggningen överges år 2010 respektive år 2085. Den resulterande salthalten blir något högre vid ett tidigare övergivande. Dock har återfyllnadsperiodens längd större betydelse för den resulterande salthalten än tidpunkten för övergivande. Den beräknade kloridhalten i de studerade scenarierna blir 20-140 g/l.

Inom detta projekt har ingen specialstudie gjorts av kapslingens motståndskraft mot korrosion i saltvatten. Det har antagits att Zirkalloykapslingen går sönder i en jämn takt under en 200 årsperiod om bränslet står i varmt saltvatten.

5.5 ÅTERFYLLNAD

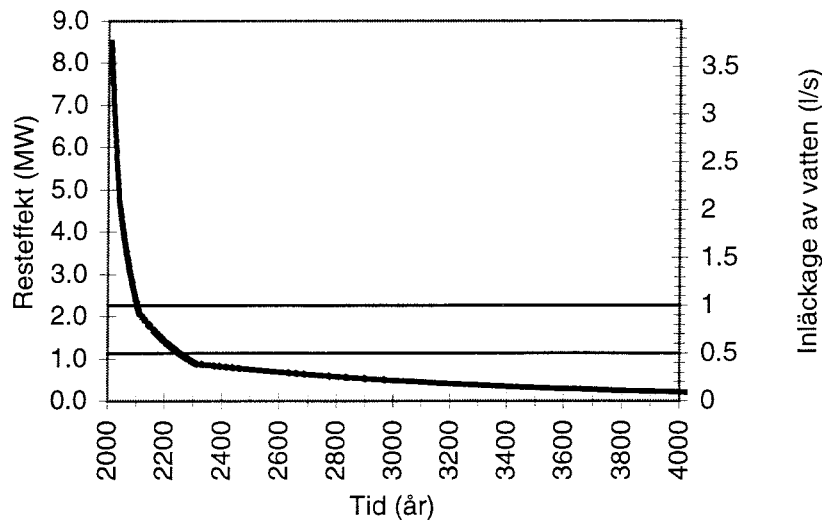
Enligt förutsättningarna för studien har anläggningen övergetts. Det har därför antagits att återfyllnad av den torrlagda anläggningen endast kan ske med inläckande grundvatten, dvs tillförsel av vatten genom mänskligt ingripande har uteslutits. Den tidigaste tidpunkt då detta kan ske är när bränslets resteffekt minskat så mycket att det inläckande grundvattnet inte helt förångas.

I Figur 5-2 visas hur grundvattenytans läge antagits påverka genomströmningen av grundvatten genom anläggningen. När anläggningen är helt torrlagd har inflödet till anläggningen antagits vara 1 l/s (se kapitel 2). När grundvattenytan är belägen vid bassängernas överkant har inflödet till anläggningen antagits vara 0,5 l/s. Detta kan inträffa under uppfyllnad av anläggning när vattnet når bassängernas överkant. Vattenytan kommer då att ligga kvar på denna nivå under den tid det tar att fylla bassängerna. Detta kan också inträffa vid avkokning från en vattenfylld anläggning då vattnet ovanför bassängkanten kokat bort. Grundvattenflödet genom anläggningen när den naturliga grundvattenytan återställts har uppskattats till 0,1 l/s.



Figur 5-2. Schematisk bild av grundvattenytan runt CLAB samt uppskattade flöden genom anläggningen vid de olika lägena på grundvattenytan.

I Figur 5-3 visas resteffekten som funktion av tiden. På den högra y-axeln visas den mängd vatten som kan förångas av resteffekten. Av figuren framgår att resteffekten motsvarar förångning av 1 l vatten per sekund (inläckaget till en helt dränerad anläggning) ungefär år 2100. På samma sätt har resteffekten minskat till den nivå som motsvarar avkokning av 0,5 l/s ungefär år 2250 (vattenytan vid bassängernas överkant). Återuppfyllnaden av anläggningen kan således påbörjas ca år 2100. Varefter vattenytan stiger minskar grundvatteninflödet. För att vattenytan skall fortsätta att stiga krävs att resteffekten i anläggningen också minskar så att avkokningen inte överstiger inflödet. Detta begränsar den hastighet med vilken återuppfyllnaden kan ske. Ungefär år 2250, dvs efter 150 år, kan vattenytan nå överytan på bassängerna varvid en återuppfyllnad av dessa kan påbörjas. Den tid det tar att fylla bassängerna och volymen ovanför bassängerna kommer att styras av resteffektens avtagande. I Appendix D redovisas beräkningar som indikerar att anläggningen skulle kunna vara helt återfylld ca år 3900.



Figur 5-3. Resteffekt (vänster y-axel) som funktion av tiden samt den mängd vatten som kan kokas bort (höger y-axel) med den vid varje tillfälle avgivna resteffekten. De horisontella linjerna visar de resteffekter som motsvarar avkokning av 1 och 0,5 l vatten per sekund vilket inträffar ungefär år 2100 respektive år 2250.

Återuppfyllnaden av anläggningen med inläckande grundvatten kommer att fördröjas av att berget och inredningen i berggrummen inklusive bränslet är upphettat och att värmeinnehållet i dessa strukturer först måste kylas bort. I appendix C redovisas beräkningar av hur lång tid det skulle ta att kyla bort värmeinnehållet i cylindrar av berg med en inläckning av 1 l/s (helt dränerad anläggning). Den beräknade fördröjningen begränsas till högst 6 år om en cylinder med en radie som motsvarar bergtäckningen värms upp till 300 °C. Ytterligare fördröjning kan fås genom att sprickor i berget runt berggrummen sannolikt är fyllda med koldioxid från avgasning av grundvatten, genom att den bildade ångan måste transporteras ut genom spricksystemet och genom att bergspänningarna påverkas av temperaturfältet. Även värmetransportmotståndet i de bergblock som ligger mellan vattenförande sprickor i berget ger en fördröjning av återfyllnadsförloppet.

Mot bakgrund av de genomförda beräkningarna har det bedömts vara rimligt att anta att avkylningen av berget kan fördröja återfyllnadsförloppet med något eller några decennier. I scenariobeskrivningarna och dosberäkningarna har ingen hänsyn tagits till denna fördröjning.

Uppskattningen av tidsförloppet för återfyllnaden av anläggningen är som framgår av resonemanget ovan behäftad med stora osäkerheter. Ytterligare osäkerheter finns i skattningen av grundvattenflödets storlek. Om t ex injekteringar och andra bergförstärkningsåtgärder förstörs under den tid anläggningen står torr och upphettad kan grundvattenflödet bli flera gånger högre än det uppskattade. Detta skulle i så fall avsevärt förkorta

återuppfyllnadsperioden. I detta projekt har därför denna period konservativt antagits kunna vara så kort som 200 år.

Landhöjningen i området bedöms vara ca 1 m per 1000 år. Effekten av denna har inte beaktats men skulle kunna medföra att tidpunkten för när CLAB blir återfyllt med vatten tidigareläggs något 100-tal år.

5.6 KONSTRUKTIONERNAS INTEGRITET

De händelseförlopp som skisserats ovan skapar under flera faser av skeendet miljöer i CLAB som kan påverka konstruktioners integritet. Anläggningen kommer tex att vara mycket varm och fuktig under lång tid. Detta kan påverka bergförstärkningars hållfasthet t.ex. genom dehydratisering av betong, förändra bergsspänningssituationen, accelerera korrosion, etc. En möjlig konsekvens av detta är t ex bergutfall som kan skada bränslet, förstöra eller blockera ventilationskanaler, etc. Även betongen i bassängerna kan skadas till följd av förhöjda salthalter och höga temperaturer.

I detta projekt har ingen närmare analys gjorts av miljöns påverkan på anläggningens integritet. I Appendix F redovisas dock en beräkning av den lyftkraft på bassängerna som fås om utrymmena under och runt bassängerna är vattenfyllda medan själva bassängerna är tömda på vatten. Slutsatsen är att lyftkraften sannolikt är otillräcklig för att lyfta bassängerna om dessa är fyllda med bränsle. Om däremot bassängerna är endast delvis fyllda med bränsle finns det en risk att de börjar flyta.

5.7 AKTIVITETSSPRIDNING OCH DOSUPPSKATTNING FÖR UTTRANSPORT TILL ATMOSFÄREN

Frigörelse till atmosfären från skadat bränsle i en torrlagd anläggning

I det fall att anläggningen torrläggs kommer som ovan nämnts bränslets temperatur att bli hög. Härvid kommer vissa radionuklider att förångas och frigöras från bränslet för sedan transporteras ut ur anläggningen med det luftflöde som självdragsventilationen ger upphov till. I detta projekt har antagits att 100% av det skadade bränslets inventar av ^{85}Kr och 1% av inventaret av ^{137}Cs sprids till omgivningen när bränslekapslingen går sönder. Eftersom kapslingen har antagits gå sönder i jämn takt under en femårsperiod kommer utsläppet att fördelas jämnt under denna period.

Frigörelse till atmosfären från skadat bränsle i vattenfyllda bassänger

Om anläggningen överges efter år 2250 kommer enligt ovan (se avsnitt 5.2) bränsleelementen inte att torrläggas. I detta scenario antages en lättillgänglig fraktion på 10% av inventariet av ^{137}Cs lakas ut till bassängvattnet i den takt

som bränslet går sönder. Detta innebär att 10% av inventariet av ^{137}Cs lakas ut under en 200-årsperiod. Frigörelse av ädelgaser har inte beräknats då samtliga ädelgaser har avklingat till mycket låga aktivitetsnivåer vid den tidpunkt som betraktas i detta scenario.

Vattnet i bassängerna kommer att koka under den tid som utlakningen sker. När den avkokade ångan lämnar vattenytan i bassängerna sker en viss medryckning av vatten i aerosolform. Mängden aerosoler som frigörs på detta sätt är svårt att uppskatta teoretiskt. I detta projekt har konservativt antagits att den avgivna ångan har ett aerosolinnehåll av 1 g/kg ånga.

Under vissa förhållanden skulle även normalt svårlakade och svårösliga nuklider kunna ge ett dosbidrag. Detta diskuteras närmare i Appendix G.

Dosuppskattning för atmosfärisk spridning

Förenklade atmosfäriska spridningsberäkningar har gjorts för ^{85}Kr och ^{137}Cs . I beräkningarna har koncentrationerna i punkter 1 km, 10 km och 100 km från utsläppspunkten beräknats utgående från väderstatistik gällande för CLAB. Koncentrationerna har beräknats endast för en riktning, mot SV, och ej som vinkelmedelvärde. De beräknade koncentrationerna har viktats med de frekvenser som anges för olika stabilitets- och vindhastighetskategorier i den valda riktningen. På detta sätt erhålles ett tidsmedelvärde för koncentrationen i de valda beräkningspunkterna.

Utgående från de beräknade tidsmedelvärdena har dosrater för inhalation beräknats. Exponeringsvägarna externbestrålningen från molnet och doser från markbeläggning har bedömts ge betydligt lägre doser än inhalation.

5.8 AKTIVITETSPRIDNING OCH DOSUPPSKATTNING FÖR UTTRANSPORT VIA GRUNDTVATTEN

Aktivitet som lakats ut i vattnet i anläggningen kan spridas vidare till recipienten via det strömmande grundvattnet. Dock kan noteras att så länge resteffekten i det lagrade bränslet är tillräcklig för att förånga så mycket vatten att grundvattenytan i och runt anläggningen hålls avsaknad kommer ingen grundvattenströmning ut från anläggningen att ske.

Således förutsätter en uttransport av radionuklider via strömmande grundvatten att resteffekten minskar till en nivå som är lägre än förångningsvärmeförbrukningen för det naturliga grundvattenflödet genom anläggningen. I detta projekt har det naturliga grundvattenflödet genom anläggningen uppskattats vara ca 0,1 l/s, dvs 1/10 av inströmningen till en fullt länsfull anläggning. Av Figur 5-3 och Appendix D framgår att resteffekten har sjunkit till den nivå som motsvarar förångningen av detta vattenflöde ungefär år 3900. Som nämnts ovan är denna tidpunkt mycket osäker eftersom dels resteffektkurvan i Figur 5-3 är mycket flack och dels det föreligger

betydande osäkerheter i bl a storleken på inflödet av grundvatten till anläggningen vid olika tidpunkter. I detta projekt har därför konservativt antagits att utsläpp kan ske redan 200 år efter återuppfyllnadens början, dvs år 2300 om anläggningen överges år 2010 eller år 2085 och år 2450 om anläggningen överges år 2250.

I detta projekt har en starkt förenklad spridningsmodell använts för att analysera effekten av aktivitetsspridning via strömmande grundvatten. Den aktivitet som löses upp från det skadade bränslet antages fördelas jämnt i det vatten som finns i anläggningen. Uttransporten till berget sker sedan som om anläggningen vore en idealt omrörd tank som genomströmmas av ett grundvattenflöde på 0,1 l/s. Eftersom anläggningen är förlagd i ytligt berg som dessutom genomkorsas av tillfartstunneln har de radionuklider som lämnar anläggningen antagits nå recipienten (Östersjön) utan ytterligare avklingning. De erhållna doserna har uppskattats utgående från det beräknade aktivitetsutsläppet och dosfaktorer gällande utsläpp till de kustnära delarna av Östersjön och hämtade från den pågående SR-97 studien.

Utsläpp via grundvatten presenteras för de relativt lösliga radionukliderna ^{14}C , ^{36}Cl , ^{90}Sr , ^{137}Cs och ^{129}I . I beräkningarna har 10% av dessa nuklider antagits vara tillgängliga för upplösning i omgivande vatten. Om uranmatrisen blivit oxiderad kan detta leda till att större andel av dessa nuklider kan lösas upp.

Under vissa förhållanden skulle även normalt svårlakade och svårlösliga nuklider kunna ge ett dosbidrag. Detta diskuteras närmare i Appendix G.

Om återuppfyllnadstiden är väsentligt längre än 200 år, t ex om uttransporten kan börja först år 3900 såsom beräknats i Appendix D, kommer andra nuklider än de som beaktats i detta projekt att behöva beaktas. Sannolikt kommer ^{241}Am , ^{239}Pu och ^{237}Np att i detta läge bli dosdominanta.

6 KONSEKVENSER AV ÖVERGIVANDE VID OLIKA TIDPUNKTER

6.1 ÖVERGIVANDE AV CLAB ÅR 2010

Om CLAB överges 2010 kommer vattnet i anläggningen att snabbt förångas och alla bränsleelement kommer att friläggas. Om hela anläggningen vattenfylls före övergivandet tar det några år (ca 2 år) att frilägga bränsleelementen, annars bara några månader (100 dygn).

Ca år 2100 har resteffekten sjunkit så att vatteninläckningen till den tomma anläggningen (1 l/s) överskrider vad som kan förångas. Att helt återfylla anläggningen tar hundratals år. Bränsleelementen kommer således att stå torrlagda under lång tid. Resteffekten i bränslet under torrperioden är stor varför det kommer att bli hett i bassängerna (350-900 °C). Detta antas leda till att samtliga Zirkalloyrör går sönder fördelat över 5 år.

När anläggningen återfylls kommer vattnet i anläggningen att få en hög salthalt (30-140 g klorid/l i återfylld anläggning beroende på hur lång tid återfyllnaden tar). Detta förväntas ha negativ inverkan på Zirkalloyrörens integritet. I denna studie har dock ingen hänsyn tagits till detta eftersom Zirkalloyrören förväntas gå sönder på grund av den förhöjda temperaturen under den period anläggningen är torrlagd.

I Appendix G redovisas beräkningar av de doser som resulterar från utsläpp till atmosfären respektive till de kustnära delarna av Östersjön.

Utsläpp till atmosfären (övergivande år 2010)

För utsläpp till atmosfären dominerar inhalation av ^{137}Cs . Det beräknade tidsmedelvärdet för dosraten i en punkt 1 km från utsläppspunkten är $1,4 \cdot 10^{-2}$ mSv/h. På samma sätt blir dosraterna 10 och 100 km från anläggningen $3,2 \cdot 10^{-4}$ respektive $1,9 \cdot 10^{-5}$ mSv/h. En person som vistas utomhus 8 timmar per dygn i ett år skulle med dessa dosrater erhålla en årsdos av 40 mSv vid 1 km, 0,9 mSv vid 10 km och 0,06 mSv vid 100 km.

Under vissa förhållanden skulle även normalt svårlakade och svårlösliga nuklider kunna ge ett dosbidrag. Detta diskuteras närmare i Appendix G.

Utsläpp via grundvatten till Östersjön (övergivande år 2010)

För utsläpp till vatten är den beräknade årsdosen 10 mSv. Denna dos domineras av ^{137}Cs och ^{90}Sr (80% respektive 19%). Om återfyllnadsperioden blir längre än 200 år kommer utsläppet till vattenrecipienten att

försenas. Härvid avklingar ^{137}Cs och ^{90}Sr så att andra nuklider blir dosdominanta.

Under vissa förhållanden skulle även normalt svårlakade och svårlösliga nuklider kunna ge ett dosbidrag. Detta diskuteras närmare i Appendix G.

Det kan noteras att för det fall att anläggningen överges år 2010 finns det ingen reell skillnad vad avser konsekvenserna av plötsligt respektive planerat övergivande såsom dessa scenarier definierats i detta projekt. I båda fallen kommer bränsleelementen att stå torrlagda under lång tid varvid bränslekapslingen kommer att skadas. Att öppna en förbindelse med ytvatten (se Appendix H) skulle resultera i att kylningen av bränslet ökar och tiden för torrläggning minskar eftersom inflödet kommer att balansera förångningen i ett tidigare skede. Återuppfyllnaden kommer att gå snabbare varvid de vattenburna utsläppen till Östersjön tidigareläggs.

6.2 ÖVERGIVANDE AV CLAB ÅR 2085

Överges anläggningen 2085 blir konsekvenserna ungefär de samma som i det fall anläggningen överges 2010. Resteffekten i bränslet har vid denna tidpunkt mer än halverats jämfört med vid 2010, men är ändå tillräcklig för att torrlägga bränsleelementen även om anläggningen återfylls med vatten. Att torrlägga bassängen beräknas ta något år medan det tar mer än 5 år att helt torrlägga en återfylld anläggning.

Förloppet och tidpunkten för återfyllnad av anläggningen är i princip densamma som för övergivande av CLAB 2010. Återfyllnaden beräknas således börja ca år 2100 och antas pågå under 200 år.

Under den period anläggningen är torrlagd kommer temperaturen i bränslet inte att nå samma nivåer som vid övergivande år 2010. Sannolikt kommer dock bränsletemperaturen under ett antal decennier att överstiga 400-500 °C varför Zirkalloyrören även i detta fall antas gå sönder fördelat över en 5-årsperiod.

I Appendix G redovisas beräkningar av de doser som resulterar från utsläpp till atmosfären respektive till de kustnära delarna av Östersjön.

Utsläpp till atmosfären (övergivande år 2085)

För utsläpp till atmosfären dominerar inhalation av ^{137}Cs . Det beräknade tidsmedelvärdet för dosraten i en punkt 1 km från utsläppspunkten är $2,5 \cdot 10^{-3}$ mSv/h. På samma sätt blir dosraterna 10 och 100 km från anläggningen $5,7 \cdot 10^{-5}$ respektive $3,4 \cdot 10^{-6}$ mSv/h. En person som vistas utomhus 8 timmar per dygn i ett år skulle med dessa dosrater erhålla en årsdos av 7 mSv vid 1 km, 0,2 mSv vid 10 km och 0,01 mSv vid 100 km.

Under vissa förhållanden skulle även normalt svårlakade och svårösliga nuklider kunna ge ett dosbidrag. Detta diskuteras närmare i Appendix G.

Utsläpp via grundvatten till Östersjön (övergivande år 2085)

Den beräknade dosen för utsläpp till vatten blir densamma som för övergivande år 2010, dvs 10 mSv/år från lättlakade och lösliga nuklider, främst ¹³⁷Cs och ⁹⁰Sr. Detta beror på att scenarierna för bränsleskador är desamma och att tidsförloppen för återfyllnad av anläggningen är desamma.

Under vissa förhållanden skulle även normalt svårlakade och svårösliga nuklider kunna ge ett dosbidrag. Detta diskuteras närmare i Appendix G.

Det kan noteras att inte heller för det fall att anläggningen överges år 2085 finns det någon reell skillnad vad avser konsekvenserna av plötsligt respektive planerat övergivande såsom dessa scenarier definierats i detta projekt. I båda fallen kommer bränsleelementen att stå torrlagda under lång tid varvid bränslekapslingen kommer att skadas. Konsekvensen av att öppna en förbindelse till ytvatten blir den samma som för scenariot "Övergivande 2010".

6.3 ÖVERGIVANDE AV CLAB ÅR 2250

År 2250 har resteffekten avklingat till en nivå som motsvarar en avkokningen av 0,5 l/s, dvs det inläckage som antagits föreligga då grundvattenytan vid anläggningen ligger i nivå med bassängernas överkant. Om anläggningen överges återfylld (planerat övergivande) i detta läge kan sannolikt torrkokning undvikas. Emellertid kommer en avkokning att ske till en nivå som ligger under bassängernas överkant men troligen över bränsleelementens överkant.

Om anläggningen överges plötsligt kommer vattenytan i bassängerna att sänkas av. Möjligen kommer överytan av bränsleelementen att friläggas. Det bedöms dock vara osannolikt att bassängerna torrläggs helt. Även om de övre delarna av bränsleelementen friläggs kommer temperaturen i bränslet sannolikt inte att bli så hög att den leder till de omfattande bränsleskador som beskrivits i de föregående avsnitten.

Om CLAB överges år 2250 kommer således bränslet att bli stående i varmt vatten med en successivt ökande salthalt. Bergrummen runt bassängerna kommer att vara fyllda av varm vattenånga. Detta kan leda till att bergblock frigörs från bergrumstaket och ramlar ner i bassängen varvid bränsleelement kan skadas. I detta projekt har antagits att allt bränsle förlorar sin täthet fördelat över en 200-årsperiod. Kokningen i bassängerna leder till att aerosoler följer med ångan och ventilationsluften ut till omgivningarna. När anläggningen återfyllts ca 200 år efter övergivandet, dvs ca år 2450, kommer

radionuklider som lösts i vattnet i anläggningen att transporteras med grundvattnet till Östersjön.

I Appendix G redovisas beräknade doser för utsläpp till atmosfären respektive för utsläpp till Östersjön.

Utsläpp till atmosfären (övergivande år 2250)

För utsläpp av ^{137}Cs till atmosfären blir den beräknade dosraten 1 km från utsläppspunkten $1,1 \cdot 10^{-7}$ mSv/h. Vid 10 och 100 km blir dosraterna $2,6 \cdot 10^{-9}$ respektive $1,5 \cdot 10^{-10}$. En person som vistas vid dessa punkter 8 timmar per dygn erhåller då en årsdos av 0,3 μSv vid 1 km, 8 nSv vid 10 km och 0,4 nSv vid 100 km. Dessa doser är väsentligt lägre än i de föregående scenarierna beroende på följande tre faktorer:

- Utsläppet sker vid en senare tidpunkt varvid ^{137}Cs har avklingat.
- Frigörelsen från bränslet sprids ut under 200 år istället för under 5 år som i de båda övriga scenarierna.
- Bassängvattnet bidrar starkt till att minska utsläppet till omgivningen.

Eftersom dosen ^{137}Cs avklingar i väsentlig omfattning kan andra normalt svårlakade och svårlösliga nuklider kunna komma att bli dosdominanta. Det årliga dosbidraget från spridning av aerosol och medstänk av ^{239}Pu , ^{241}Am och ^{237}Np skulle kunna ge 4 mSv till en person som vistas utomhus 8 timmar per dygn och befinner sig 1 km bort från anläggningen, se Appendix G. Det skall noteras att denna dos är mycket konservativt skattad då olika former av utlakningsmotstånd sannolikt kommer att ge halter i vattnet i anläggningen som väsentligt understiger den teoretiska lösligheten. En ytterligare bidragande orsak är att bränsleelementen ej förväntas torrläggas vid ett övergivande år 2250 och att bränslematrisen (UO_2) därmed troligen ej oxideras till mer löslig form (U_3O_8 eller UO_3), se kapitel 5.3.

Utsläpp via grundvatten till Östersjön (övergivande år 2250)

För utsläpp av lösliga och lättlakade radionuklider till Östersjön är den beräknade dosen 0,4 mSv/år. Som redovisats i Appendix G skulle en upplösning av mer svårlakade ^{239}Pu , ^{241}Am och ^{237}Np till respektive löslighetsgräns i oxiderande miljö kunna ge ca 12 mSv/år. Det skall noteras att denna dos är mycket konservativt skattad då inga utlakningsmotstånd i bränsle matrisen beaktats. Vidare förväntas bränsleelementen ej bli torrlagda vid ett övergivande år 2250 och bränslematrisen är därmed troligen ej oxiderad till mer löslig form, se kapitel 5.3.

Om anläggningen överges år 2250 finns det vissa skillnader i förloppet om anläggningen överges planerat respektive om den överges plötsligt. Skillnaderna är dock inte av den arten att de har lett till olika antaganden

vad avser bränslets integritet och utsläppsförloppet. De beräknade doserna gäller därför för båda fallen.

REFERENSLISTA

Huvudrapport

ASEA-ATOM "CLAB – Calculation of the maximal cladding temperature assuming loss of pool water", Rapport KPA 84-348, 1984.

BEFAST III, "Extended storage of spent fuel. Final report of a co-ordinated research programme on the behaviour of spent fuel and storage facility components during long-term storage (BEFAST-III) 1991-1996." 1996-06-17.

Chin, B.A. and Gilbert, E.R., "Prediction of maximum allowable temperatures for dry storage of Zircaloy-clad spent fuel in inert atmosphere", Nuclear Technology, Vol 85, April 1989.

Rhen, I., Ejdeling, G. Och Forsmark, T., "Geohydrologiskt underlag för MKB till CLAB – Etapp 2", SKB Inkapsling Projektrapport 96-09, juni 1996.

APPENDIX A

SAMMANSTÄLLNING AV VOLYMER, YTOR ETC

I detta appendix återfinns en sammanställning av följande information:

- Sammanställning av anläggningens volymer
- Bergytor i anläggningen
- Volym i bassängerna
- Volym utanför bassängerna
- Mängd betong i bassängerna

Beräkningar vilka redovisas i efterföljande appendix har baserats på sifferuppgifter i detta appendix. Angivna volymer och mått är baserade på uppgifter från "CLAB – anläggningsbeskrivning. Blad 22 och Blad 54".

Sammanställning av anläggningens volymer

	Längd (m)	Bredd(m)	Höjd(m)	Area*(m ²)	Volym(m ³)
Befintlig anläggning					
Bergrum 1	120	21	27	530	70 000 **
Transporttunnel	500	8	5	37	25 000
					95 000
Etapp 2					
Bergrum 2	120	21	27	530	70 000
Kanaltunnel	40	10	22	190	9 000
					79 000
Transporttunnel	400	8	5	37	16 000
Ventilationschakt*					3 000
					19 000
					98 000
Totalt					193 000
Totalt (avrundat)					200 000

* Tvärsnittsarea

** Inkl nedre hjälpsystembyggnad

Bergytor i anläggningen

Vardera bergrummet har en bergyta uppgående till:

Takyta	$21 \cdot 120 = 2520 \text{ m}^2$
Väggyta	$2 \cdot 27 \cdot 120 + 2 \cdot 21 \cdot 27 = 7614 \text{ m}^2$
Golvnya	$21 \cdot 120 = 2520 \text{ m}^2$

Total bergyta i en anläggning $2520 + 7614 + 2520 = 12\,654 \text{ m}^2$

Eftersom befintlig anläggning har samma dimensioner som den som skall uppföras blir den totala bergytan:

Total bergyta, befintlig anläggning + CLAB 2 25 308 m²

Till detta kommer följande ytor:

Transporttunnel, befintlig	$500 \cdot (8+5+5+8) =$	13 000 m ²
Kanaltunnel	$40 \cdot (10+22+22+10) =$	2 560 m ²
Transporttunnel, ny	$400 \cdot (8+5+5+8) =$	10 400 m ²
Ventilationschakt		Ca 1 000 m ²

Volym i bassängerna

Var och en av de fyra förvaringsbassängerna

Bredd	13.8 m
Höjd, invändigt	Ca 13 m
Höjd, vattenfyllt	Ca 12.5 m
Längd	Ca 18 m

Var och en av bassängerna innehåller sålunda: $13.8 \cdot 12.5 \cdot 18 = 3105 \text{ m}^3$ vatten

De fyra bassängerna innehåller sålunda: $12\,420 \text{ m}^3$ vatten

CLAB 2 antas få samma mått.

Förbindelsebassängen

Bredd	13.8 m
Höjd, invändigt	Ca 13 m
Höjd, vattenfyllt	Ca 12.5 m
Längd	Ca 14 m

Förbindelsebassängen innehåller sålunda: $13.8 \cdot 12.5 \cdot 14 = 2415 \text{ m}^3$ vatten

Summa vattenvolym per anläggning $14\,835 \text{ m}^3$

Vattenvolymen i slitsarna mellan bassängerna har försumrats.

Eftersom befintlig anläggning har samma dimensioner som den som skall uppföras blir den totala vattenvolymen:

Total vattenvolym, befintlig anläggning+CLAB 2 $29\,670 \text{ m}^3$

Total vattenvolym i bassängerna (avrundat) $30\,000 \text{ m}^3$

Volym utanför bassängerna

Volym under bassängerna: $96 \cdot 2 \cdot 6.2 \cdot 2.2 = 2619 \text{ m}^3$

Volym vid sidan av bassängerna: $96 \cdot 2 \cdot (21 - 13.8 - 1.5 - 1.5) \cdot (70.5 - 54) = 13306 \text{ m}^3$

Volym framför/bakom bassängerna: $10 \cdot 21 \cdot (70.5 - 54) + 9 \cdot 21 \cdot (70.5 - 54) = 6584 \text{ m}^3$

Volym utanför bassäng upp till bassängkant $22\,509 \text{ m}^3$

Samma volym tillkommer för CLAB 2, dvs

Total volym, befintlig anläggning + CLAB 2 $45\,018 \text{ m}^3$

Mängd betong i bassängerna

I varje bergrum finns följande volym betong:

Botten	$(13.8+2 \cdot 1.5) \cdot 96 \cdot 1.5 =$	2419 m ³
--------	---	---------------------

Väggar, långsidorna	$13 \cdot 96 \cdot 1.5 =$	1872 m ³
---------------------	---------------------------	---------------------

kortsidorna	$13 \cdot 13.8 \cdot 1.5 \cdot 6 =$	1615 m ³
-------------	-------------------------------------	---------------------

Fundament under förbindelsebassäng	$17 \cdot 2.5 \cdot (13.8+2 \cdot 1.5) =$	714 m ³
------------------------------------	---	--------------------

SUMMA		6620 m³
--------------	--	---------------------------

Vägg tjockleken har antagits vara 1.5 m genomgående.

Bottenarea av bassängerna

I varje bergrum har betongkonstruktionen följande bottenarea:

Bottenarea	$(2 \cdot 1.5+13.8) \cdot 96 =$	1613 m ²
------------	---------------------------------	---------------------

APPENDIX B

INSTRÖMMANDE VATTEN - MÄNGD OCH KEMISK SAMMANSÄTTNING

Rapport "PM 95-3450-09"

Vatteninläckaget till förvaringsbyggnaden var ca 40 l/min år 1994.

I samma rapport finns sammanställning av resultat från vattenanalyser på prover med ursprung vilket ej i klartext framgår av rapporten.

Rapport "Inkapsling, projektrapport 96-09" Vattenflöden

I sammanfattningen konstateras "Inläckaget under byggskedet beräknas öka med ca 50 % jämfört med idag. Under driftskedet beräknas flödet bli ca 25 % större än inläckaget idag." Observera att detta förutsätter att motsvarande injektering görs som gjordes under första utbyggnaden av CLAB.

Grundvattennivåer

"Ostörda grundvattennivåer innan första utbyggnaden av CLAB visade på nivåer som vanligen låg 0-3 m och i enstaka fall upp till 8 m under markytan. Nivån i området låg på ca 102-110 m (markytan = +100 m). (Mätningarna var lokaliserade relativt nära befintliga tunnlar och bergrum)." Grundvattennivåerna var under början av 1990-talet mellan 99 och 107 m.

Vattensammansättning

Sammansättningen på det vatten som idag rinner in till transporttunneln och anläggningen redovisar i Bilaga 1. De flesta värdena faller inom följande vida intervall:

pH	8
Cl-	6-1000 mg/l
Na+	7-500 mg/l

De högre värdena är representativa för det vatten som läcker in från omgivande berg. De lägre värdena härrör från vatten med stort innehåll av regnvatten.

I rapporten görs följande tolkning: "Mätningar av konduktivitet på inläckande vatten indikerar att det är i huvudsak sötvatten som läcker in. Konduktiviteten visar emellertid att det sannolikt finns en förhöjd salthalt som troligen härrör från inströmmande Östersjövatten."

APPENDIX C

VÄRMELEDNING I BERGET

Steady-state beräkning för att uppskatta bergväggstemperaturen i CLAB

En enkel överslagsberäkning av vilken temperatur ($T_{\text{vägg}}$) som bergväggen antar vid steady-state har utförts för att få en uppfattning om bergets förmåga att leda bort resteffekten i bränslet. Beräkningarna har utförts för "plan platta" enligt nedanstående

ekvation: $Q/A = K \cdot (T_{\text{vägg}} - T_{\text{berg}}) / \Delta x$

där

Q	effekten (W)	se nedan Tabell C1 (varierad)
A	bergrummets väggyta (m^2)	25308 (se Appendix A)
Δx	sträcka i berget	se nedan Tabell C1 (varierad)
$T_{\text{vägg}}$	temperatur i bergvägg ($^{\circ}\text{C}$)	se nedan Tabell C1 (varierad)
T_{berg}	temperatur i ostört berg ($^{\circ}\text{C}$)	10
K	bergets värmekonduktivitet ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$)	3

Den beräknade temperaturen på bergväggen i CLAB ($T_{\text{vägg}}$) presenteras i tabellen nedan. Den slutsats man kan dra av denna enkla beräkning är att berget ej klarar av att leda bort den alstrade effekten. För att väggtemperaturen inte skall överstiga 100°C får bergtäckningen inte vara mer än 0.8 m när effekten är 8.5 MW (motsvarar effekten år 2010), 2.5 m när effekten är 2.8 MW (motsvarar effekten år 2085) och 6.2 m när effekten är 1.1 MW (motsvarar effekten år 2250).

Tabell C1. Bergväggens temperatur som funktion av bergtäckning (Δx) och utvecklade resteffekt (Q). Temperaturen i ostört berg (T_{berg}) antas vara 10°C .

Effekt (MW)	Δx (m)	$T_{\text{vägg}}$ ($^{\circ}\text{C}$)
8.5	0.8	100
8.5	1	122
8.5	10	1130
8.5	20	2249
8.5	1	21
8.5	10	122
8.5	20	234
8.5	1	11
8.5	10	21
8.5	20	32
2.8	2.5	100
1.1	6.2	100

Ovanstående beräkningar har baserats på att värme leds genom de bergytor som finns i bergrummen. Om värme även kan avledas från transporttunneln kommer den tillgängliga arean att fördubblas, se appendix A, vilket resulterar i halverad temperaturdifferens.

Beräkning med modell för värmetransport i semi-infinit medium

Bergväggstemperaturen i CLAB har även uppskattats med en formel som gäller för värmeledning i semi-infinit medium (Carslaw and Jaeger). Värmefluxet vid bergväggen ($x=0$) är konstant. Inital temperaturen i berget är $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dessutom antas att all effekt åtgår till att värma berget.

Temperaturen vid $x=0$ (dvs bergväggen) som funktion av tiden blir;

$$T_{\text{vägg}} = 2 \cdot (Q/A)/K \cdot (kt/\Pi)^{1/2}$$

där

Q	effekt	$8.50 \cdot 10^6$ (W)
A	area, bergvägg	$2.53 \cdot 10^4$ (m^2)
K	termisk konduktivitet	3 ($\text{W}/\text{m}/^{\circ}\text{C}$)
k	termisk diffusivitet	$1.39 \cdot 10^{-6}$ (m^2/s)
ρ	densitet (granit)	2700 (kg/m^3)
C_p	värmekapacitivet (granit)	800 ($\text{J}/\text{kg}/^{\circ}\text{C}$)
Π		3.141593
t	tid	varieras (s)

Väggtemperaturen som funktion av tiden presenteras i Tabell C2 nedan. Resultatet visar att berget inte klarar av att leda bort den alstrade effekten, inte heller vid ett relativt sent övergivande.

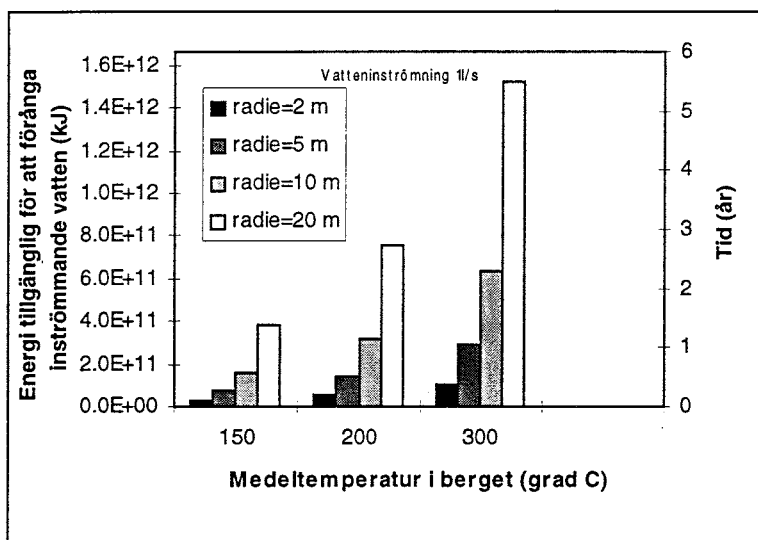
Tabell C2. Bergets väggtemperatur som funktion av tiden. Resultat presenteras för tre konstanta nivåer på resteffekten; 8.5 MW (effekten år 2010), 2.8 MW (effekten år 2085) och 1.1 MW (effekten år 2250).

Tid (yr)	$T_{\text{vägg}}$ ($^{\circ}\text{C}$)		
	8.5 MW	2.8 MW	1.1 MW
0	0	0	0
0.1	264	87	34
0.5	591	195	77
1	836	275	108
2	1182	389	153
3	1448	477	187
5	1869	616	242

Uppskattning av hur mycket energi som kan finnas lagrat i omgivande berg

Energien som kan lagras i omgivande berg har uppskattats med enkla överslagsberäkningar. Volymen på omgivande berg har antagits motsvara en cylinder, 240 m lång, där radien satts till 2, 5, 10, respektive 20 m. Initial temperaturen i berget är 10 °C.

I Figur C1 presenteras den i omgivande berg lagrade energin som är tillgänglig för att förångas inströmmande vatten. Från figuren kan även en grov uppskattning göras av den tid återinströmningen till förvaret fördröjs, om den lagrade energin ($T > 100$ °C) åtgår till att förångas vattnet. Är 2 m av berget uppvärmt till 200 °C skulle inströmningen kunna fördröjas 0.2 år, är 10 m av berget uppvärmt till 200 °C blir fördröjningen 1 år.



Figur C1. Lagrad energi i berget vid uppvärmning till olika medeltemperaturer. Uppvärmad bergvolym bestäms av ansatt radie. Dessutom presenteras en grov skattning av tiden som återinflödet av vatten skulle kunna fördröjas p.g.a. att vattnet förångas i berget.

APPENDIX D

VATTENBALANSBERÄKNINGAR

Ett antal små beräkningar för att uppskatta hur lång tid det tar att värma upp och förånga det vatten som finns och strömmar in i CLAB presenteras kortfattat nedan.

Förutsättningen för samtliga beräkningar är att all resteffekt har utnyttjats för respektive presenterad beräkning. Resteffekten har varierats på tre nivåer motsvarande år 2010 (8.5 MW), år 2085 (2.8 MW) och år 2250 (1.1 MW).

Tabell D1. Sammanfattning av bakgrundsinformation.

<u>Resteffekt</u>	år 2010:	8.5 MW
	år 2085:	2.8 MW
	år 2250:	1.1 MW
<u>Vatten (materialdata)</u>		
Ångbildningsvärme		2 260 kJ/kg
Densitet		1 000 kg/m ³
Värmekapacitivet		4.2 kJ/kg,K
<u>Inflöde av vatten till bergssalarna</u>	tomt CLAB:	1 l/s
	delvis fyllt CLAB ^{a)} :	0.5 l/s
	vattenfyllt CLAB ^{b)} :	0.1 l/s
<u>Volymer</u>		
Bassängvolym		30 000 m ³
Vattenvolym ovanför kassetterna		15 000 m ³
Vattenvolym i vattenfyllt CLAB		200 000 m ³

a) Vatten vid bassängens överkant. Antaget värde

b) Antaget värde på genomströmmande vattenflöde

Förångning av vatten

Hur mycket vatten förångas per tidsenhet, och vilken ångvolym motsvarar detta?

Vid resteffekten 8.5 MW kan 3.8 kg vatten/s förångas, motsvarande 6 m³ ånga/s (1atm, 100°C).

Vid resteffekten 2.8 MW kan 1.2 kg vatten/s förångas, motsvarande 2 m³ ånga/s (1atm, 100°C).

Vid resteffekten 1.1 MW kan 0.5 kg vatten/s förångas. motsvarande 0.8 m³ ånga/s (1atm, 100°C).

Vatten i bassängerna

RESTEFFEKT:	8.5 MW	2.8 MW	1.1 MW
<i>Hur lång tid tar det att värma vattnet i bassängerna från 40 till 100 °C?</i>	ca 12 dygn	ca 36 dygn	ca 0.2 år
<i>Hur lång tid tar det att värma och förånga vattnet till toppen av kassetterna?</i>	ca 58 dygn	ca 0.5 år	ca 1.2 år
<i>Hur lång tid tar det att värma och förånga allt vattnet i bassängerna?</i>	ca 0.3 år	ca 0.9 år	ca 2.1 år

Vattenfyllt CLAB

RESTEFFEKT:	8.5 MW	2.8 MW	1.1 MW
<i>Hur lång tid tar det att värma allt vatten i CLAB från 40 till 100 °C?</i>	ca 80 dygn	ca 0.6 år	ca 1.6 år
<i>Hur lång tid tar det att värma och förånga vattnet i CLAB till toppen av kassetterna?</i>	ca 670 dygn	ca 5.5 år	ca 14 år
<i>Hur lång tid tar det att värma och förånga allt vatten i CLAB?</i>	ca 710 dygn	ca 6 år	ca 15 år

Torrperiod

När kommer utvecklade värme att ha sjunkit så mycket att den inte räcker till för att förånga inströmmande vatten?

År 2103, om det läcker in 1 l/s (motsvarar en resteffekt på 2.26 MW)

År 2250, om det läcker in 0.5 l/s (motsvarar en resteffekt på 1.1 MW)

År 3880, om det läcker in 0.1 l/s (vilket motsvarar en resteffekt på 0.226 MW)

Återfyllnad med vatten

Efter hur lång tid skulle CLAB kunna vara vattenfylld igen?

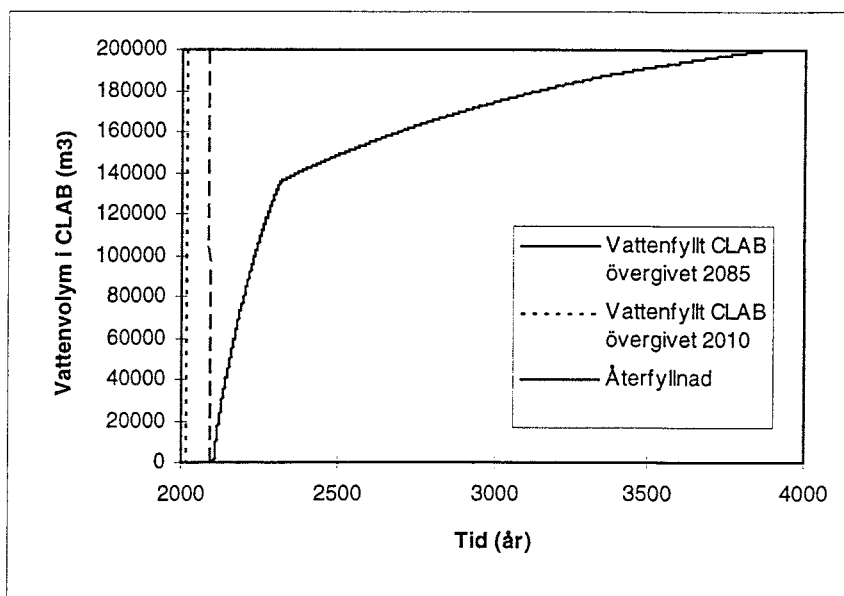
Antaget: Inströmmande vatten är 1 l/s till tom anläggning och 0.1 l/s till vattenfylld anläggning. Erforderlig volym 200 000 m³. Effektens avtagande med tiden har beaktas. I beräkningen har grovt antagits att vatteninflödet är proportionellt mot volymen vatten i anläggningen.

Slutsats: Återfyllnaden kan komma att ta mycket lång tid, tusentals år, eftersom inflödet 0.1 l/s till fylld anläggning är av samma storlek som kvarvarande resteffekt efter mycket lång tid. En grov uppskattning av återfyllnadsförloppet finns i Figur D1 (knycken på kurvan är en effekt av antagna halveringstider för restvärmes i bränslet).

Möjligt händelseförlopp

Baserat på de grova uppskattningar som presenterats ovan skulle ett möjligt scenario (för vattenbalansen) om CLAB överges 2085 kunna se ut som i Figur D1. Befintligt vatten i CLAB kommer att förångas efter övergivandet oberoende av om CLAB vattenfylld eller ej. Därefter följer en period när bränslet står torrt. När effekten i bränslet och temperaturen i CLAB sjunker börjar inläckande vatten att återfylla bergrummet. Vatten kan rinna in i bassängen först när volymen utanför bassängerna fyllts (ca 45 000 m³).

Överges CLAB 2010 förångas vattnet snabbare men återfyllnaden följer samma förlopp, se Figur D1.



Figur D1. Vattenvolymen i CLAB som funktion av tiden för scenariet att vatten fyllt CLAB överges 2085 eller 2010.

Mängden klorider i CLAB

Allt grundvatten som rinner in i CLAB antas ha en salthalt på 1 g/l. Vatten förångas men saltet ackumuleras, vilket betyder att mängden klorid i CLAB succesivt kommer att öka.

Överges CLAB 2085 vattenfyllt har kloridhalten i ett återfyllt CLAB uppskattats till ca 18 g/l enligt följande:

- Torrläggningen tar 6 år. Under denna tid har ett genomsnittligt inläckage av 0.5 l/s antagits. Detta motsvarar 95 000 m³ eller 95 000 kg klorid.
- Torrperioden pågår till 2100, dvs 10 år. Under den tid har antagits att 1 l vatten/s läcker in. Detta motsvarar 315 000 m³ vatten eller 315 000 kg klorid.
- Återfyllnaden antas ta 200 år och medelinläckaget sätts till 0.5 l vatten/s, detta motsvarar 3154 000 m³ vatten eller 3154 000 kg klorid.
- Totalt har 3564 000 kg klorid tillförts anläggningen med inströmmande grundvatten.
- Löst i 200 000 m³ blir kloridkoncentrationen 17.8 g/l.

Överges CLAB 2010 vattenfyllt har kloridhalten i ett återfyllt CLAB uppskattats till ca 30 g/l. Anledningen till att halten blir högre är att torrperioden är längre och mer salt hinner ackumuleras enligt följande:

- Torrläggningen tar 2 år. Under denna tid har ett genomsnittligt inläckage av 0.5 l/s antagits. Detta motsvarar 31 000 m³ eller 31 000 kg klorid.
- Torrperioden pågår till 2100, dvs 90 år. Under den tiden strömmar 2838 000 m³ vatten in eller 2838 000 kg klorid.
- Återfyllnaden antas ta 200 år och medelinläckaget sätts till 0.5 l vatten/s, detta motsvarar 3154 000 m³ vatten eller 3154 000 kg klorid.
- Totalt har 6023 000 kg salt tillförts anläggningen med inströmmande grundvatten.
- Löst i 200 000 m³ blir koncentrationen 30 g/l.

Tiden att återfylla CLAB är troligen betydligt längre än de 200 år som antagits här, vilket skulle ge ännu högre kloridhalter. Om uppfyllnadstiden istället antas vara 1600 år, vilket är ett troligare alternativ, blir salthalten 130-140 g/l för båda tidpunkterna för övergivande.

Löslighetsgränsen för NaCl i varmt vatten är 390 g/l (Handbook), (ger 235 g klorid/l).

APPENDIX E

VENTILATION

Självdraagsventilation vid fläktbortfall

Beräkningar av självdraagsventilationen och dess beroende av temperaturen i förvaringshallen respektive utomhustemperaturen har utförts med hjälp av nedanstående beräkningsmodell. Modellen har tillämpats för fallet då allt vatten förångats och kylning endast kan ske med hjälp av självdraagsventilation via de normala luftvägarna i befintligt ventilationssystem.

Metod

Luftflödets beroende av temperaturen i bergrummet beräknades med följande modell (ASEA ATOM, KVE 80-124):

Den termiska drivkraften kan beskrivas som:

$$\Delta P = H * g * \rho_0 \left(\frac{T_0}{T_u} - \frac{T_0}{T_h} \right) \quad (1)$$

Där H betecknar skillnaden i luftintag och luftinsläpp, [m] (20 m); g är tyngdaccelerationsfaktorn, [m/s^2]; ρ_0 är luftens densitet vid 273 K, [kg/m^3]; T_u betecknar utomhus temperaturen [K]; T_h betecknar temperaturen i förvaringshallen, [K] och ΔP betecknar tryckfallet, [Pa]. Referens temperaturen, T_0 är 273K.

Tryckfallet i en kanal fås av:

$$\Delta P = k_1 * \frac{L}{d_h} \frac{\rho v^2}{2} + \xi_{tot} \frac{\rho v^2}{2} \quad (2)$$

Där k_1 är friktionsmotståndet i kanalen [-] (0.02); d_h betecknar kanalens hydrauliska diameter, [m] (1.41 m); L betecknar kanalens längd [m] (210 m); v betecknar lufthastigheten i kanalen, [m/s]; ξ betecknar totala summan av engångsförluster pga rör tekniska detaljer och uppskattas till att vara 17, enligt nedan.

$$\xi_{tot} = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3$$

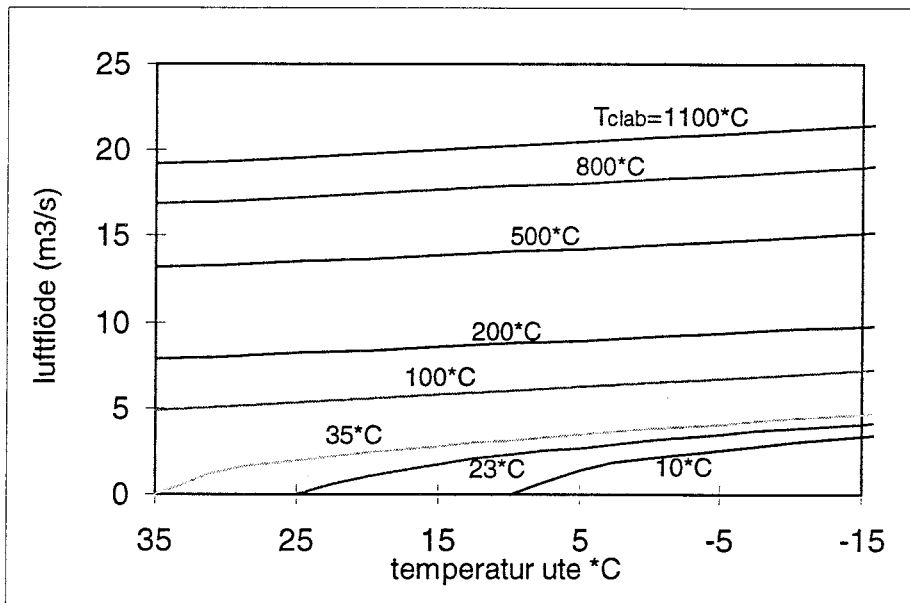
Där ξ_1 är 10 (10 st. böjar 90°); ξ_2 är 4 (4 st. spjäll) och ξ_3 är 3 (3 st. utloppsförluster).

Genom att kombinera (1) och (2) kan lufthastigheten beräknas och ur denna kan luftflödet Q , [m^3/s] beräknas. Luftflödet plottas mot utomhus lufttemperaturen för temperaturer uppgående till 10, 23,35,100, 200, 500, 800 och 1100 °C i förvaringsutrymmet, se Figur E1.

Resultat och slutsatser

Figur E1 visar att den resulterande självdrags ventilationen är relativt linjärt beroende av utomhustemperaturen, T_u , i det studerade intervallet $-15^\circ\text{C} < T_u < 35^\circ\text{C}$. Luftflödet blir större ju högre temperaturen i förvaringsutrymmet är. Vid 10°C i förvarings utrymmet och 0°C utomhus är luftflödet i ventilationsanläggningen ca $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Motsvarande siffra för 200°C i förvaringsutrymmet är ca $9 \text{ m}^3/\text{s}$.

Vid jämförelse med grafer konstruerade av ASEA ATOM (beräkningar vid "låga" temperaturer, $10, 23$ och 35°C) fås god överensstämmelse, kanalens area sätts till 2.4 m^2 (bredd= 2.4 , längd= 1 , $d_h = 2 \cdot 1 \cdot b / (1+b)$).



Figur E1. Luftflöde via självdragsventilation som funktion av utetemperaturen vid olika antagna temperaturer i CLAB.

Om man utnyttjar tillfartstunneln som tilluftskanal blir tryckfallet för tilluften helt försumbart. På detta sätt kan man erhålla betydligt större ventilationsflöde.

Erfordrat luftflöde

Hur mycket luft som måste passera igenom CLAB för att kunna kyla bort utvecklad effekt har uppskattats med följande formel: $Q=q \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{ut}-T_{in})$

där Q är effekten (W), ρ är luftensdensiteten vilken varierar med temperaturen (kg/m^3), C_p är luftens värmekapacitivitet ($1 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$). Det luftflöde (q , m^3/s) som teoretiskt behövs presenteras för olika temperaturer och tidpunkter i Tabell E1. I Tabell E1 har de luftflöden som självdragsventilationen via normala luftvägar bedöms kunna klara gråmarkerats. Utnyttjas tillfartstunneln som tilluftskanal erhålls betydligt större ventilationsflöden.

Vid en jämförelse med resultaten från självdragsventilationen i CLAB (se detta Appendix) finner man att denna ej är tillräcklig för att ventilera bort utvecklad effekt på kort sikt vid tidigt övergivande av anläggningen. Om temperaturen på utgående luft antas vara $100\text{-}200^\circ\text{C}$ visar tabellen att erforderligt luftflöde är ca 10-15 gånger större än vad självdragsventilationen förväntas klara om anläggningen överges när resteffekten är 8.5 MW (år 2010). Är resteffekten i stället 2.8 (år 2085) blir erforderlig luftflöde ca 3-5 ggr större än självdragsventilationen. Överges CLAB år 2250 (resteffekt 1.1 MW) så är erforderligt luftflöde nästan av samma storlek som vad självdragsventilationen förväntas klara i intakt skick. I CLAB finns dock andra möjlig vägar ut för den varma luften t.ex. via hisschakt eller transporttunneln vilket skulle kunna resultera i bättre ventilation.

Tabell E1. Beräknat luftflöde som behövs för att ventilera ut alstrad effekt.

T_{in}	10	10	10	10	10	10
T_{ut}	100	200	300	400	500	600
ρ	0.9341	0.7367	0.6082	0.5178	0.4508	0.3992
Effekt	q (m^3/s)	q (m^3/s)	q (m^3/s)	Q (m^3/s)	q (m^3/s)	q (m^3/s)
$8.50 \cdot 10^6$	101.1	60.7	48.2	42.1	38.5	36.1
$6.75 \cdot 10^6$	80.2	48.2	38.2	33.4	30.5	28.6
$5.35 \cdot 10^6$	63.7	38.3	30.4	26.5	24.2	22.7
$4.25 \cdot 10^6$	50.6	30.4	24.1	21.0	19.2	18.0
$3.37 \cdot 10^6$	40.1	24.1	19.1	16.7	15.3	14.3
$2.68 \cdot 10^6$	31.8	19.1	15.2	13.3	12.1	11.4
$2.13 \cdot 10^6$	25.3	15.2	12.0	10.5	9.6	9.0
$1.69 \cdot 10^6$	20.1	12.0	9.6	8.4	7.6	7.2
$1.34 \cdot 10^6$	15.9	9.6	7.6	6.6	6.1	5.7
$1.06 \cdot 10^6$	12.6	7.6	6.0	5.3	4.8	4.5
$8.43 \cdot 10^5$	10.0	6.0	4.8	4.2	3.8	3.6
$6.69 \cdot 10^5$	8.0	4.8	3.8	3.3	3.0	2.8
$5.31 \cdot 10^5$	6.3	3.8	3.0	2.6	2.4	2.3
$4.22 \cdot 10^5$	5.0	3.0	2.4	2.1	1.9	1.8
$3.35 \cdot 10^5$	4.0	2.4	1.9	1.7	1.5	1.4
$2.66 \cdot 10^5$	3.2	1.9	1.5	1.3	1.2	1.1
$2.11 \cdot 10^5$	2.5	1.5	1.2	1.0	1.0	0.9
$1.67 \cdot 10^5$	2.0	1.2	0.9	0.8	0.8	0.7
$1.33 \cdot 10^5$	1.6	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6
$1.05 \cdot 10^5$	1.3	0.8	0.6	0.5	0.5	0.4
$8.37 \cdot 10^4$	1.0	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4

= luftflöde som självdragsventilationen i CLAB beräknas klara.

APPENDIX F

FLYTKONTROLL

Beräkningar har utförts för att se hurvida bassäng konstruktionen teoretiskt skulle flyta när vatten åter strömmar in vid bassängernas utsida när bassängerna är torrlagda. Beräkningarna utgick från ritningar över CLAB-förrådet och sammanställningar av ytor och volymer i förvaringsutrymmet (Appendix A).

Metod

Den maximala mängden undanträngt vatten som bassängen ger upphov till då vatten rinner ned mellan bassäng och berg beräknades. Vikten av det undanträngda vattnet jämfördes med vikten av bassängerna och kassetter med bränsle. Bassängerna antas vara maximalt laddade med enbart BWR-element. Beräkningarna baserades på 4 bassänger, 300 kassetter/bassäng, 25 BWR-element/kassett, en vikt av 300 kg/element, betong densitet på $2\,400\text{ kg/m}^3$, och en vatten densitet på $1\,000\text{ kg/m}^3$.

Data

Volym betong i bassängerna = botten + långsidor + kortsidor

total bassäng längd = 96 m

höjd = 13 m

bredd = 13.8 m (inner mått)

tjocklek = 1.5 m

densitet_betong = 2.400 kg/m^3

densitet_vatten = 1000 kg/m^3

antal bassänger = 4

antal kassetter/bassäng = 300

vikt tom BWR kassett = 1650 kg

antal bränsleelement/kassett = 25

vikt BWR-element = 300 kg

Volym och mängd betong:

$$V_{\text{betong}} = (13.8+2\cdot 1.5) \cdot 96 \cdot 1.5 + 13 \cdot 96 \cdot 1.5 + 13 \cdot 13.8 \cdot 1.5 \cdot 5 = 5.637\text{ m}^3$$

$$m_{\text{betong}} = 5.637 \cdot 2.400 = 13.53 \cdot 10^6\text{ kg}$$

$$m_{\text{tot}} = 13.53 \cdot 10^6 + 4 \cdot 300 \cdot (1650 + 25 \cdot 300) = 25.15 \cdot 10^6\text{ kg}$$

Volym och mängd undanträngt vatten:

$$V_{\text{vatten}} = (13.8+2\cdot 1.5) \cdot 13 \cdot 96 = 20\,966$$

$$m_{\text{vatten}} = 20\,966 \cdot 1000 = 20.97 \cdot 10^6\text{ kg}$$

$$\text{förhållande: vatten/betong} = 20.97/25.15 = 0.83$$

Resultat och slutsats

Beräkningarna visar att förhållandet mellan vikten av undanträngt vatten och vikten av betongbassängerna är 0.83. Detta betyder att bassängerna ej flyter under de antagna förhållandena i beräkningarna. Förhållandet är dock relativt nära ett. Vid eventuell lastning av PWR-element istället eller vid ett fall då bassängerna ej är fullt lastade, föreligger en ökad risk för att bassängerna flyter. En kassett med PWR-element är lättare (7 800 kg) än en kassett med BWR element (9 100 kg).

APPENDIX G

UPPSKATTNING AV DOS

Konsekvensen av ett övergivet CLAB har kvantifieras med överslagsberäkningar av aktivitetspridningen via grundvatten till Östersjön och till atmosfären. Dosen till följd av inandning från atmosfärisk exponering av Kr-85 och Cs-137 har uppskattats liksom dosen från, C-14, Cl-36, Sr-90, I-129 och Cs-137 som sprids via grundvattnet till en individ som lever i Östersjöns kustområde.

Appendixet avslutas med en enkel konservativ överslagsberäkning som visar en övre gräns för doserna som radionuklider vilka är svårlakade ur bränslematrisen skulle kunna ge via atmosfärisk spridning av aerosoler och medstänk samt via grundvatten till Östersjön. De radionuklider som beaktats är Pu-239, Am-241 och Np-237. De använda koncentrationerna för Np, Am och Pu är sannolikt starkt överdrivna på grund av att ingen hänsyn tagits till utlakningsmotståndet i bränslet.

Spridning av lätt utlakade och lätt lösliga radionuklider

Aktivitetsfrigörelse via grundvatten

Aktivitetsspridningen via grundvatten har beräknats för ur bränslet lätt utlakade och lätt lösliga radionuklider: C-14, Cl-36, Sr-90, I-129, och Cs-137. Uppskattningsvis finns ca 10 % av aktiviteten av Cs-137, I-129, och C-14 i bränslematrisens korngränssytor och har ansetts vara lättillgängliga. Sr-90 och Cl-36 sitter i bränslematrisen, men 10% av aktiviteten antas vara tillgänglig.

I denna studie antas att kapslingen förlorar sin täthet inom en femårsperiod om bränslet blivit torrlagt och inom en 200 års period om bränslet stått under vatten hela tiden efter övergivandet. Detta betyder att när CLAB återfyllts, vilket antas ta 200 år, och grundvatten strömmar igenom anläggningen kommer de lättillgängliga och lätt lösliga radionukliderna finnas lösta i vattnet i anläggningen. CLAB rymmer 200 000 m³. Vattenflödet genom det återfyllda CLAB antas vara 0.1 l/s eller ca 3000 m³/år (10% av inflödet till tomma berggrum). Vattnet som lämnar CLAB antas ha samma aktivitetskoncentration som vattnet i anläggningen (idealt omrörd tank) och rinner utan fördröjning ut i Östersjön. Dosen från aktuella radionuklider till en individ som lever i Östersjöns kustområde har beräknats med hjälp av dosfaktor som tagits fram för SR-97. Aktivitetsinventaret har skattats ur aktiviteten i färskt BWR bränsle (Kjellbert SKB AR 90-41) och den totala mängden uran i CLAB som uppskattas till 7680 ton (Plan 95). En sammanfattning av radionuklid data finns i tabell G1 nedan.

Tabell G1. Aktivitetsinventar år 2010 och använda dosfaktorer för kustområde.

Radionuklid	Halveringstid (år)	Inventar (Bq), år 2010	Dosfaktor (Sv/Bq)
C-14	$5.73 \cdot 10^3$	$3.8 \cdot 10^{14}$	$4.90 \cdot 10^{-17}$
Cl-36	$3.01 \cdot 10^5$	$4.2 \cdot 10^{12}$	$6.30 \cdot 10^{-18}$
Sr-90	29.1	$3.0 \cdot 10^{19}$	$4.50 \cdot 10^{-17}$
I-129	$1.57 \cdot 10^7$	$1.0 \cdot 10^{13}$	$9.50 \cdot 10^{-16}$
Cs-137	30	$2.2 \cdot 10^{19}$	$2.10 \cdot 10^{-16}$

Dosen har beräknat för tre scenarier och resultaten presenteras i Tabell G2. De tre scenarierna är: övergivande av CLAB år 2010, 2085 respektive 2250.

Vid ett övergivande 2010 eller 2085 kommer bränslet att torrläggas. En återfyllnad kan påbörjas år 2100, när utvecklad effekt balanserar förångning av inströmmande vatten till tom anläggning (1 l/s). En uppskattning av när anläggningen kan ha återfyllts är mycket svårt att göra, i beräkningarna har antagits att återfyllnaden tar 200 år. Aktivitetspridningen påbörjas således år 2300.

Överges anläggningen 2250 eller senare kan ett torrläggande av bränslet förmodligen undvikas. Återfyllnaden av anläggningen har även i detta fall antagits ta 200 år. När genomströmningen börjar har all kapsling gått sönder (enligt ovan)

Tabell G2. Individdos för kustområdet utanför CLAB (Sv/år).

Radionuklid	Dos (Sv/år)	
	Övergivande år 2010 eller år 2085, utsläpp år 2300	Övergivande år 2250, utsläpp år 2450
C-14	$2.7 \cdot 10^{-5}$	$2.7 \cdot 10^{-5}$
Cl-36	$4.0 \cdot 10^{-8}$	$4.0 \cdot 10^{-8}$
Sr-90	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$2.9 \cdot 10^{-5}$
I-129	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$
Cs-137	$8.5 \cdot 10^{-3}$	$2.6 \cdot 10^{-4}$

Dosen för individen i kustområdet blir 10mSv/år om anläggningen överges 2010 respektive 2085 och 0.3 mSv/år om övergivandet sker år 2250.

Atmosfärisk utsläpp

Inhalationsdosen till följd av utsläpp till atmosfären har beräknats för de gasformig eller lättlakade nukliderna Kr-85 och Cs-137.

Modell

En "Gaussian plume model" har använts för dessa beräkningar.

Dosen beskrivs av formeln: $D = q \cdot (X/Q) \cdot g$

där D är dosraten (Sv/h), q är utsläppet (Bq/h), (X/Q) är diffusionsfaktorn (s/m^3), g är dosfaktorn (Sv/s)/(Bq/m³).

Diffusionsfaktorn vid markytan i vindriktningen beskrivs av formeln:

$$(X/Q) = 1/(\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u) \exp(-h^2/(2\sigma_z^2))$$

σ_z = diffusionsparameter, horisontell

σ_y = diffusionsparameter, vertikal

h = utsläppshöjd (m), antagits vara 20 m

u = medelvindhastighet (m/s)

σ_z och σ_y beror av avståndet till utsläppet och den atmosfäriska stabilitetsklassen (Pasquill klasser A-D). Använda parametrar finns i Tabell G3. Information om vindförhållanden har hämtats från data för CLAB, se Tabell G4.

Tabell G3 Horisontell och vertikal diffusionsparameter som funktion av avstånd (i vindriktningen), x.

Pasquill klass	σ_y	σ_z
A	$0.22x \cdot (1+0.0001x)^{-1/2}$	$0.20x$
B	$0.16x \cdot (1+0.0001x)^{-1/2}$	$0.12x$
C	$0.11x \cdot (1+0.0001x)^{-1/2}$	$0.08x \cdot (1+0.0002x)^{-1/2}$
D	$0.08x \cdot (1+0.0001x)^{-1/2}$	$0.06x \cdot (1+0.0015x)^{-1/2}$

Tabell G4. Frekvens av Pasquill kategorier.

Vindriktning	Summa (A-F)	Frekvens av olika Pasquill Kategorier					
		A	B	C	D	E	F
O	0.095	0.008	0.020	0.045	0.023	0.000	0.000
N	0.113	0.008	0.028	0.044	0.033	0.000	0.000
NO	0.103	0.008	0.021	0.049	0.026	0.000	0.000
NV	0.103	0.008	0.021	0.049	0.026	0.000	0.000
S	0.126	0.008	0.026	0.060	0.032	0.000	0.000
SO	0.091	0.008	0.019	0.043	0.022	0.000	0.000
SV	0.187	0.008	0.040	0.092	0.048	0.000	0.000
V	0.162	0.008	0.034	0.079	0.041	0.000	0.000

Tabell G5. Frekvens av medelvindhastigheten för olika Pasquill kategorier (NO vind).

Vind riktning	Pasquill kategori	Frekvens för olika vindmedelhastigheter (m/s)					
		1.0	2.6	4.4	6.9	9.8	10.8
NO	A	0.0075	0	0	0	0	0
NO	B	0.02142	0	0	0	0	0
NO	C	0	0.02448	0.02448	0	0	0
NO	D	0	0	0	0.01122	0.00612	0.00816

Inhalationsdoser från Kr-85 och Cs-137

Inhalationsdosen från Kr-85 och Cs-137 har beräknats för en utbredning av plymen i SV riktning (vilket motsvarar en NO vindriktning) för avstånden 1, 10 respektive 100 km. Resultat presenteras för tre scenarier för övergivandet; år 2010, år 2085 respektive år 2250. Andningsvolymen har satt till 20 m³/dygn och använda dosfaktorer finns i Tabell G6.

Överges CLAB 2010 eller 2085 kommer bränslet att torrläggas relativt snabbt och radionuklider i gasform avges när kapslingen blir otät. 20% av rören per år antas gå sönder. Från trasiga rör antas att 100% av Kr-85 och 1% av Cs-137 inventaret frigörs i gasform.

Överges CLAB 2250 antas torrkokning kunna undvikas och bränslet står under vatten hela tiden. Vid denna tidpunkt bedöms dostillskottet från Kr-85 vara försumbart. Utsläppet av Cs-137 till atmosfären antas ske med aerosoler eller medstänkning. 1‰ av ångflödet antas vara aerosoler eller medstänk, vars koncentration är den samma som i bassängvattnet. Vidare antas att 0.5 % av rören blir otäta per år, vilket motsvarar att alla rören är otäta efter 200 år. Dessutom antas att 10% av Cs-137 aktiviteten i otäta rör är löslig i vattnet. Ångflödet avtar med tiden, i beräkningarna har flödet satts till 0.5 kg/s, vilket motsvarar flödet vid 2250.

Beräknade maximala inhalationsdoser presenteras i Tabell G7 och Figur G1. Vid övergivande 2010 respektive 2085 får de maximala doserna när bränslet blivit torrlagt. Detta förväntas inträffa några månader till några år efter övergivandet beroende på om anläggningen vattenfyllets. Vid övergivande år 2250 kommer inte bränslet att torrläggas. Den maximala dosen fås ca 50 år efter övergivandet, vilket beror på att mängden löst Cs-137 i anläggningen då når ett maximum. Vid senare tidpunkter kommer fler bränsleelement att vara otäta men mängden löst Cs-137 minskar på grund av sönderfall.

Tabell G6. Dosfaktorer för inandning.

	Kr-85	Cs-137
Dosfaktorn för inandning (Sv/s)/(Bq/m ³)	$5.5 \cdot 10^{-17}$	$2.2 \cdot 10^{-12}$

Tabell G7. Maximal inhalationsdos från atmosfärisk aktivitets spridning (Sv/h).

Övergivande (år)	Avstånd (km)	X/Q (Bq/m ³ /Bq/s)	Dos (Sv/h)	
			Kr-85	Cs-137
2010	100	$1.77 \cdot 10^{-9}$	$1.7 \cdot 10^{-12}$	$1.9 \cdot 10^{-8}$
2010	10	$3.01 \cdot 10^{-8}$	$2.9 \cdot 10^{-11}$	$3.2 \cdot 10^{-7}$
2010	1	$1.30 \cdot 10^{-6}$	$1.3 \cdot 10^{-9}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$
2085	100	$1.77 \cdot 10^{-9}$	$1.3 \cdot 10^{-14}$	$3.4 \cdot 10^{-9}$
2085	10	$3.01 \cdot 10^{-8}$	$2.27 \cdot 10^{-13}$	$5.7 \cdot 10^{-8}$
2085	1	$1.30 \cdot 10^{-6}$	$9.8 \cdot 10^{-12}$	$2.5 \cdot 10^{-6}$
2250	100	$1.77 \cdot 10^{-9}$	-	$1.5 \cdot 10^{-13}$
2250	10	$3.01 \cdot 10^{-8}$	-	$2.6 \cdot 10^{-12}$
2250	1	$1.30 \cdot 10^{-6}$	-	$1.1 \cdot 10^{-10}$

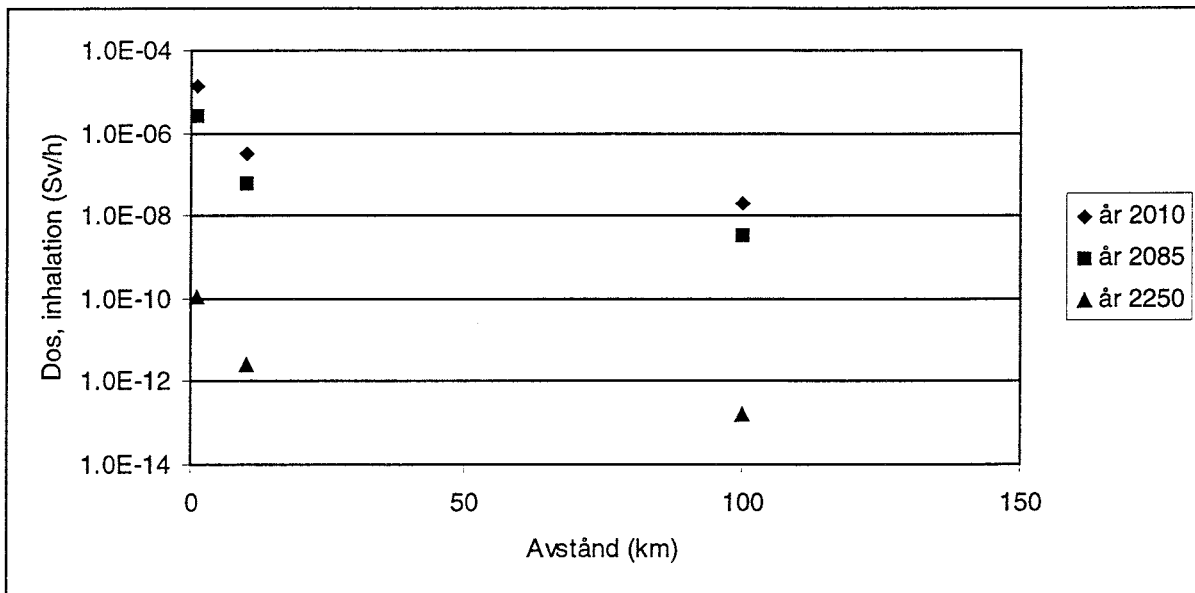
I Tabell G7 framgår att dosen en person erhåller minskar med avståndet från anläggningen. Dosen minskar dessutom ju senare anläggningen överges. En person som befinner sig på kort avstånd (1 km) från CLAB som övergivits i tidigt skede (år 2010) kommer att få en dos på $1.4 \cdot 10^{-5}$ Sv/h, vilket motsvarar en årlig dos på 40 mSv vid vistelse utomhus 8 timmar per dygn på denna plats under ett år. Motsvarande årliga dos från CLAB om det överges år 2085 blir 7 mSv. Vid ett sent övergivande (år 2250) blir den förväntade dosen avsevärt mycket lägre.

Sammanfattning av förväntade årliga doser

En sammanfattning av förväntade årliga doser orsakade av lösliga och lättlakade nuklider presenteras i Tabell G8.

Tabell G8. Sammanfattning av förväntade årliga doser.

Spridning	Dos (mSv/år)		
	Övergivande år 2010	Övergivande år 2085	Övergivande år 2250
Grundvatten till Östersjön	10	10	10
Atmosfärisk spridning	40	7	0.0003



Figur G1. Inhalationsdos från Kr-85 och Cs-137 (Sv/h) vid olika avstånd från källan. Resultatet för tre scenarier presenteras; övergivande 2010, 2085 och 2250.

Spridning av svår lakade och/eller svår lösliga radionuklider

Nukliderna plutonium, americium och neptunium är i normala fall svårlakade ur bränslematrisen och bedöms därför inte nämnvärt bidra till den totala dosen förrän i ett mycket sent skede. Den höga temperaturen och god tillgång på fuktig varm luft kan dock leda till att urandioxiden (UO₂) oxideras till mer lösliga former så som U₃O₈ eller UO₃. Oxiderat bränsle medför ökad frigörelse av radionuklider till omgivande vatten. Oxidationen kan tänkas ske om bränslets torrlagts.

För att göra en konservativ uppskattning av vilka doser som skulle kunna erhållas från ²³⁹Pu, ²⁴¹Am och ²³⁷Np har det antagits att vattnet mäts upp till ansatta löslighetsgränser i oxiderande miljö (²³⁹Pu: 1.4·10⁻⁵ M, ²⁴¹Am: 2·10⁻⁷ M, ²³⁷Np: 10⁻³ M). Det bör noteras att mängden Np i bränslet inte är tillräcklig för att den ansatta löslighetsgränsen skall uppnås i vattnet i en återfylld anläggning.

Aktivitetsfrigörelse via grundvatten av svår lakade och/eller svår lösliga radionuklider

Nukliderna plutonium, americium och neptunium är i normala fall svårlakade ur bränslematrisen och bedöms därför inte nämnvärt bidra till den totala dosen förrän i ett mycket sent skede. Har däremot bränslematrisen oxiderats, vilket kan tänkas ske om bränslets torrlagts, kan dessa nuklider frigöras lättare.

För att göra en konservativ uppskattning av vilka doser som skulle kunna erhållas från dessa nuklider har det antagits att vattnet i den återfyllda anläggningen mäts upp med plutonium, americium och neptunium till ansatta löslighetsgränser i oxiderande miljö, se ovan. Spridningen via grundvatten antages ske på samma sätt som beskrivits för de lösliga nukliderna. Använda dosfaktorer ges i Tabell G9.

Tabell G9. Använda dosfaktorer för kustområde.

Radionuklid	Halveringstid (år)	Dosfaktor (Sv/Bq)
Pu-239	2.41·10 ⁴	8.60·10 ⁻¹⁷
Np-237	2.14·10 ⁶	1.00·10 ⁻¹⁶
Am-241	4.32·10 ²	3.90·10 ⁻¹⁶

Den beräknade dosen från ²³⁹Pu och ²³⁷Np blir ca 2 mSv/år vardera och från ²⁴¹Am ca 8 mSv/år. Dessa doser (12 mSv/år) är av samma storleksordning som dosen från ¹³⁷Cs och ⁹⁰Sr (10 mSv/år). De använda koncentrationerna för Np, Am och Pu är sannolikt starkt överdrivna på grund av att ingen hänsyn tagits till utlakningsmotståndet i bränslet.

Atmosfärisk utsläpp

Inhalationsdosen för utsläpp till atmosfären av aerosoler och medstänk har för nukliderna Pu-239, Am-241 och Np-237 beräknats på samma sätt som för Cs-137. Spridning av aerosoler och medstänk kan påbörjas när anläggningen återfylls.

Inhalationsdos från Pu-239, Am-241 och Np-237

Inhalationsdosen har beräknats för en utbredning av plymen i SV riktning (vilket motsvarar en NO vindriktning) för avstånden 1, 10 respektive 100 km. Andningsvolymen har satt till 20 m³/dygn och använda dosfaktorer finns i Tabell G10. Resultaten som presenteras i Tabell G11 är giltiga för alla tre scenarier för övergivandet; år 2010, år 2085 respektive år 2250. Överges CLAB 2250 kommer bränslet förmodligen ej att torrläggas och bränslematrisen är därmed ej kraftigt oxiderad varför denna modell är mycket konservativ för detta fallet.

Tabell G10. Dosfaktorer för inandning.

	Pu-239	Am-241	Np-237
Dosfaktorn för inandning (Sv/s)/(Bq/m ³)	2.0·10 ⁻⁸	2.1·10 ⁻⁸	4.4·10 ⁻⁸

Tabell G11. Maximal inhalationsdos från atmosfärisk aktivitets spridning av aerosol och medstänk (Sv/h).

Övergivande (år)	Avstånd (km)	X/Q (Bq/m ³ /Bq/s)	Dos (Sv/h)		
			Pu-239	Am-241	Np-237
2010, 2085, 2250	100	1.77·10 ⁻⁹	4.9·10 ⁻¹⁰	4.0·10 ⁻¹⁰	8.7·10 ⁻¹⁰
2010, 2085, 2250	10	3.01·10 ⁻⁸	8.3·10 ⁻⁹	6.9·10 ⁻⁹	1.5·10 ⁻⁸
2010, 2085, 2250	1	1.30·10 ⁻⁶	3.6·10 ⁻⁷	3.0·10 ⁻⁷	6.4·10 ⁻⁷

En person som befinner på kort avstånd (1 km) från CLAB skulle kunna få en dos på 1.3·10⁻⁶ Sv/h, vilket motsvarar en årligdos på 4 mSv vid vistelse utomhus 8 timmar per dygn på denna plats.

Sammanfattning av konservativa årliga doser från svårlakade och svårlösliga nuklider.

En sammanfattning av konservativa årliga doser orsakade av svårlakade och svårlösliga nuklider presenteras i Tabell G12. Det skall noteras att de i tabellen redovisade doserna är mycket konservativt skattade då olika former av utlakningsmotstånd sannolikt kommer att ge halter i vattnet i anläggningen som väsentligt understiger den teoretiska lösligheten. En ytterligare bidragande orsak vid ett övergivande år 2250 är att bränslet ej förväntas torrläggas och att bränslematrisen (UO_2) därmed troligen ej oxideras till mer löslig form (U_3O_8 eller UO_3).

Tabell G12. Sammanfattning av konservativa årliga doser från svårlakade och svårlösliga nuklider.

Spridning	Dos (mSv/år)		
	Övergivande år 2010	Övergivande år 2085	Övergivande år 2250
Grundvatten till Östersjön	12	12	12
Atmosfärisk spridning	4	4	4

APPENDIX H

FÖRBINDELSE MED YTVATTEN I FORM AV KÄRR OVANFÖR ANLÄGGNINGEN ELLER ÖSTERSJÖN

På en månads varsel skulle det vara möjligt att öppna en förbindelse mellan anläggningen och ytvatten i form av ett kärr ovanför denna. På samma tid vore det också möjligt att skapa en direkt förbindelse med Östersjön. Vitsen med sådana konstruktioner skulle vara att öka vatteninflödet till anläggningen efter övergivandet. Effekten av ett ökat inflöde av vatten är:

- ökad kylning av bränslet
- förkortad eller under vissa förhållanden förhindrad torrläggning av bränslet
- snabbare återfyllnad.

Förbindelse med ytvatten

För att fördubbla vatteninflödet till anläggningen, i jämförelse med det antagna grundvatteninflödet in till en tom anläggning (1 l/s eller 3000 m³/år), måste inströmningen från kärret motsvara nettoinfiltrationen (300 mm/år) från minst ca 10 ha (100 000 m³). I Tabell H1 visas några olika kombinationer på infiltrationsyta, nettoinfiltration och möjligt ytvatteninflöde till anläggningen.

Genom att förbinda anläggningen med ytvatten och därmed öka vatteninströmningen skulle torrkokning av bränslet under vissa förhållanden kunna förhindras. Förbindelsen skulle också ge en snabbare återuppfyllnad av förvaret, vilket skulle innebära att nuklidutsläppen via grundvatten till Östersjön kommer tidigare än om förbindelsen ej byggts.

Tabell H1. Kombinationer på infiltrationsyta, nettoinfiltration och inflöde av ytvatten till CLAB anläggningen.

Antaget inflöde av ytvatten (m ³ /år)	Netto- infiltration (mm/år)	Yta	
		(m ²)	(ha)
30000	200	150000	15
30000	300	100000	10
3000	200	15000	1.5
3000	300	10000	1

Direkt förbindelse med Östersjön

En direktförbindelse med Östersjön skulle innebära en stabil och hög vätskenivå i CLAB anläggningen och torrläggning av bränslet skulle därmed kunna undvikas. Man har dock skapat en direktförbindelse till recipienten Östersjön och nuklidutläpp dit kommer att ske så snart som bränslekapslingen går sönder. Man har på detta sätt också tagit bort bergets fördröjande barriär effekt.