

R-98-10

**Systemredovisning
av djupförvaring enligt
KBS-3-metoden**

September 1998

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



ISSN 1402-3091
SKB Rapport R-98-10

Systemredovisning av djupförvaring enligt KBS-3-metoden

September 1998

Innehållsförteckning

Sammanfattning och slutsatser	ix
Rapportens uppläggning	xvii
1 Inledning	1-1
1.1 Bakgrund	1-1
1.2 Historik	1-2
1.3 Principer för direktdeponering	1-2
1.4 Planerat system för djupförvaring av använt kärnbränsle	1-3
1.5 Syftet med systemanalysen	1-4
1.6 Redovisning av systemanalysen i olika skeden av djupförvarsarbetet	1-5
1.7 Djupförvaring av långlivat låg- och medelaktivt avfall	1-6
1.8 Referenser	1-7
2 Använt kärnbränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall	2-1
2.1 Använt kärnbränsle	2-1
2.2 Långlivat låg- och medelaktivt avfall	2-3
2.3 Referenser	2-4
3 Krav på säkerhet och strålskydd	3-1
3.1 Allmänt	3-1
3.2 Säkerhet och strålskydd vid drift	3-1
3.3 Säkerhet och strålskydd efter förslutning av djupförvaret	3-2
3.4 Avvägning mellan säkerhet på kort och lång sikt	3-4
3.5 Safeguards och fysiskt skydd	3-5
3.6 Referenser	3-6
4 Systemet för att ta hand om använt bränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall	4-1
4.1 Översiktlig beskrivning av SKB:s huvudmetod	4-1
4.1.1 Inledning	4-1
4.1.2 Anläggningar m m i systemet	4-1
4.1.3 Tidsplan	4-4
4.1.4 Handlingsfrihet i systemet	4-4
4.2 Mellanlagring i CLAB	4-4
4.2.1 Inledning	4-4
4.2.2 Beskrivning av CLAB	4-5
4.2.3 Hantering av bränsle och hårdkomponenter	4-8
4.2.4 Långtidsaspekter på lagring i CLAB	4-9

4.3	Inkapsling vid CLAB	4-10
4.3.1	Inledning	4-10
4.3.2	Beskrivning av inkapslingsanläggningen	4-11
4.3.3	Hanteringsgång vid inkapsling	4-13
4.4	Transport av inkapslat bränsle	4-15
4.4.1	Inledning	4-15
4.4.2	Beskrivning av transportsystemet	4-16
4.4.3	Genomförande av transporter	4-18
4.5	Deponering av använt bränsle i djupförvaret	4-19
4.5.1	Inledning	4-19
4.5.2	Beskrivning av djupförvaret	4-19
4.5.3	Hanteringsgång vid mottagning och deponering av inkapslat bränsle	4-21
4.6	Möjlighet till återtag och mellanlagring av inkapslat bränsle	4-22
4.6.1	Inledning	4-22
4.6.2	Hanteringsgång vid återtag	4-23
4.6.3	Mellanlager för inkapslat bränsle	4-25
4.6.4	Långtidsaspekter på mellanlagring av kapslar	4-26
4.6.5	Återtag av bränsle från kapslar	4-27
4.7	Mellanlagring, hantering och deponering av långlivat låg- och medelaktivt avfall	4-27
4.7.1	Inledning	4-27
4.7.2	Transporter	4-29
4.7.3	Beskrivning av djupförvaret	4-29
4.7.4	Hanteringsgång vid deponering	4-30
4.8	Referenser	4-31
5	Säkerhet och strålskydd vid drift av de olika anläggningarna i systemet	5-1
5.1	Översikt av säkerhets- och strålskyddsfrågor i olika skeden av processen	5-1
5.1.1	Radioaktiva ämnen i använt bränsle och hårdkomponenter	5-1
5.1.2	Inriktning på säkerhets- och strålskyddsarbetet	5-2
5.2	Mellanlagring i CLAB	5-3
5.2.1	Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter	5-3
5.2.2	Konsekvenser vid normal drift	5-4
5.2.3	Missödesanalys	5-5
5.2.4	Långsiktig mellanlagring i CLAB	5-8
5.3	Inkapsling	5-9
5.3.1	Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter	5-9
5.3.2	Konsekvenser vid normal drift	5-10
5.3.3	Missödesanalys	5-11
5.4	Transporter	5-13
5.4.1	Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter	5-13
5.4.2	Konsekvenser vid normal drift	5-14
5.4.3	Missödesanalys	5-14

5.5	Deponering av använt bränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall	5-17
5.5.1	Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter	5-17
5.5.2	Konsekvenser vid normal drift	5-18
5.5.3	Missödesanalys	5-19
5.6	Återtag av använt bränsle och mellanlagring av kapslar	5-21
5.6.1	Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter	5-21
5.6.2	Konsekvenser vid normal drift	5-22
5.6.3	Missödesanalys	5-22
5.7	Sammanfattande bedömning av säkerhet och strålskydd för systemet	5-23
5.7.1	Inledning	5-23
5.7.2	Normal drift	5-23
5.7.3	Missöden	5-24
5.7.4	Slutsatser	5-25
5.8	Referenser	5-25
6	Säkerhet och strålskydd för ett förslutet djupförvar	6-1
6.1	Inledning	6-1
6.2	Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter	6-1
6.2.1	Allmänt	6-1
6.2.2	Förvarets primära funktion — isolering	6-3
6.2.3	Förvarets sekundära funktion — fördröjning	6-4
6.3	Långsiktig säkerhet för deponerat använt bränsle	6-4
6.3.1	Metoder för säkerhetsanalys	6-4
6.3.2	Förvarets troliga utveckling	6-6
6.3.3	Säkerhetsanalyser	6-9
6.3.4	Slutsatser	6-11
6.4	Långsiktig säkerhet för deponerat långlivat låg- och medelaktivt avfall	6-11
6.4.1	Metoder för säkerhetsanalys	6-11
6.4.2	Förvarets troliga utveckling	6-11
6.4.3	Säkerhetsanalyser	6-12
6.4.4	Slutsatser	6-13
6.5	Faktorer vid anläggningarnas drift som kan påverka den långsiktiga säkerheten	6-13
6.5.1	Tillverkning, hantering och förslutning av kapsel	6-13
6.5.2	Kvalitetssäkring i deponeringsskedet	6-14
6.5.3	Slutsatser	6-15
6.6	Referenser	6-15
7	Safeguards vid inkapsling och deponering av använt kärnbränsle	7-1
7.1	Övergripande krav	7-1
7.2	Pågående arbete inom IAEA och EURATOM	7-4
7.3	Principiell utformning av safeguardskontroll för slutförvarssystemet	7-5
7.4	Sammanfattning	7-7
7.5	Referenser	7-8

8	Andra miljökonsekvenser i olika steg i systemet	8-1
8.1	Icke radiologisk miljöpåverkan från KBS-3-systemet	8-1
	8.1.1 Inledning	8-1
	8.1.2 Markanvändning och landskapsbild	8-1
	8.1.3 Luft och vatten	8-1
	8.1.4 Förbrukning av naturresurser	8-2
	8.1.5 Annan miljöpåverkan	8-3
	8.1.6 Sammanfattning	8-3
8.2	Referenser	8-3
9	Handlingsfrihet i lokalisering och tidsplaner	9-1
9.1	Inledning	9-1
9.2	Lokalisering av inkapslingsanläggningen	9-1
	9.2.1 Faktorer som påverkar lokaliseringen	9-1
	9.2.2 Lokalisering vid CLAB	9-2
	9.2.3 Lokalisering vid djupförvaret	9-2
	9.2.4 Lokalisering vid annan kärnteknisk anläggning	9-3
	9.2.5 Lokalisering på en helt ny plats	9-3
	9.2.6 Påverkan på systemet – säkerhets- och miljöaspekter	9-3
	9.2.7 Lokalisering av kapselfabrik	9-4
	9.2.8 Sammanfattning	9-5
9.3	Lokalisering av djupförvaret	9-5
	9.3.1 Faktorer som påverkar lokaliseringen	9-5
	9.3.2 Stegvis lokalisering och utbyggnad	9-8
	9.3.3 Resultat från översiktsstudier	9-11
	9.3.4 Resultat från förstudier	9-15
9.4	Tidsplaner	9-16
	9.4.1 Faktorer som påverkar tidsplanen för arbetet	9-16
	9.4.2 Påverkan på driftsäkerhet	9-19
	9.4.3 Påverkan på långsiktig säkerhet	9-19
9.5	Referenser	9-20
10	Handlingsfrihet i teknisk utformning av systemet	10-1
10.1	Inledning	10-1
10.2	Olika typer av mellanlagring	10-1
	10.2.1 Inledning	10-1
	10.2.2 Våt mellanlagring	10-2
	10.2.3 Torr mellanlagring	10-3
	10.2.4 Påverkan på säkerheten	10-5
	10.2.5 Sammanfattning	10-6
10.3	Layout för djupförvaret	10-6
	10.3.1 Inledning	10-6
	10.3.2 Schakt kontra ramp	10-6
	10.3.3 Varianter av deponering	10-8
	10.3.4 Påverkan på driftsäkerheten	10-10
	10.3.5 Påverkan på långsiktig säkerhet	10-11

10.4	Djup för förvaret	10-12
	10.4.1 Faktorer som påverkar valet av djup	10-12
	10.4.2 Påverkan på driftsäkerheten	10-12
	10.4.3 Påverkan på långsiktig säkerhet	10-13
10.5	Kapselutformning	10-13
	10.5.1 Faktorer som påverkar kapselutformningen	10-13
	10.5.2 Kapselstorlek	10-15
	10.5.3 Material och materialtjocklek i kapslen	10-15
	10.5.4 Tillverkningsteknik för kapsel	10-16
	10.5.5 Förslutningsteknik för kapsel	10-17
	10.5.6 Påverkan på driftsäkerheten	10-17
	10.5.7 Påverkan på långsiktig säkerhet	10-17
10.6	Buffert- och återfyllnadsmaterial	10-18
	10.6.1 Faktorer som påverkar val av buffert- och återfyllnadsmaterial	10-18
	10.6.2 Tjocklek och täthet för bentonitbuffert	10-19
	10.6.3 Buffertmaterial	10-19
	10.6.4 Återfyllnadsmaterial	10-19
	10.6.5 Påverkan på driftsäkerheten	10-19
	10.6.6 Påverkan på långsiktig säkerhet	10-20
10.7	Teknik för tunneldrivning och hålboring	10-21
	10.7.1 Faktorer som påverkar teknikvalet	10-21
	10.7.2 Tillredning av tunnlar	10-21
	10.7.3 Boring av deponeringshål	10-21
	10.7.4 Påverkan på driftsäkerheten	10-22
	10.7.5 Påverkan på långsiktig säkerhet	10-22
10.8	Deponeringsteknik	10-23
	10.8.1 Faktorer som påverkar teknikvalet	10-23
	10.8.2 Deponeringsteknik vid olika layout	10-23
	10.8.3 Påverkan på driftsäkerheten	10-24
	10.8.4 Påverkan på långsiktig säkerhet	10-24
10.9	Sammanfattning	10-24
10.10	Referenser	10-26

Sammanfattning och slutsatser

Inledning

Direktdeponering på stort djup i berggrunden utgör sedan början av 1980-talet huvudinriktningen för omhändertagande av använt kärnbränsle från de svenska kärnkraftverken. De riktlinjer och principer för djupförvaring som presenterades i KBS-3-rapporten år 1983 har därvid varit vägledande för SKB:s fortsatta arbete att utveckla en metod för säker hantering och förvaring av det använda bränslet.

I samband med granskningen av FUD-program 95 uttryckte flera remissinstanser ett önskemål om en samlad redovisning och bedömning av det planerade djupförvarssystemet. Regeringen angav också i sitt beslut över programmet att SKB ska "... genomföra en systemanalys av hela slutförvarssystemet (inkapslingsanläggning, transporter och slutförvar). Denna systemanalys skall medge en samlad säkerhetsbedömning av hela slutförvarssystemet...". Föreliggande rapport, som är en redovisning av SKB:s huvudalternativ för direktdeponering, utgör en del av den samlade systemredovisningen. Andra delar utgörs av en redovisning av alternativa metoder för omhändertagande av använt kärnbränsle och en säkerhetsanalys för förvarets långsiktiga säkerhet, SR 97. Vid redovisningen inför platsundersökningsskedet kommer även en samlad utvärdering av lokaliseringsstudierna att lämnas, med ett strukturerat och motiverat val av platser för platsundersökningar.

Syftet med denna systemredovisning är att för det planerade djupförvarssystemet:

- Tydliggöra handlingsfriheten i systemet beträffande tidsplaner, lokalisering av anläggningar och teknisk utformning av systemet.
- Visa att säkerheten kan uppfyllas i alla steg av systemet, och att det råder en balans mellan långsiktig och kortsiktig säkerhet.
- Klargöra vilka kopplingar som finns mellan de olika stegen i systemet och hur dessa kopplingar påverkar säkerheten i olika led.

En samlad redovisning av systemet för djupförvaring utgör ett nödvändigt underlag vid flera tillfällen under den process som ska leda fram till byggande och drift av de anläggningar som ska ingå i systemet. Inför valet av platser för platsundersökningar kommer rapporten att revideras med hänsyn till det beslutsunderlag som är under framtagning.

Använt kärnbränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall

Huvuddelen av de radioaktiva ämnena som bildas i ett kärnkraftverk finns i det använda bränslet. När bränslet tas ut ur reaktorn är det starkt radioaktivt och avger värme. Radioaktiviteten finns framför allt i klyvningsprodukter från kärnreaktionen, men också i de transuraner som bildas genom absorption av neutroner i uran. På grund av den strålning som bränslet avger måste all hantering ske fjärrstyrt eller med strålskärmning. På lång

sikt, när de flesta radioaktiva ämnen har sönderfallit, domineras farligheten av alfa-strålade ämnen som främst är farliga om de kommer in i kroppen via föda eller inandning. Efter ca 100 000 år närmar sig det använda bränslets farlighet det naturliga uranets. Det svenska kärnkraftsprogrammet beräknas totalt ge upphov till ca 8 000 ton använt bränsle. Den exakta mängden beror på hur länge reaktorerna drivs.

Även långlivat låg- och medelaktivt avfall hanteras inom ramen för djupförvarssystemet och kan deponeras i ett speciellt område i djupförvaret. Hanteringen beskrivs därför kortfattat i denna systemredovisning. Långlivat låg- och medelaktivt avfall utgörs dels av bestrålade komponenter från reaktorhärden och dess omgivning, dels av avfall från forskningsverksamheten i Studsvik. Vidare består det av kortlivat avfall från drift och rivning av CLAB och inkapslingsanläggningen som uppkommer efter förslutning av SFR. Totalt beräknas avfallet uppta en volym på ca 25 000 m³. Avfallet innehåller, förutom radioaktiviteten, även toxiska material som bly och kadmium.

Djupförvarsmetoden

Den utformning av hanteringssystem och djupförvar som används som referens i SKB:s studier har getts benämningen SKB:s huvudalternativ. Detta huvudalternativ inkluderar följande delar:

- Mellanlagring i CLAB i ca 30 år.
- Inkapsling av bränslet i en anläggning lokaliserad i anslutning till CLAB.
- Transport av inkapslat bränsle till ett djupförvar.
- Deponering i djupförvaret.
- Förslutning av förvaret och långsiktig förvaring.

För att upprätthålla handlingsfriheten i alla delar av systemet ingår dessutom vid behov möjlighet till:

- Långtidslagring i CLAB ("nollalternativet").
- Återtag av deponerat bränsle från djupförvaret.

Det använda kärnbränslet transporteras, efter ca nio månaders lagring vid kärnkraftverken, till CLAB vid Oskarshamns kärnkraftverk. Mellanlagringen i CLAB sker i vattenfyllda bassänger som är placerade i bergtrum. Enligt planerna ska bränslet lagras i ca 30 år i CLAB innan det kapslas in för deponering i djupförvaret. Under denna period avtar radioaktiviteten i bränslet, och därmed bränslets värmeutveckling till ca en tiondel av vad den var när bränslet kom till CLAB.

Inkapsling i täta kopparkapslar sker enligt huvudalternativet i en anläggning i omedelbar anslutning till CLAB. Kapseln utgörs av ett yttre kopparhölje och en inre behållare i gjutjärn med plats för tolv BWR-element eller fyra PWR-element. Bränsle transporteras under vatten från CLAB:s lagringsbassänger via dess bränslehiss till inkapslingsanläggningen. Ett urval av bränsleelement för en kapsel görs med hänsyn taget till bränslets resteffekt. Det utvalda bränslet förs upp ur vattenfyllda bassänger och vidare till strålskärmade utrymmen för torkning och överföring till en kapsel. Sedan kapseln fyllts

svetsas ett lock av koppar dit. Den färdiga kapseln kontrolleras bl a med avseende på täthet och placeras därefter i en transportbehållare. Inkapslingsanläggningen är dimensionerad för att producera ca 200 kapslar med använt bränsle per år.

Transporterna av det inkapslade bränslet till djupförvaret sker i robusta behållare av liknande typ som de som idag används för bränsletransporterna till CLAB. Transporterna kan ske till sjöss, på järnväg eller landsväg beroende på djupförvarets lokalisering. Eventuellt kan en kombination av transportmedel, med omlastning vid lämplig hamn, komma att användas. Transporter till sjöss kan göras med liknande fartyg och på liknande sätt som dagens bränsletransporter från kärnkraftverken till CLAB. Landtransporter sker om så är möjligt på järnväg.

Djupförvaret består av en ovanjordsdel och en del under jord som är förbundna med varandra med en ramp. Anläggningarna ovan jord utgörs huvudsakligen av en driftbyggnad för mottagning av transportbehållare med inkapslat bränsle och en produktionsbyggnad för bearbetning av bentonit. Under jord finns ett centralområde samt områden för deponering av använt kärnbränsle. Dessa är utformade som tunnelsystem på ca 500 m djup i berggrunden. I botten på tunnlarna borras ca 8 m djupa vertikala deponeringshål i vilka kopparkapslarna placeras omgivna av block med högkompakterad bentonitlera. Efter avslutad deponering i en tunnel återfylls denna med en blandning av bentonitlera och bergkross.

Djupförvaret planeras bli utbyggt i två steg. Det första steget planeras omfatta ca 800 ton bränsle, d v s ca 10 %. Detta syftar till att demonstrera genomförbarheten av ett djupförvar för använt kärnbränsle. När denna demonstrationsdeponering har genomförts görs en utvärdering innan man beslutar om utbyggnad av anläggningen och deponering av det återstående bränslet och av långlivat låg- och medelaktivt avfall.

Långlivat låg- och medelaktivt avfall deponeras i en separat del av djupförvaret, som ligger avskild från deponeringsområdena för använt bränsle. Detta utformas som bergssalar av liknande typ som de som finns i SFR.

Om så befins önskvärt kan ett återtag av redan deponerat bränsle göras. Detta kan ske efter demonstrationsdeponeringen, men ska också vara möjligt under det fortsatta deponeringsarbetet och även lång tid efter förvarets förslutning, förutsatt att det finns tillgång till dagens kompetens och kunnande. Ett återtag av kapslar medför ett behov av ett mellanlager för inkapslat bränsle. Ett sådant lager kan utformas på olika sätt. Två tänkbara utformningar är ett enklare berggruslager eller ett markförlagt förvar.

Säkerhet vid drift av anläggningarna

Ett djupförvarssystem består av såväl en fas med aktiva åtgärder (drift, skötsel, underhåll) som en passiv fas efter förvarets förslutning. Under hantering och mellanlagring måste krav på säkerhet och dosbegränsningar vara uppfyllda för personal och för allmänheten. Även mer generella målsättningar som att begränsa dosen till människa ska så långt det är möjligt beaktas. Samtidigt måste den långsiktiga säkerheten efter förslutning av djupförvaret säkerställas. För att båda dessa krav ska uppfyllas måste vissa avvägningar göras mellan den långsiktiga och kortsiktiga säkerheten.

Som underlag för denna systemredovisning har SKB bl a gjort särskilda analyser av säkerheten vid drift av de planerade delarna av systemet (inkapsling, transport, djupförvar). Till detta kommer de säkerhetsredovisningar och erfarenheter som finns från flera års drift av CLAB. Analyserna täcker såväl normal drift som konsekvenserna av störningar och missöden. Allmänt gäller att hanteringen i systemet är utformad med inriktning på personalens säkerhet och minimering av dosbelastningen. Utsläpp av radioaktiva ämnen till omgivningen med vatten och luft ska hållas på en låg nivå, liksom mängden radioaktivt avfall från verksamheterna. Risken för aktivitetsfrigörelse och negativ påverkan för omgivning, personal och anläggningar ska minimeras vid störningar och missöden. Hanteringen ska utföras på ett sådant sätt att den långsiktiga säkerheten uppfylls efter deponering och förslutning av förvaret.

Enligt erfarenheter från CLAB och beräkningar för de andra anläggningarna uppgår individdoser till personalen till ca 1 - 1,5 mSv/år vid normal drift. Små utsläpp av radioaktiva ämnen via vatten och ventilationsluft sker från CLAB och inkapslingsanläggningen. De årliga utsläppen från CLAB var de senaste tio åren några tiotusendelar av vad som tillåts från en kärnteknisk anläggning. Utsläppen från inkapslingsanläggningen förväntas bli i samma storleksordning.

Missöden och störningar kan inträffa vid anläggningarna. Störningar är händelser som kan väntas inträffa under anläggningens livstid, om än sällan. De störningar som har analyserats leder inte till några utsläpp av radioaktivitet till omgivningen. Konsekvenserna för driften varierar från inga alls till kortare eller längre driftavbrott. Missöden är händelser som är mycket osannolika. Av de missöden som analyserats leder en kraftig mekanisk påverkan med bränsleskador som följd till de största utsläppen av radioaktivitet till omgivningen. Om detta sker i kombination med en omfattande brand kan det leda till utsläpp av krypton-85 och cesium. Konsekvenserna för omgivningen av ett sådant utsläpp är stråldoser som maximalt kan uppgå till några mikrosievert till kritisk grupp. Återställningsarbeten efter ett missöde kan leda till förhöjda kollektivdoser till personal och till kortare eller längre tids driftsstörningar. En omfattande brand i djupförvaret kan leda till omfattande icke-radiologiska konsekvenser för de personer som är involverade. Åtgärder vidtas därför dels för att hålla mängden brännbart material på en låg nivå, dels för att genom sektionering av lokalerna i görligaste mån undvika spridning av brand och brandgaser. Analyser av tänkbara störningar eller missöden vid transporter visar att det krävs extrema olyckor vid såväl sjö- som landtransporter för att transportbehållare och kapsel ska skadas på ett sådant sätt att aktivitet kan frigöras. Sannolikheten för sådana typer av olyckor bedöms som mycket låg. En sådan frigörelse av radioaktivitet leder dessutom till begränsad påverkan på personer i omgivningen.

Slutsatsen av analyserna av säkerheten vid anläggningarnas drift är att systemet för hantering och deponering av använt kärnbränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall är dimensionerat för de stora mängder radioaktivitet som finns i det använda bränslet och den starka strålning som därmed avges. Såväl doser till personal som utsläpp till omgivningarna ligger väl under de dimensionerande och gränssättande nivåerna vid normal drift och onormala händelser. Inget led i hanteringskedjan avviker säkerhetsmässigt från de övriga, utan god balans har uppnåtts i systemutformningen.

Långsiktig säkerhet

För att åstadkomma en långsiktig säkerhet för djupförvaret tillämpas den s k flerbarriärprincipen som i första hand går ut på att isolera avfallet. Skulle denna isolering av någon anledning brytas ska förvaret vara utformat så att transporten av radionuklider ut ur förvaret fördröjs.

För att de olika barriärerna ska uppfylla kraven på att i första hand isolera avfallet och i andra hand fördröja en spridning av radionuklider krävs att deras funktion bibehålls under mycket lång tid. Radioaktiviteten i det använda bränslet avklingar sakta och efter cirka 100 000 år har farligheten uppnått samma nivå som naturligt uran. Detta innebär att korrosionshastigheten för kapselns kopparhölje måste vara mycket låg vid de betingelser som råder i djupförvaret. Vidare ska bentonitbufferten bibehålla sina svällningsegenskaper utan att nedbrytningsprocesser försämrar dess barriärfunktion. Berggrunden som förvaret placeras in i ska uppfylla de krav som ställs långsiktigt, även vid förändrade förhållanden på grund av t ex landhöjning och glaciation. Förändringarna i biosfären är stora och snabba i förhållande till de förlopp som sker i djupförvaret. Den stråldos till människa som kan förväntas om förvarets isolerande förmåga skulle brytas beror dels på hur exponeringen sker, dels på hur radionuklider transporteras och omsätts i biosfären.

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

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

Kvalitetsprogram och kontrollplaner för inkapsling och deponering är viktiga faktorer för att säkerställa den långsiktiga säkerheten i djupförvaret. Tillverkning och förslutning av kapslar ska utföras och kontrolleras med metoder som säkerställer att antalet kapslar med upptäckta defekter som kan medföra initial otäthet eller som kan leda till ett tidigt kapselbrott hålls inom i förväg uppställda normer. Krav som ställs vid byggande och drift av djupförvaret med avseende på dess långsiktiga säkerhet ska utarbetas med utgångspunkt från de platsspecifika säkerhetsanalyserna. Kontrollprogram för uppföljning och dokumentation upprättas innan verksamheten påbörjas. Spårbarhet av dokumentation och en diskussion om under hur lång framtid dokumentationen ska finnas tillgänglig utgör en viktig del av detta arbete.

Safeguards

Sverige har genom internationella överenskommelser förbundit sig att använda kärnämnen enbart för fredligt bruk samt åtagit sig att redovisa all hantering av kärnämnen, däribland använt kärnbränsle. Sverige har vidare accepterat att allt material av denna typ

står under internationell kontroll genom ett kontrollsystem som administreras av IAEA benämnt safeguards.

För hantering av använt bränsle vid CLAB finns en väl etablerad safeguardspolicy. Den innefattar dokumentation av alla åtgärder som genomförs samt kontroller från IAEA. Dessa kontroller underlättas av att bränslet vid varje tidpunkt är tillgängligt för verifiering och mätning. Efter inkapsling försämrats dessa möjligheter, vilket ställer nya krav på safeguardskontrollen. För inkapslingsanläggningen bedöms dock huvudsakligen befintlig safeguardsteknik kunna användas.

Vad gäller djupförvaret uppstår en del nya frågeställningar. IAEA fastslår att safeguardskontroll ska upprätthållas även efter att djupförvaret har återfyllts och förslutits. Kontrollen under drift ska baseras på möjligheten att verifiera förvarets utformning samt flöden av material till och från förvaret. Efter förvarets förslutning ska kontroll kunna ske genom övervakning från ytan eller luften samt genom besök på platsen.

Handlingsfrihet i lokalisering, tidsplaner och teknisk utformning

Det planerade systemet ger stor handlingsfrihet avseende lokalisering av anläggningar, tidsplaner för genomförande och teknisk utformning. Olika alternativ har studerats och kommer att studeras fortsättningsvis fram till byggande och drifttagande av anläggningarna. Vissa detaljutformningar kan även förändras efter påbörjad inkapsling och deponering.

Lokalisering

Inkapslingsanläggningen ska enligt huvudalternativet lokaliseras vid CLAB. De huvudsakliga skälen för en sådan lokalisering är betydande samordningsvinster och en förenklad hantering vid överföring av använt bränsle mellan anläggningarna jämfört med andra alternativ. Lokalisering vid djupförvaret, vid en annan kärnteknisk anläggning eller på en helt annan plats är dock alternativ som är möjliga. Olika lokaliseringsalternativ ska analyseras vidare innan ett slutligt beslut fattas om lokalisering i samband med ansökan om tillstånd att uppföra anläggningen.

Lokaliseringen av djupförvaret är inte bestämd. Arbetet med att välja en plats för djupförvaret sker genom en stegvis lokaliseringsprocess som syftar till att ta fram det underlag som behövs för att få tillstånd till att påbörja detaljundersökningar. Faktorer som påverkar lokaliseringen har indelats i fyra huvudgrupper: långsiktig säkerhet, teknik, mark och miljö samt samhällsaspekter. Utvärdering av de olika lokaliseringsfaktorerna i översiktsstudier rörande de nationella förutsättningarna för lokalisering av ett djupförvar visar att stora delar av landet är potentiellt intressanta för vidare studier av lokalisering av ett djupförvar, dock med vissa begränsningar. Det är viktigt att poängtera att lämpligheten av en lokalisering inte kan fastslås förrän studier i mer lokal skala genomförts i samband med förstudier och platsundersökningar. Strukturen med lokaliseringsfaktorer kommer till användning när underlagsmaterial ska utvärderas inför valet av områden för platsundersökningar. Sedan resultaten från samtliga förstudier sammanställts enligt denna struktur värderas intressanta områden från förstudierna med angivande av de viktigaste för- och nackdelarna med avseende på respektive lokaliseringsfaktor. Valet av områden för platsundersökningar görs utifrån en samlad

bedömning av alla lokaliseringsfaktorer. I underlagsmaterialet ingår resultat från tidigare typområdesstudier, genomförda och pågående översiktsstudier och från förstudier. Förstudier har genomförts eller pågår i sex kommuner och fler planeras. I dessa studier utreds förutsättningarna i potentiellt lämpliga och intresserade kommuner. Med utgångspunkt från bl a förstudierna väljs minst två platser för kompletta platsundersökningar som ska leda fram till en ansökan om att få påbörja detaljundersökning och byggande av ett förvar på en av dessa platser.

Tidsplaner

Tidsplanen för byggande och drifttagande av en inkapslingsanläggning och ett djupförvar är beroende av den tekniska kunskapsbasen, möjligheten till offentlig insyn under processens gång och tillståndsprövningen. Teknikutveckling bedöms inte vara en begränsande faktor för tidsplanen. Den offentliga insynen måste säkerställas genom att sprida information och ge möjlighet för allmänheten att framföra sina synpunkter. Den tid det tar kan variera mycket från en kommun till en annan. Tillståndsprövningen, sedan en ansökan om att få uppföra djupförvaret på en bestämd plats lämnats in, bedöms kräva omfattande insatser från berörda myndigheter, kommuner och regeringskansliet. Genom den MKB-process som planeras får dessa löpande insyn och möjlighet till påverkan kring beslutsunderlag vilket bör underlätta tillståndsprövningen. En bedömning är att det kommer att ta ca 15 år innan deponering av inkapslat bränsle kan påbörjas. En ytterligare fördröjning av denna tidsplan skulle medföra en förlängd mellanlagring i CLAB av det använda bränslet.

Konsekvenserna av en förlängd lagring av använt kärnbränsle i CLAB har studerats, det s k nollalternativet. Därvid har såväl långtidsegenskaperna hos det lagrade bränslet som den långsiktiga beständigheten av berggrum och bergförstärkningar, byggkonstruktioner samt system och installationer studerats. Studien visar att lagringstiden torde kunna utsträckas till minst 100 år, under förutsättning att lagringen fortsatt sker under kontrollerade former, d v s med drift och övervakning av anläggningen som idag och med erforderliga underhållsåtgärder för berggrum, byggnader och installationer. Om anläggningen, vid t ex en krigssituation måste överges under en längre tid kan detta leda till allvarliga konsekvenser.

Teknisk utformning

Den tekniska utformningen av systemet kan varieras på ett antal områden.

- Mellanlagring av använt bränsle görs idag som våt lagring i CLAB. Alternativt kan bränslet lagras torrt i behållare eller i strålskärmande byggnader.
- Nedfarten till djupförvarets underjordsanläggning kan utgöras av en spiralramp, en rak ramp eller schakt.
- Deponeringen av kapslar i förvaret kan ske vertikalt med en eller flera kapslar, horisontellt i deponeringstunnlarnas väggar eller i medellånga tunnlar.
- Olika teknik för deponering av kapslar och bentonit kan vara att föredra beroende på hur deponeringen av kapslar sker.
- Förvarets djup är enligt huvudalternativet 500 m, men så stora djup som 2 000 m har diskuterats och analyserats.

- Kapselns utformning vad gäller storlek, materialval, tillverkningsteknik och förslutningsteknik har studerats och vidare studier pågår bl a vid Kapsellaboratoriet i Oskarshamn.
- Bufferten utgörs av bentonitlera, som dock kan vara av olika kvalitet beroende på från vilken fyndighet den hämtas. Återfyllnadsmaterial kan utgöras av enbart bergkross eller kvartssand, eller av en blandning av endera av dessa med bentonitlera.
- Tjockleken på bufferten ska vara tillräcklig för att stabilisera kapseln och åstadkomma en fördröjning av radionuklidernas transporthastighet. En tjockare buffert leder emellertid till lägre värmeledningskapacitet och som en följd härav färre bränsleelement i varje kapsel.
- Drivning av tunnlar och borming av deponeringshål kan göras med olika tekniker.

Valet av tekniska lösningar är i många fall beroende på de lokala förhållanden som råder på platsen för djupförvaret och på berggrundens egenskaper. En spiralramp som nerfart till underjordsanläggningen är t ex endast möjlig om ovanjordsanläggningen är placerad rakt över underjordsanläggningen. Det optimala djupet på förvaret är beroende på berggrundens egenskaper på platsen. I samband med ansökningarna om tillstånd att bygga inkapslingsanläggning och djupförvar kommer detaljerna i den tekniska utformningen att fastläggas. Det är emellertid fullt möjligt, med hänsyn till anläggningarnas långa drifttider, att göra förändringar även efter den tidpunkt anläggningarna har tagits i drift.

Slutsatser

Den genomförda systemanalysen visar att KBS-3-metoden kan genomföras på ett acceptabelt sätt, såväl vad gäller säkerheten vid anläggningarnas drift som den långsiktiga säkerheten. Stråldoserna till personal och omgivning förväntas bli låga från samtliga steg i processen vid normal drift och vid eventuella missöden. En god balans kan uppnås mellan de olika hanteringsstegen.

Den utformning som utgör SKB:s huvudmetod har betydande frihetsgrader kvar innan den slutliga utformningen behöver fastläggas. Detta gäller även lokaliseringen av anläggningarna och tidsplanen för att genomföra arbetet. Med det stegvisa genomförandet av djupförvarsmetoden som SKB planerar finns det goda möjligheter att successivt fatta beslut och begränsa lösningarna i systemet till ett sent skede. Detta ger goda möjligheter att under arbetets gång ta hänsyn till de nya kunskaper som kommer från det svenska forskningsprogrammet och från motsvarande arbeten i andra länder.

Rapportens uppläggning

Denna rapport redovisar en systemanalys av djupförvaring enligt KBS-3-metoden. Rapporten har följande struktur:

Kapitel 1 – Inledning

En bakgrund till systemredovisningen ges som bl a beskriver KBS-3-metodens utveckling. Principerna för direktdeponering beskrivs och SKB:s planerade system för djupförvaring av använt kärnbränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall redovisas. Syftet med systemanalysen i olika skeden av djupförvarsarbetet presenteras.

Kapitel 2 – Använt kärnbränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall

Använt kärnbränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall för deponering i djupförvaret beskrivs med avseende på radioaktivitet, kemisk toxicitet, kvantiteter och sammansättning.

Kapitel 3 – Krav på säkerhet och strålskydd

Allmänna principer för skydd mot joniserande strålning diskuteras kortfattat. Myndigheternas krav och internationella organisationers rekommendationer angående säkerhet och strålskydd vid såväl hantering som långsiktig förvaring redovisas. SKB:s strategi för att uppfylla kraven beskrivs. Avvägningen mellan säkerhet på lång och kort sikt diskuteras liksom kraven på safeguards och fysiskt skydd.

Kapitel 4 – Systemet för att ta hand om använt bränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall

SKB:s huvudalternativ beskrivs. De systemdelar som redovisas är CLAB, en inkapslingsanläggning i anslutning till CLAB, transporter av inkapslat bränsle, deponering av använt bränsle i djupförvaret, möjlighet till återtag av deponerade kapslar samt mellanlagring, hantering och deponering av långlivat låg- och medelaktivt avfall.

Kapitel 5 – Säkerhet och strålskydd vid drift av de olika anläggningarna i systemet

Kapitlet inleds med en redovisning av radioaktiva ämnen i använt bränsle och hårdkomponenter samt av inriktningen på säkerhets- och strålskyddsarbetet. Därefter följer en redogörelse för viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter, utsläpp till omgivningen och doser till personal vid normal drift samt missödesanalys för de olika systemdelarna som beskrivits i kapitel 4. Konsekvenserna av en förlängd mellanlagring i CLAB diskuteras.

Kapitel 6 – Säkerhet och strålskydd för ett förslutet förvar

Djupförvarets funktion att i första hand isolera avfallet och i andra hand fördröja transporten av radionuklider redovisas. Förvarets troliga utveckling och arbetet med säkerhetsanalysen beskrivs såväl för det deponerade inkapslade bränslet som för långlivat låg- och medelaktivt avfall. Faktorer vid inkapsling och deponering som kan påverka den långsiktiga säkerheten diskuteras.

Kapitel 7 – Safeguards vid inkapsling och deponering av använt kärnbränsle

De övergripande kraven på safeguards redovisas, liksom pågående arbete på området inom IAEA och Euratom. Den principiella utformningen av safeguardskontrollen för slutförvarssystemet beskrivs.

Kapitel 8 – Andra miljökonsekvenser i olika steg i systemet

Icke-radiologisk miljöpåverkan av KBS-3-metoden beskrivs kortfattat.

Kapitel 9 – Handlingsfrihet i systemutformning, lokalisering och tidsplaner

Handlingsfriheten i lokalisering av inkapslingsanläggningen och djupförvaret redovisas. Lokaliseringsprocessen för djupförvaret och faktorer som påverkar lokaliseringen beskrivs. Handlingsfriheten i tidsplanerna för lokalisering, byggande och drift av inkapslingsanläggningen och djupförvaret diskuteras.

Kapitel 10 – Handlingsfrihet i teknisk utformning av systemet

Handlingsfriheten inom systemet vad avser mellanlagring, kapselutformning, layout och djup på djupförvaret, val av buffert- och återfyllnadsmaterial, teknik för tunneldrivning och hålbormning samt deponeringsteknik redovisas.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Verksamheten vid de svenska kärnkraftverken ger, liksom all industriell verksamhet, upphov till avfall. Avfallet från kärnkraftverken omhändertas av ett av dessa gemensamt ägt företag, Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB. Avfallsvolymererna är inte stora i förhållande till verksamhetens omfattning och i jämförelse med annan industriell verksamhet. Delar av avfallet är emellertid radioaktivt, vilket gör att det ställs speciella krav på att detta avfall omhändertas på ett sådant sätt att människa och miljö inte kommer till skada.

Radioaktiviteten, framförallt i det använda kärnbränslet, är hög och den kommer att förbli så även långt in i framtiden. Det är därför väsentligt att säkerheten upprätthålls såväl kortsiktigt under hantering och mellanlagring som under längre tidsperioder. Sett över ett långt tidsperspektiv sönderfaller de allra flesta radioaktiva ämnen i det använda bränslet under loppet av några hundra år. Därefter dominerar farligheten av ett fåtal ämnen som kommer att finnas kvar under mycket lång tid. Efter ca 100 000 år närmar sig det använda bränslets farlighet den naturliga uranmalmens. En central fråga för säkerhetens upprätthållande är att materialet hanteras och förvaras på ett sådant sätt att det inte kan komma på avvägar utan att man hela tiden har full kontroll över det.

SKB har idag anläggningar och utrustning för omhändertagande av radioaktivt avfall från driften av kärnkraftverken:

- SFR för omhändertagande av låg- och medelaktivt driftavfall.
- Fartyget M/S Sigyn för transport av använt kärnbränsle och annat radioaktivt avfall.
- CLAB för mellanlagring av använt kärnbränsle.

Förutom de befintliga anläggningarna finns det ett framtida behov av anläggningar för avfall från rivning av kärnkraftverken och för ett slutligt omhändertagande av det använda bränslet. Det kortlivade rivningsavfallet planeras till en utbyggnad av SFR liknande den befintliga SFR-anläggningen. SKB:s huvudinriktning för det använda bränslet är att det ska deponeras i ett geologiskt djupförvar inneslutet i täta kopparkapslar, den så kallade KBS-3-metoden /1-1/. För detta planeras en inkapslingsanläggning och ett djupförvar, samt vid behov en utbyggnad av det befintliga transport-systemet.

I denna rapport beskrivs systemet för att ta hand om använt bränsle för djupförvaring enligt KBS-3-metoden. Rapporten behandlar i första hand frågor som berör strålskydd och radiologisk säkerhet, medan andra former av påverkan på människa och miljö endast berörs mycket kortfattat. En sammanställning över alternativa metoder för att ta hand om använt bränsle ges i /1-2/. Där presenteras även argumenten för valet av direktdeponering som huvudalternativ för det fortsatta arbetet. Alternativet med

transmutation beskrivs i en separat rapport /1-3/. Även om direktdeponering är huvudalternativet kommer SKB:s studier av alternativa metoder att fortsätta för att bibehålla möjligheten att ändra inriktning längre fram.

Denna rapport ska ses som en beskrivning av systemet i dess nuvarande utformning och i det skede forskning och utveckling befinner sig idag. Analyser av systemet kommer att behövas även i senare skeden, för att redovisa det då aktuella kunskapsläget. En sådan redovisning ska även ge central information i förhållande till rådande läge av lokaliseringsprocessen.

1.2 Historik

Studier av hur det använda kärnbränslet slutligt ska tas om hand har pågått i Sverige sedan mitten av 70-talet. Arbetet tog fart i samband med AKA-utredningen som tillsattes 1972 och som lämnade sitt slutbetänkande 1976 /1-4/. Huvudinriktningen i AKA-utredningen var att det använda kärnbränslet skulle upparbetas och det utvunna plutoniumet skulle återanvändas i de svenska lättvattenreaktorerna. Det högaktiva avfallet från upparbetningen föreslogs bli deponerat på stort djup i svensk berggrund. Som ett alternativ till upparbetning föreslogs i utredningen att studier skulle påbörjas för att klarlägga förutsättningarna för direktdeponering av det använda kärnbränslet utan upparbetning. En första bedömning gjordes att teknik för direktdeponering var möjlig att utveckla.

Sedan AKA-utredningen publicerats har förutsättningarna för det svenska kärnkraftsprogrammet förändrats, liksom situationen beträffande upparbetning och återcyklning av plutonium i världen. Huvudinriktningen för hur det använda kärnbränslet ska tas om hand har därför sedan början av 80-talet varit direktdeponering på stort djup i svensk berggrund. Sålunda presenterade SKB en första genomarbetad säkerhetsanalys för direktdeponering i KBS-3-rapporten år 1983 /1-1/. KBS-3-rapporten utgjorde underlag för laddningstillstånd för reaktorerna Forsmark 3 och Oskarshamn 3. Regeringen beviljade sådana tillstånd enligt kärntekniklagen i juni 1984. Sedermera har även drifttillstånden för Barsebäck 2, Ringhals 3 och 4 och Forsmark 1 och 2 överförts till att baseras på KBS-3. Dessa var tidigare baserade på upparbetning av det använda kärnbränslet.

1.3 Principer för direktdeponering

De principer för djupförvaring av det använda kärnbränslet som presenterades i KBS-3-rapporten har varit vägledande för det fortsatta arbetet. De viktigaste riktlinjerna för hur djupförvaringen ska genomföras är:

- Förvaret ska för sin långsiktiga säkerhet inte vara avhängigt av framtida generationers övervakning och underhåll. Detta utesluter dock inte att förvaret och/eller förvaringsplatsen kan övervakas under en period efter att avfallet har deponerats eller att förvaret har förseglats.
- Förvaret ska utformas så att det inte onödigtvis försvårar eventuella framtida åtgärder för att förändra förvaret eller återta avfallet.

- Förvarets långsiktiga säkerhet ska bygga på flera passiva barriärer arrangerade så att eventuella brister hos en barriär inte avsevärt försämrar förvarets funktion, den s k flerbarriärprincipen.
- De material som används i förvaret ska kunna visas vara stabila i förvaret under lång tid, t ex genom erfarenheter från materialens beteende i naturen.

För att åstadkomma den långsiktiga säkerheten utformas djupförvaret så att det använda kärnbränslet isoleras från kontakt med biosfären. Isoleringen åstadkoms genom att det använda kärnbränslet innesluts i täta kapslar som deponeras djupt i berggrunden på en utvald förvaringsplats. Genom lämpligt val av material i kapslarna samt plats för och utformning av djupförvaret kan kapslarna förväntas förbli täta under mycket lång tid.

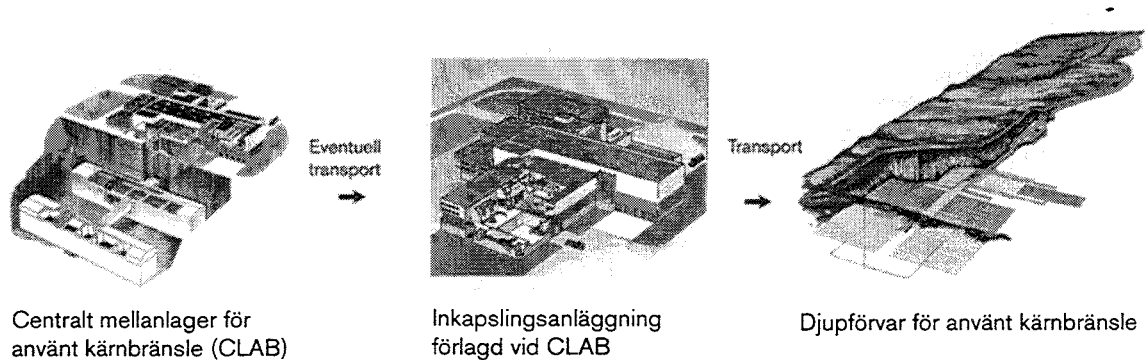
För att undvika att basera förvarets säkerhet på en enda funktion, isolering, har förvaret dessutom funktionerna att hålla kvar radionukliderna och fördröja transporten av dem om kapselns isolering trots allt skulle brytas. Slutligen är det gynnsamt om spridningsvägar och utspädningsförhållanden på den plats där det djupa grundvattnet kommer i kontakt med biosfären är sådana att de säkerställer att endast små mängder av den radioaktivitet, som eventuellt frigörs, kan nå människan.

1.4 Planerat system för djupförvaring av använt kärnbränsle

Det använda kärnbränslet från de svenska kärnkraftverken mellanlagras idag i det centrala mellanlagret för använt kärnbränsle, CLAB, vid Oskarshamns kärnkraftverk. Innan bränslet transporteras till CLAB lagras det på kärnkraftverken i minst nio månader.

Lagringen i CLAB sker i vattenfyllda bassänger som är placerade i bergrum med ca 30 meters bergtäckning. Enligt gällande planering ska bränslet mellanlagras i ca 30 år innan det placeras i djupförvar. Under denna period sjunker radioaktiviteten i bränslet och därmed bränslets värmeutveckling till ca en tiondel av vad den var när bränslet kom till CLAB. Detta innebär att hanteringen vid inkapsling och deponering i djupförvaret kan förenklas. Mellanlagringen i CLAB gör också att det finns en stor handlingsfrihet i systemet när det gäller tidsplanen för genomförande av inkapsling och deponering.

Innan bränslet förs ned i ett djupförvar ska det kapslas in i täta kopparkapslar (figur 1-1). Detta föreslås ske i en inkapslingsanläggning i anslutning till CLAB. Med denna lokalisering kan bränslet föras över till inkapsling utan externa transporter. Alternativt kan inkapslingsanläggningen placeras i anslutning till djupförvaret, i anslutning till en annan kärnteknisk anläggning eller på någon annan ort. Transporten av bränsle från CLAB till inkapslingsanläggningen sker då på samma sätt som transporten från kärnkraftverken till CLAB.



Figur 1-1 KBS-3-systemet för använt bränsle.

Det inkapslade bränslet transporteras till djupförvaret i robusta behållare av liknande typ som de som används för bränsletransporter. I djupförvaret deponeras det inkapslade bränslet på 400 - 700 meters djup, där ett system av deponeringstunnlar byggs. Platsen för djupförvaret har ännu inte bestämts. Lokaliseringsarbetet pågår och planeras att drivas stegvis framåt, via förstudier, platsundersökningar och detaljundersökningar /1-5/.

Djupförvaret planeras bli utbyggt i två steg. Det första steget syftar till att demonstrera genomförbarheten för ett djupförvar för använt kärnbränsle. Det planeras omfatta ca 800 ton inkapslat bränsle (ca 10 % av den totala mängden) och kan förväntas vara genomfört tidigast om ca 15 år. När demonstrationsdeponeringen har genomförts ska erfarenheterna utvärderas innan man beslutar om man ska bygga ut anläggningen till att rymma allt avfall. Vid denna utvärdering har man möjlighet att ta hänsyn till den utveckling som har skett i Sverige och utomlands. Man kan, om så befinner sig önskvärt, återta det redan deponerade bränslet för annan behandling. I detta fall krävs att nya anläggningar för mellanlagring av kapslar etc uppförs. Återtag av inkapslat bränsle förblir möjligt även under det fortsatta deponeringsarbetet, och även lång tid efter att djupförvaret förslutits. De nödvändiga insatserna för återtag ökar dock med tiden.

1.5 Syftet med systemanalysen

Det planerade systemet för djupförvaring rymmer möjligheter till tekniska förändringar under de kommande årens detaljeringsarbete. Det ger också stor handlingsfrihet beträffande tidsplaner och lokalisering av anläggningar. Ett av syftena med systemanalysen är att redovisa detta, samt att belysa hur olika variationer i systemutformning påverkar säkerheten på kort och lång sikt.

Ett annat syfte är att visa att säkerheten kan uppfyllas i alla steg i systemet, samt att det går att finna en rimlig balans mellan de åtgärder som vidtas i olika steg och uppnådd säkerhet. Detta gäller balans dels i säkerheten under drift i de olika stegen, dels mellan kortsiktiga och långsiktiga konsekvenser av olika åtgärder. Åtgärder för att förbättra den långsiktiga säkerheten som ger upphov till dos till driftpersonalen och allmänheten vid hantering ska balanseras mot de konsekvenser som uppnås långsiktigt.

Ett tredje syfte med systemanalysen är att visa på de kopplingar som finns mellan olika delar av systemet och led i genomförandet, samt hur dessa kopplingar påverkar

säkerheten. En uppenbar koppling föreligger t ex mellan kvalitetskontrollen vid tillverkning av tomma kapslar, tillförlitligheten vid förslutning av kapslarna, risken för skador i samband med hantering och transport av kapslarna och kapslarnas långsiktiga funktion i djupförvaret. En annan koppling kan finnas mellan kvaliteten vid driften av djupförvaret och den långsiktiga säkerheten. En tredje koppling kan gälla möjligheterna till safeguardskontroll i olika steg, d v s hur man förvissas sig om att inget bränsle avleds på vägen från CLAB till djupförvaret.

1.6 Redovisning av systemanalysen i olika skeden av djupförvarsarbetet

En samlad redovisning av systemet för djupförvaring krävs vid flera tillfällen i den beslutsprocess som ska leda fram till byggande och drift av anläggningarna i systemet. I samband härmed bör dels en systemanalys för det valda djupförvarssystemet presenteras, dels en redovisning ges av de alternativ som finns för att ta hand om det använda bränslet, samt motiven för att SKB valt ett specifikt system. Vidare bör en redovisning ges av grunderna för vald lokalisering av de aktuella anläggningarna. Syftet med en sådan redovisning är att visa för säkerhetsmyndigheter och berörd allmänhet hur SKB har kommit fram till den föreslagna metoden, lokaliseringen, och tekniska lösningen, samt visa att en rimlig balans har uppnåtts mellan olika faktorer av betydelse för valen.

Inriktningen och detaljeringsgraden av redovisningen kommer att bli olika beroende på dess syfte. I ett tidigt skede, t ex inför val av platser för geovetenskapliga platsundersökningar, kan tyngdpunkten komma att ligga dels på en redovisning av varför en speciell metod att ta hand om det använda bränslet valts som huvudalternativ (alternativredovisning), dels på en redovisning av grunderna för varför de utpekade platserna valts för fortsatta geologiska platsundersökningar. Senare, inför byggande och drift av djupförvaret, kan tyngdpunkten hamna på redovisning av säkerheten vid drift och på lång sikt för det valda slutförvarssystemet.

Regeringen har i sitt beslut över FUD-program 95 föreskrivit /1-6/:

”Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) ska i sitt fortsatta forsknings- och utredningsarbete genomföra en systemanalys av hela slutförvarssystemet (inkapslingsanläggning, transporter och slutförvar). Denna systemanalys ska medge en samlad säkerhetsbedömning av hela slutförvarssystemet inklusive hur principer för säkerhet och strålskydd praktiskt tillämpas i säkerhetsanalysarbetet. I systemanalysen ska vidare ingå en redovisning av de alternativa lösningar till KBS-3-metoden som SKB redovisat i tidigare forskningsprogram eller som aktualiserats i internationella studier. Även olika varianter av KBS-3-metoden bör redovisas. I redovisningen ska vidare ingå konsekvenserna för det fall det planerade slutförvaret inte alls kommer till stånd (nollalternativet) liksom det pågående internationella arbetet med transmutation.”

Enligt SKB:s planering ska denna redovisning föreligga senast i samband med att SKB lämnar förslag till platser för geovetenskapliga platsundersökningar. Föreliggande rapport, som redovisar en systemanalys för SKB:s huvudalternativ för direktdeponering, utgör en del i denna rapportering. Inför valet av platser för platsundersökning kommer rapporten att revideras med hänsyn till det beslutsunderlag som är under framtagning.

Andra delar kommer att utgöras av en redovisning av alternativa metoder för att ta hand om använt kärnbränsle /1-2/, samt en säkerhetsanalys för förvarets långsiktiga säkerhet, SR 97. Vid redovisningen inför platsundersökningskedet kommer även en samlad utvärdering av lokaliseringsstudierna att lämnas, med ett strukturerat och motiverat val av platser för platsundersökningar /1-7/.

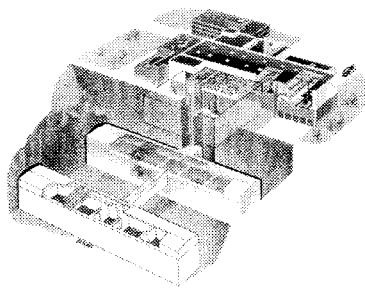
1.7 Djupförvaring av långlivat låg- och medelaktivt avfall

I anslutning till djupförvaret för använt kärnbränsle planeras även deponering av långlivat låg- och medelaktivt avfall i en särskild del av djupförvaret. Detta avfall liknar det som i dag deponeras i Slutförvaret för radioaktivt driftavfall, SFR-1, i Forsmark. En del av det innehåller dock mera långlivade radioaktiva ämnen än SFR-avfallet.

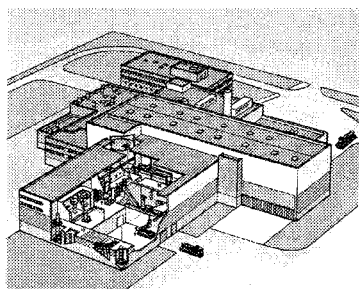
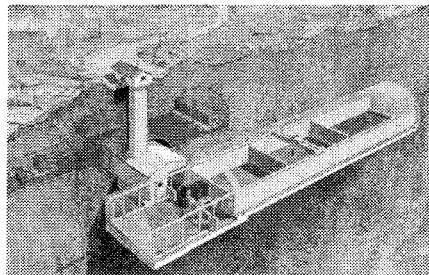
Avfallet utgörs dels av bestrålade komponenter från reaktorhärden och dess omgivning (t ex styrtavar), dels av långlivat avfall från forskningsverksamheten i Studsvik. Vidare ingår en del avfall från den sena driften av CLAB och inkapslingsanläggningen, samt från rivningen av dessa anläggningar. Detta avfall är kortlivat och skulle således kunna deponeras i SFR eller i anslutning till den utvidgning av SFR som krävs för att ta hand om rivningsavfallet. Att deponeringen sker i djupförvaret beror på att SFR enligt nuvarande planer försluts sedan de sista reaktorerna tagits ur drift, medan CLAB och inkapslingsanläggningen drivs vidare i ca 30 år ytterligare.

Härdkomponenter mellanlagras i CLAB och överförs därefter till inkapslingsanläggningen för placering i kokiller (figur 1-2). Alternativt kan härdkomponenter mellanlagras i separata avfallsbehållare i bergum i avvaktan på deponering i djupförvaret. Transporter av långlivat låg- och medelaktivt avfall till djupförvaret kommer att ske i transportbehållare som anpassas till de olika avfallsbehållarnas utförande och efter den utrustning som används för hantering och transport av transportbehållare för inkapslat bränsle. Deponeringen av långlivat låg- och medelaktivt avfall planeras inte ske förrän i samband med att andra steget för djupförvaret genomförs. Hantering och deponering berörs endast kortfattat i denna rapport.

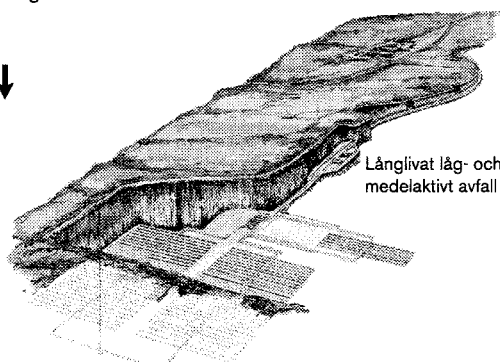
CLAB, Centralt mellanlager
för använt kärnbränsle och
härskomponenter



Långlivat låg- och medelaktivt avfall
Forskningsavfall från Studsvik,
drift- och rivningsavfall från CLAB
och inkapslingsanläggningen



Inkapslingsanläggning
förlagd vid CLAB



Långlivat låg- och
medelaktivt avfall

Djupförvar för använt kärnbränsle
och långlivat låg- och medelaktivt avfall

Figur 1-2 System för omhändertagande av långlivat låg- och medelaktivt avfall.

1.8 Referenser

- 1-1 Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle – KBS-3. Del I – IV. SKBF/KBS, Stockholm, maj 1983.
- 1-2 Ekendahl A-M, Papp T
Alternativa metoder. Långsiktigt omhändertagande av kärnbränsleavfall. SKB rapport R-98-11, Stockholm, september 1998.

- 1-3 Enarsson Å, Landgren A, Liljenzin J-O, Skålberg M, Spjuth L, Gudowski W, Wallenius J
Separation och transmutation (S & T) 1997. En genomgång av nuläget.
SKB rapport R-98-06, Stockholm, maj 1998.
- 1-4 Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall. Betänkande av AKA-utredningen.
SOU 1976:30 Del I, SOU 1976:31 Del II, SOU 1976:41 Bilaga.
- 1-5 Långsiktig förvaring av Sveriges använda kärnbränsle — SKB:s perspektiv på beslutsprocessen.
SKB rapport R-97-06, Stockholm, april 1997.
- 1-6 Program för forskning m m angående kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring.
Miljödepartementet - Regeringsbeslut 25. Stockholm, 1996-12-19.
- 1-7 FUD- program 98. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning samt utveckling och demonstration av inkapsling och geologisk slutförvaring. Kapitel 6.
SKB, Stockholm, september 1998.

2 Använt kärnbränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall

2.1 Använt kärnbränsle

Huvuddelen av de radioaktiva ämnen (ca 99 %), som bildas i ett kärnkraftverk finns i det använda bränslet. När dessa sönderfaller utsänds joniserande strålning. Denna kan vara av olika typ; alfa-, beta, eller gammastrålning. De olika typerna av strålning skiljer sig åt bl a genom sin genomtränglighet och skadeverkan:

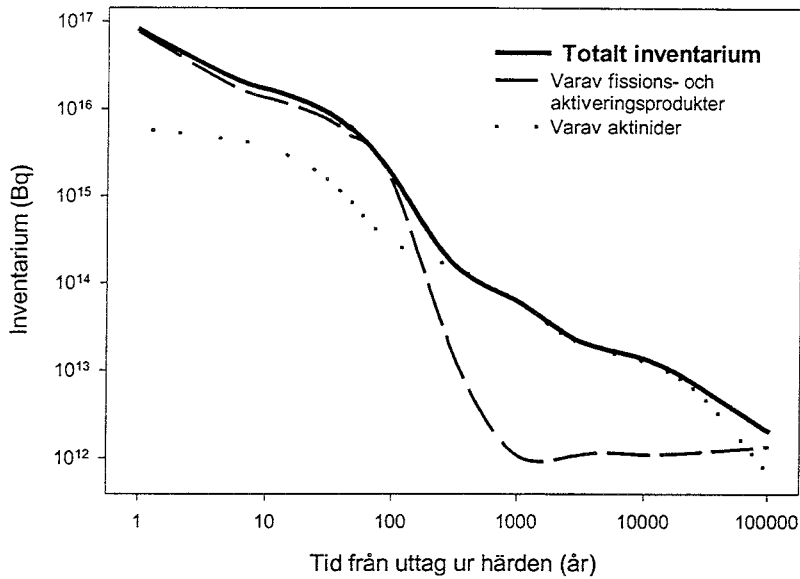
- Alfastrålning har kort räckvidd och bromsas lätt av t ex ett papper. För att alfastrålningen ska kunna orsaka skada hos en människa måste den komma in i kroppen t ex via föda eller inandning.
- Betastrålning har längre räckvidd än alfastrålning, men kan bromsas av t ex grova kläder. Betastrålning kan skada ytliga organ som ögon och hud, samt förorsaka skador om den kommer in i kroppen.
- Gammastrålning har lång räckvidd i luft, men stoppas av bly eller betong. Gammastrålning kan tränga långt in i biologisk vävnad och därför ge upphov till skador vid såväl yttre bestrålning som när den kommer in i kroppen.

Kärnbränsle används under tre till sju år i ett kärnkraftverk. Energi har därvid frigjorts genom kärnklyvningar av i bränslet ingående uranatomer och bildade plutoniumatomer. När kärnbränslet tas ut är det starkt radioaktivt och avger värme. Största andelen radioaktivitet finns i klyvningsprodukterna, men även i de så kallade transuranerna, som bildats genom absorption av neutroner i uran (figur 2-1). Till transuranerna hör t ex plutonium, americium och curium. Klyvningsprodukterna utgör 3 – 4 % av det använda kärnbränslet och transuranerna ca 1 %. Kärnbränslet utgörs dock huvudsakligen av uran (mest den svårklyvbara isotopen U-238) som inte förbrukats. Om kärnbränslet upparbetas kan klyvbart uran och plutonium återanvändas i nytt kärnbränsle.

Använt kärnbränsle innehåller således ämnen som avger stark strålning. Strålningen bildas vid ämnens radioaktiva sönderfall, som leder till att mängden kvarvarande radioaktiva ämnen minskar hela tiden. Även på mycket lång sikt (mer än tusen år) innehåller kärnbränslet emellertid alltjämt stora mängder radioaktiva ämnen, huvudsakligen sådana som är alfastrålande.

Strålningen innebär att det använda bränslet hanteras med strålskärmning. Detta sker antingen i bassänger, där vatten ger erforderlig strålskärmning och kylning, i kraftiga behållare vid transport eller i slutna celler med tjocka betongväggar.

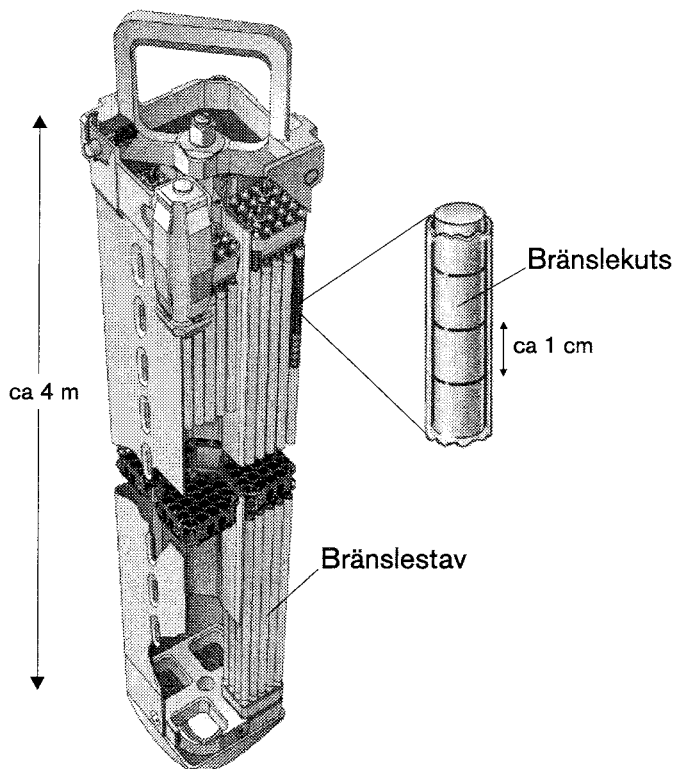
På lång sikt i djupförvaret är det främst kärnbränslets innehåll av alfastrålande ämnen, d v s dess "radiologiska giftighet" som har betydelse. Kärnbränslet omges därför med barriärer som ska förhindra att dessa ämnen kommer ut och i kontakt med människan och naturen.



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

Kärnbränslet är kemiskt sett sammansatt av ett stort antal grundämnen, av vilka några är tungmetaller. Olika studier har visat att bränslets radiologiska farlighet dock dominerar över den kemiska under mycket lång tid.

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



Figur 2-2 Bränsleelement för kokvattenreaktor (BWR).

Ur hanterings- och djupförvaringssynpunkt är skillnaderna mellan olika bränsletyper för BWR resp PWR allmänt sett av relativt liten betydelse. Den främsta skillnaden är att bränslet har olika initial anrikning, d v s halt uran-235, vilket har betydelse när man beräknar säkerhet mot kriticitet och utformar hanteringen av bränslet så att denna säkerhet garanteras.

Mängden bränsle som årligen förbrukas i en reaktor är mellan 15 och 25 ton beroende på reaktorns storlek. Totalt beräknas det svenska kärnkraftprogrammet ge upphov till ca 8 000 ton använt bränsle. Den exakta mängden blir beroende på hur länge reaktorerna drivs. Vid en drifttid för samtliga reaktorer på 25 år blir den totala mängden använt bränsle ca 6 500 ton medan mängden uppgår till ca 9 300 ton vid 40 års reaktor-drift /2-2/. 8 000 ton bränsle motsvarar ca 35 000 bränsleelement från BWR och 4 000 bränsleelement från PWR. Härtill ingår i mängden annat bränsle som ska tas om hand i Sverige ca 20 ton bränsle från Ågestareaktorn, ca 23 ton MOX-bränsle med tyskt ursprung och ca 3 ton inkapslade bränslerester från experimentverksamhet i Studsvik. Dessa bränslen kan hanteras på liknande sätt som övrigt bränsle, men kommer att kräva speciell hanteringsutrustning.

2.2 Långlivat låg- och medelaktivt avfall

Annat avfall än använt kärnbränsle kan innehålla radioaktivitet beroende på kontamination, d v s att radionuklider förflyttas och avsätts som beläggning på olika ytor. Material kan också bli radioaktiva till följd av att de placeras i anslutning till en reaktorhård eller använt kärnbränsle och därmed utsätts för neutronbestrålning. Sådan inducerad radioaktivitet finns i hårdkomponenter och reaktorernas interna delar och kan även förekomma i de kassetter som används för lagring av använt bränsle i CLAB /2-3/.

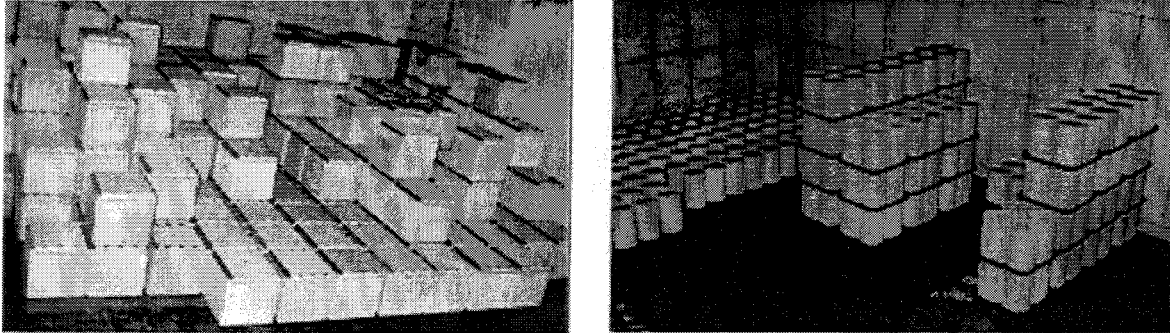
Stål med inducerad aktivitet innehåller inledningsvis ämnen som avger stark gammastrålning t ex Co-60 vilket gör att det krävs strålskärning för hantering. Dessa ämnen avklingar dock relativt snabbt. På lång sikt i ett djupförvar blir det nuklider med alfa- och betastrålning som dominerar. Kontamination utgörs både av radioaktivitet från bränslet och av inducerad aktivitet som frigjorts och avsatts på annat håll i ett system. Det totala inventariet av radioaktivitet i långlivat låg- och medelaktivt avfall har beräknats till ca 10^{17} Bq år 2040 /2-3/.

Hårdkomponenter och interna delar från drift och rivning av kärnkraftverken utgörs främst av stål med inducerad aktivitet. Detta avfall beräknas uppta en volym på ca 10 000 m³ i förvaret och svara för mer än 90 % av aktivitetens innehåll i långlivat låg- och medelaktivt avfall.

Avfall från drift och rivning av CLAB och inkapslingsanläggningen består huvudsakligen av stål och betong, men även av jonbytarmassor och filterhjälpmedel från vattenrening. Detta avfall beräknas totalt uppta en volym på ca 14 000 m³ i förvaret. Avfallet är, som tidigare nämnts, kortlivat och skulle därför i princip kunna deponeras i SFR, men uppkommer efter förslutning av det förvaret.

Vid Studsvik hanteras avfall från forskning och annan verksamhet utanför kärnkraftindustrin, t ex från sjukhus, försvaret, industrier, institutioner och från den egna verk-

samheten (figur 2-3). Innehållet i avfallet är mycket varierat, både vad gäller typer av material och radioaktivitet. Totalt beräknas detta avfall uppta en volym på ca 1 500 m³ i förvaret. En del av det innehåller förutom radioaktivitet även toxiska material som bly, kadmium och beryllium.



Figur 2-3 Avfall från forskningsverksamheten vid Studsvik.

2.3 Referenser

- 2-1 Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle – KBS-3. Del I – IV. SKBF/KBS, Stockholm, maj 1983.
- 2-2 Kärnkraftens slutsteg. Plan 98. Kostnader för kärnkraftens radioaktiva restprodukter. SKB, Stockholm, juni 1998.
- 2-3 Wiborgh M (ed)
Prestudy of Final Disposal of Long-lived Low and Intermediate Level Waste. SKB Technical Report TR 95-03, Stockholm, January 1995.

3 Krav på säkerhet och strålskydd

3.1 Allmänt

Hantering av radioaktivt avfall måste genomföras med hänsyn till etablerade principer för skydd mot joniserande strålning, /3-1, 3-2/. Kraven på säkerhet och strålskydd för både kärnreaktorer och avfallsanläggningar regleras av föreskrifter från SSI och SKI. Grunderna för föreskrifterna kommer delvis från internationellt etablerade principer för hur strålskydd ska utformas.

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

För driften av avfallsanläggningar kan samma regelsystem tillämpas som för kärnkraftverken. Många av de föreskrifter som gäller för kärnkraftverken är tillämpbara även för avfallshanteringssystemet. Eftersom det sällan finns några drivande krafter för snabba förlopp i avfallsanläggningarna kan dock kraven för dessa förenklas i förhållande till kraven för kärnkraftverken. Säkerhetsmyndigheterna arbetar med att ta fram specifika föreskrifter för anläggningarna som ingår i avfallshanteringssystemet.

Den långsiktiga säkerheten efter förslutning av djupförvaret aktualiserar nya frågeställningar. Bland annat medför de långa tidsperspektiven nya överväganden. Detsamma gäller med hänsyn till att möjligheten till att vidta korrigerande åtgärder eller att stänga av verksamheten försvåras med tiden. Statens strålskyddsinstitut, SSI, har gett ut ett utkast till föreskrifter för slutförvaring av radioaktivt avfall. Dessa remissbehandlas för närvarande /3-3/. Statens kärnkraftinspektion, SKI, har på samma sätt distribuerat ett diskussionsunderlag om utgångspunkter för föreskrifter och allmänna råd om slutförvaring av använt kärnbränsle m m, som i första hand tar upp hur redovisningen av den långsiktiga säkerheten bör struktureras /3-4/.

3.2 Säkerhet och strålskydd vid drift

SSI har utfärdat strålskyddsföreskrifter för personal som arbetar vid kärntekniska anläggningar. Föreskrifterna baseras på rekommendationer från den internationella strålskyddskommissionen, ICRP, om högsta tillåtna stråldoser till olika personkategorier. Enligt dessa rekommendationer ska helkroppsdosen för personal inte överskrida 50 mSv under ett enstaka år eller 100 mSv under en femårsperiod. Man förutsätter dock att ambitionen ska vara att den årliga helkroppsdosen inte överstiger 5 mSv/år. Dessutom anger SSI ett maximum för livstidsdosen. I SSI:s föreskrifter betonas vikten av att

tillämpa den s k ALARA-principen (As Low As Reasonably Achievable) som innebär att stråldoserna ska vara så låga som rimligtvis kan uppnås med hänsyn till ekonomiska och sociala faktorer vid planering av strålskyddsarbetet. Dessutom krävs strålskyddsutbildning av personal och ett dokumenterat strålskyddsprogram. Kärntekniska anläggningar ska ha en radiologisk föreståndare för strålskyddsverksamheten med uppgifter och befogenheter som regleras av SSI:s föreskrifter.

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

3.3 Säkerhet och strålskydd efter förslutning av djupförvaret

Med hänsyn till den långa tidsperiod som måste beaktas vid planeringen av ett djupförvar, har specifika förslag till riktlinjer för ett slutförvar föreslagits /3-3, 3-4/. När detta skrivs, augusti 1998, är dock dessa förslag fortfarande under bearbetning.

- Förvarets långsiktiga säkerhet ska inte kräva framtida generationers övervakning och underhåll. Detta utesluter dock inte att förvaret kan övervakas under en period efter att avfallet deponerats eller att förvaret förseglats.
- Förvaret ska utformas så att det inte onödigtvis försvårar eventuella framtida åtgärder att förändra förvaret eller att återta avfallet.
- Förvarets långsiktiga säkerhet ska bygga på flera passiva barriärer arrangerade så att degraderingen av en barriär inte avsevärt försämrar förvarets helhetsfunktion.
- Hälsa och miljö ska skyddas, påverkan från framtida generationer ska inte överstiga de nivåer som idag accepteras, oavsett nationsgränser.
- Ett slutförvar ska planeras så att den årliga risken för skadeverkningar av joniserande strålning blir högst 10^{-6} för en representativ individ.

SSI framhåller vikten av att, där så är möjligt, bedömningarna kvantifieras även i ett längre tidsperspektiv. Förvarets säkerhet beror på avfallets farlighet och dess tillgänglighet. Bedömningen av förvarets säkerhet påverkas av tiden dels genom att mängden farliga radionuklider minskar, dels genom att osäkerheten vad gäller kvantifieringen av förvarets säkerhetsfunktioner ökar med tiden. Begreppet rimligt förutsägbar tidsperiod anknyter främst till den tidsberoende osäkerheten i förvarssystemets funktion. Potentiella spridningsvägar för radionuklider till människan kan förändras med tiden men sådana förändringar kommer att ske i olika takt för de olika delarna i barriärsystemet. Erfarenheten visar att väsentliga förändringar i biosfären inträffar i tidskalan

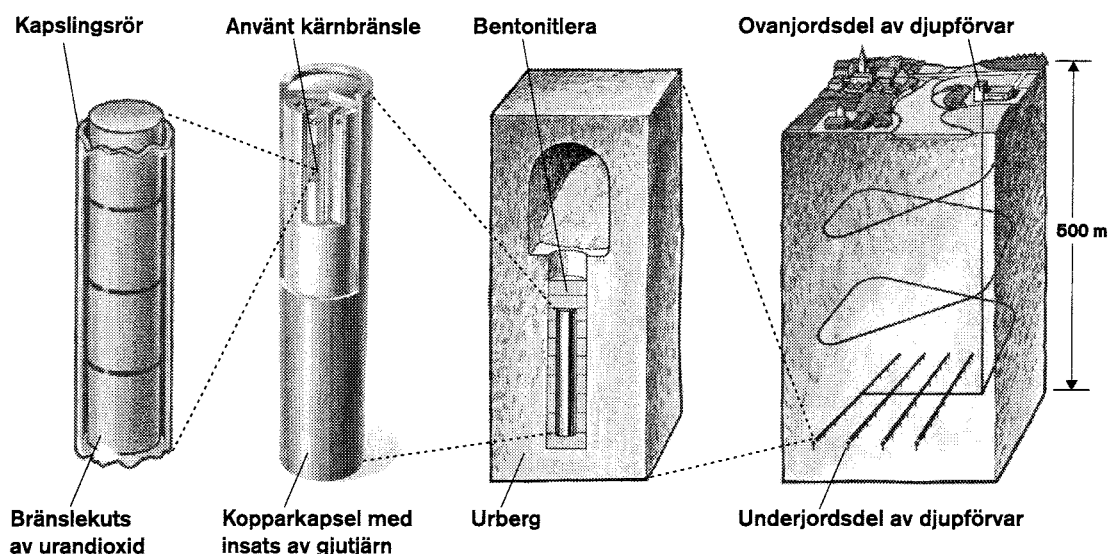
100 - 1 000 år. Den geologiska miljön djupt ner i den fennoskandiska urbergsskölden uppvisar däremot i många avseenden stabila förhållanden i perspektivet miljoner år.

Möjligheterna att kvantifiera förvarets säkerhet är följaktligen beroende av den tidsperiod man är intresserad av. SSI har diskuterat tidsperspektivens inverkan på strålskyddsredovisningen /3-3/ och framhåller:

- Särskilt stor vikt ska ges åt att redovisa skyddet för perioden fram till förvarets förslutning och under de första tusen åren därefter, med särskild fokus på närboende människor.
- Individdos fram till nästa istid, d v s fram till ca 10 000 år, ska redovisas som bästa uppskattning med angivande av bedömda felgränser. Skyddet av naturen ska bedömas över samma tidsperiod.
- För perioden från nästa istid och framåt ska kvalitativa bedömningar göras av vad som kan hända med förvaret, inklusive överväganden som beaktar risken för förhöjda utsläpp.

För att uppnå önskad säkerhet på lång sikt ställs krav på hur förvaret och där ingående komponenter ska fungera. Den sammantagna funktionen av förvarets alla komponenter ska tillsammans ge en betryggande säkerhet i verksamheten.

För att åstadkomma en långsiktig säkerhet utformas förvaret för att **isolera** det använda kärnbränslet från biosfären. Isoleringen åstadkoms genom att det använda kärnbränslet innesluts i täta kapslar som deponeras djupt i kristallin berggrund på en utvald förvarsplats. Förvaret har därutöver funktionen att **fördröja** transporten av radionuklider från bränslet om isoleringen trots allt skulle brytas. Via platsval och lämplig anpassning av förvaret till förlägningsplatsen kan dessutom spridningsvägar och utspädningsförhållanden i biosfären påverkas så att eventuellt frigjorda radionuklider endast i mycket små mängder kan nå människan. Figur 3-1 visar förvarets olika delar och deras huvudsakliga säkerhetsfunktioner.



Figur 3-1 Djupförvarets säkerhetsfunktioner.

Materialen i förvaret väljs så att deras långsiktiga stabilitet och säkerhetsfunktion i förvaret ska kunna underbyggas med erfarenheter från naturen. Av samma skäl begränsas den termiska och den kemiska störning som förvaret tillåts ge i sin omgivning.

Säkerhetstänkandet för djupförvaret bygger på flerbarriärprincipen, d v s att säkerheten inte enbart får vara avhängig av att en ensam barriär ska fungera som planerat. Säkerhetsfunktionerna påverkas av platsval, layout, samt av utformning och dimensionering av de tekniska barriärerna. Funktionerna kan delas upp på tre nivåer:

Nivå 1 – Isolering

Så länge avfallet är isolerat kan radionukliderna avklinga utan att komma i kontakt med människan och hennes omgivning.

Nivå 2 – Fördröjning

Om isoleringen bryts begränsas mängden radionuklider som kan nå biosfären genom:

- Mycket långsam upplösning av det använda bränslet.
- Sorption och långsam transport av radionuklider i bufferten.
- Sorption och långsam transport av radionuklider i berggrunden.

Nivå 3 – Recipientförhållanden

De spridningsvägar längs vilka eventuellt frigjorda radionuklider kan nå människan styrs i stor utsträckning av förhållandena där det djupa grundvattnet först når biosfären (utspädning, vattenanvändning, markanvändning och övrigt utnyttjande av naturresurser). En gynnsam recipient innebär att stråldosen till människa och miljö hålls låga. Recipienten och spridningsvägarna påverkas dock av biosfärens naturliga förändringar.

Säkerhetsfunktion enligt nivå 1 och 2 är den viktigaste respektive näst viktigaste. De uppnås genom krav på egenskaper och funktion hos både tekniska och naturliga barriärer samt på djupförvarets utformning. Inom de ramar som ges i övrigt eftersträvas även en god säkerhetsfunktion enligt nivå 3 genom lämplig förläggning och utformning av djupförvaret.

3.4 Avvägning mellan säkerhet på kort och lång sikt

Ett djupförvarssystem består av såväl en aktiv fas med mellanlagring och hantering av använt bränsle som en passiv fas efter förslutning av ett djupförvar /3-5/. Under hantering och mellanlagring måste krav på säkerhet och dosbegränsning vara uppfyllda för berörd personal och för allmänheten, och mer generella målsättningar om att begränsa dosen till människa så långt det är möjligt måste beaktas. Samtidigt måste den långsiktiga säkerheten efter förslutning av djupförvaret säkerställas. För att båda dessa krav ska uppfyllas måste vissa avvägningar göras mellan den långsiktiga och kortsiktiga säkerheten. Exempel på sådana avvägningar är:

- Omfattande hantering av avfall ger upphov till fler risker under drift av anläggningarna, men ger i allmänhet en högre kvalitet hos det konditionerade avfallet och minskade långsiktiga risker för det deponerade avfallet. En rimlig balans måste därför uppnås.
- Lagring i ett övervakat förvar ger god kontroll och säkerhet. Om kontrollen och övervakningen av någon anledning måste upphöra blir emellertid riskerna högre än om avfallet hade placerats i ett slutet förvar. En lämplig tidpunkt för en överföring från ett övervakat mellanlager till ett slutet djupförvar måste därför bestämmas.
- Bedömningarna av riskerna i de olika stegen av djupförvarssystemet, definierade som sannolikhet för en viss händelse multiplicerat med dess konsekvens, innehåller alltid en osäkerhet som kan vara olika stor för de olika stegen. Generellt sett är dock osäkerheten större när det gäller att bedöma händelser långt in i framtiden. Hänsyn måste tas till dessa aspekter när en avvägning görs mellan långsiktig och kortsiktig säkerhet.

Frågor som dessa måste ingå som ett underlag vid beslut om system för omhändertagande av använt kärnbränsle, t ex direkt slutförvaring, upparbetning, transmutation. Men även inom ett valt system måste en avvägning göras mellan säkerhet på lång och kort sikt när det gäller olika tekniska lösningar. Ett exempel på detta är kopparkapseln för inkapsling av det använda kärnbränslet där en yttre kopparbehållare med en insats av järn ger en enklare och säkrare hanteringsprocess jämfört med alternativen som t ex innebär inkapsling under hög temperatur och högt tryck. Samtidigt kan den valda tekniken på mycket lång sikt leda till att det sker en gasutveckling i förvaret. Den långsiktiga säkerheten bedöms emellertid inte försämrats påtagligt medan säkerheten vid hantering klart förbättras jämfört med hantering av alternativa kapselutformningar.

3.5 Safeguards och fysiskt skydd

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

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

För hantering av använt bränsle vid kärnkraftverken och CLAB finns en väl etablerad safeguardspolicy. Den innefattar dokumentation av alla åtgärder som genomförs samt frekventa och ibland oanmälda kontroller från IAEA. Kontrollen underlättas av att bränslet vid varje tidpunkt är åtkomligt för verifiering och mätning. Efter inkapsling försämrats dessa möjligheter, vilket ställer nya krav på safeguardskontrollen. För

inkapslingsanläggningen bedöms huvudsakligen befintlig safeguardsteknik kunna användas.

Vad gäller djupförvaring uppstår en del nya frågeställningar. IAEA har givit ut ett utkast till policy för safeguards för djupförvar. Där slås bland annat fast att safeguardskontroll ska upprätthållas även efter att förvaret har återfyllts och förslutits. Kontrollen ska vidmakthållas så länge safeguardskontroll sker på andra områden. Kontrollen under drift ska baseras på att man kan verifiera förvarets utformning, samt flödet av material till och från förvaret. Efter förslutning av förvaret ska kontroll kunna ske genom övervakning från ytan eller luften med fotografering, samt genom besök på platsen.

I kapitel 7 ges en mera detaljerad beskrivning av bakgrunden till safeguardsarbetet och de metoder som tillämpas. Vidare presenteras ett principiellt förslag till hur safeguardssystemet för inkapsling, transport och djupförvaring kan utformas.

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

3.6 Referenser

- 3-1 Strålskyddslagen.
SFS 1988:220
- 3-2 ICRP, Recommendations of the ICRP.
ICRP Publ 60, Annals of the ICRP 21, 1991.
- 3-3 Remiss av föreskrifter om slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle eller kärnavfall.
SSI Dnr 042/942/97, 1997-04-01.
- 3-4 Utgångspunkter för föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring av använt kärnbränsle m m.
SKI Promemoria 97017, 1997-03-26.
- 3-5 Thegerström C
Applicability of the Optimisation Principle in the Area of Nuclear Waste Disposal.
Proceedings from the Fourth European Scientific Seminar on Radiation Protection Optimisation "Achievements and Opportunities". Luxembourg, 20-22 April 1993.

4 Systemet för att ta hand om använt bränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall

4.1 Översiktlig beskrivning av SKB:s huvudmetod

4.1.1 Inledning

Systemet för att ta hand om använt kärnbränsle för djupförvaring har utvecklats successivt under en 20-årsperiod. Därvid har även olika varianter studerats och utvärderats. Några av varianterna har tills vidare lagts åt sidan medan studier av andra kommer att ingå i det fortsatta utvecklings- och konstruktionsarbetet. I detta kapitel beskrivs den utformning av hanteringssystemet och djupförvaret som används som referens i SKB:s fortsatta studier. Detta benämns SKB:s huvudalternativ. I det fortsatta arbetet kommer inverkan av olika variationer kring huvudalternativet att studeras. I kapitel 10 ges exempel på några av dessa variationer och deras konsekvenser.

I huvudalternativet antas att inkapslingsanläggningen byggs i anslutning till CLAB, medan lokaliseringen av djupförvaret ännu är en öppen fråga. I kapitel 9 diskuteras vilken handlingsfrihet som finns beträffande lokaliseringen av inkapslingsanläggning och djupförvar. Tidsplanen för huvudalternativet är att det första steget för djupförvaret (demonstrationsdeponering) ska tas i drift så snart det är tekniskt och opinionsmässigt möjligt. Tillräckligt med tid ska ges för den demokratiska processen i de regioner och kommuner som blir berörda och för ett grundligt MKB-arbete. I kapitel 9 diskuteras konsekvenserna av senarelagda tidsplaner.

4.1.2 Anläggningar m m i systemet

Det använda kärnbränslet kapslas in i en tät kopparkapsel som deponeras i ett djupförvar på ca 500 meters djup i berggrunden omgivet av en buffert av bentonitlera.

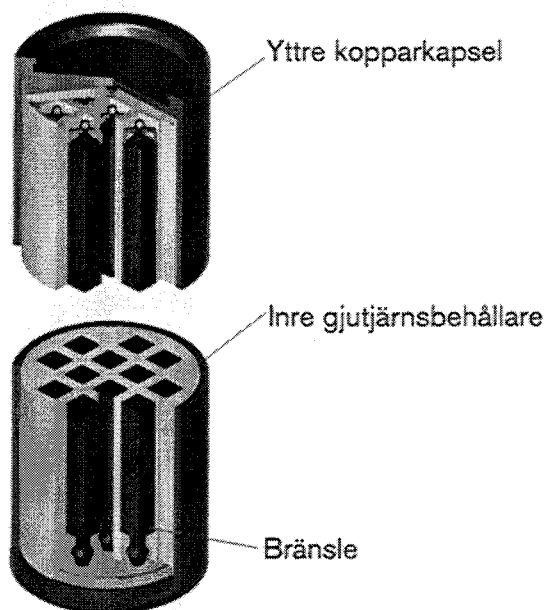
Systemet för att ta hand om och djupförvara använt kärnbränsle består av:

- Centrala mellanlagret för använt bränsle, CLAB.
- Inkapslingsanläggning.
- Djupförvar.
- Transportsystem (transportbehållare, terminaler, fordon).

Djupförvaret byggs ut i två etapper. I den första etappen demonstreras djupförvaring av ca 10 % av kapslarna. Innan beslut fattas om att genomföra även nästa steg, reguljär drift, görs en omfattande utvärdering av erfarenheter m m från demonstrationsdeponeringen. Om man därefter väljer att avbryta arbetet med deponeringen och återta bränslet kan det bli aktuellt att även bygga:

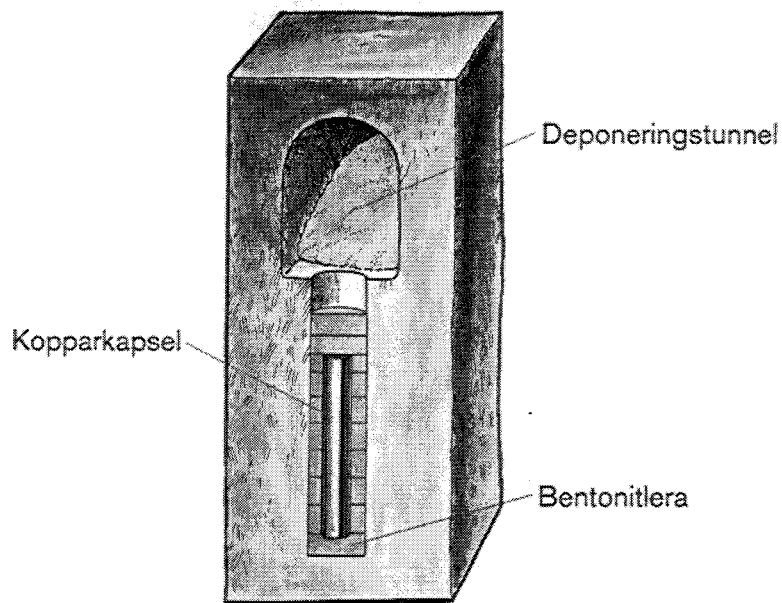
- Mellanlager för inkapslat bränsle.

Kopparkapselns funktion är att isolera bränslet så att de radioaktiva ämnena under lång tid stannar kvar i kapseln och inte kan komma ut till omgivningen. Den cylindriska kopparkapseln (se figur 4-1) består av ett yttre hölje av koppar som ger korrosionsskydd och en inre behållare i gjutjärn, som ger mekanisk hållfasthet. En kopparkapsel rymmer 12 BWR-element eller 4 PWR-element. Mängden bränsle som placeras i en kapsel bestäms av bränslets resteffekt och utformningen av djupförvaret. En anpassning görs så att temperaturen på kapselns yta inte överstiger 100 °C. Några kapslar kan därigenom innehålla färre bränsleelement än vad som maximalt ryms i kapseln.



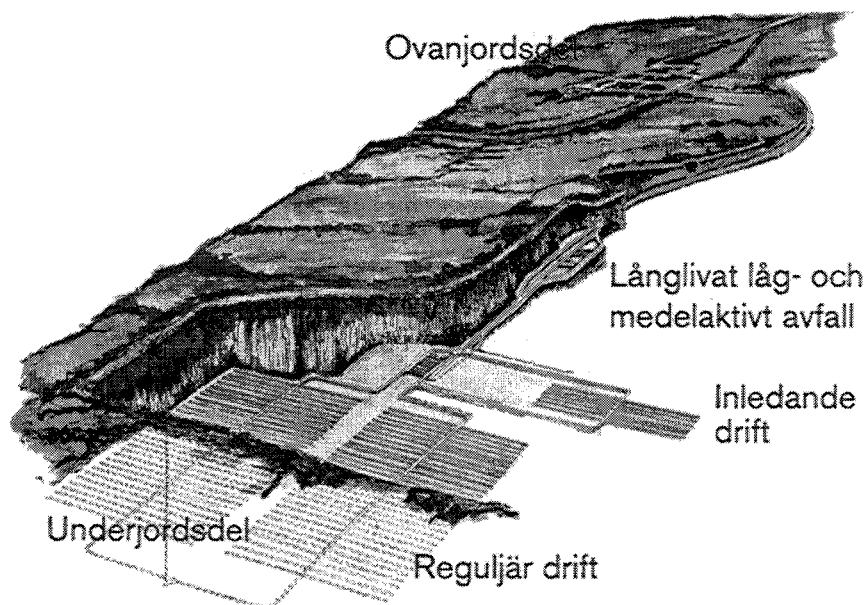
Figur 4-1 Kapsel med kopparhölje och gjutjärnsinsats.

Djupförvaret utformas som ett horisontellt tunnelsystem i berggrunden. I botten på tunnlarna borrar ca 8 m djupa vertikala deponeringshål i vilka kopparkapslarna placeras omgivna av block med högkompakterad bentonitlera (se figur 4-2). Bentonittjockleken är ca 35 cm. Avståndet mellan deponeringshålen bestäms av temperaturutvecklingen kring kapseln och då främst temperaturen i den omgivande bentoniten. I referensutformningen är centrumavståndet mellan deponeringshålen ca 6 m och avståndet mellan deponeringstunnlarna ca 40 m. Efter avslutad deponering i en tunnel återfylls denna med en blandning av bentonit och bergkross. Återfyllda deponeringstunnlar försluts med en betongkonstruktion ut mot anslutande transporttunnel.



Figur 4-2 Deponeringshål med kapsel omgiven av bentonitlera.

Utformningen av deponeringsområdet är anpassad till att deponeringen av bränslet sker stegvis, varvid det första steget omfattar en demonstrationsdeponering av ca 400 kapslar (se figur 4-3).



Figur 4-3 Djupförvarets deponeringsområden för inledande och reguljär drift.

Nerfarten till deponeringsområdet sker via en tunnel eller schakt från markytan. Urlastning av transportbehållare med kapslar sker i ett centralområde i anslutning till deponeringsområdet. Här finns även en del serviceutrymmen. När anläggningen försluts efter avslutad deponering återfylls även dessa delar med bentonit och bergkross.

Långlivat låg- och medelaktivt avfall kommer att deponeras i en separat del av djupförvaret som ligger avskild från deponeringsområdena för använt bränsle. Detta utformas som bergsalar liknande dem som finns i SFR.

I de följande avsnitten 4.2 - 4.7 beskrivs de aktuella anläggningarna och hanteringen av bränsle och kapslar i dem enligt huvudalternativet. Säkerhets- och strålskyddsfrågorna i samband med driften av anläggningarna behandlas sedan i kapitel 5.

4.1.3 Tidsplan

Det använda kärnbränslet planeras att mellanlagras i CLAB i ca 30 år. Härigenom sjunker resteffekten i bränslet så att slutförvarssystemet kan göras mera kompakt och effektivare. Det äldsta bränslet som nu lagras i CLAB togs ur reaktorerna i senare delen av 1970-talet. Tidsplanen för det fortsatta arbetet med inkapsling och djupförvaring styrs därför av den tid som behövs för att lokalisera, utforma och uppföra de behövliga anläggningarna. Det innebär att dessa anläggningar ska lokaliseras, byggas och tas i drift så snart det är tekniskt och opinionsmässigt möjligt. Detta arbete bedöms ta ca 15 år.

4.1.4 Handlingsfrihet i systemet

Huvudalternativet som presenteras i detta kapitel utgör ett sätt att genomföra mellanlagring och djupförvaring av det använda kärnbränslet. Även om detta kommer att ligga till grund för det fortsatta arbetet finns det fortfarande stor handlingsfrihet i hur systemet slutligt kommer att utformas. Det gäller såväl den tekniska utformningen av kapsel och anläggningar som lokaliseringen av anläggningarna och tidsplanen för att genomföra arbetet.

För kapseln kan t ex koppertjockleken förändras eller en annan utformning av insatsen bli aktuell. Djupförvaret kan utformas på olika sätt, och olika metoder kan användas för att bygga tunnarna. Även för själva deponeringen finns olika alternativ, t ex i horisontella hål eller två kapslar per deponeringshål. Den slutliga utformningen bestäms inte förrän i ett sent skede av konstruktionsarbetet.

Lokaliseringen av inkapslingsanläggningen och djupförvaret bestäms först efter att pågående förstudier och planerade geovetenskapliga platsundersökningar genomförts. Inkapslingsanläggningen kan alternativt byggas vid djupförvaret eller på annan tredje plats.

Genom att bränslet mellanlagras säkert i CLAB föreligger stor frihet vad gäller tidsplanen för att påbörja deponeringen av det inkapslade bränslet. Mellanlagringen kan utsträckas till 100 år eller mer om detta befinns önskvärt.

4.2 Mellanlagring i CLAB

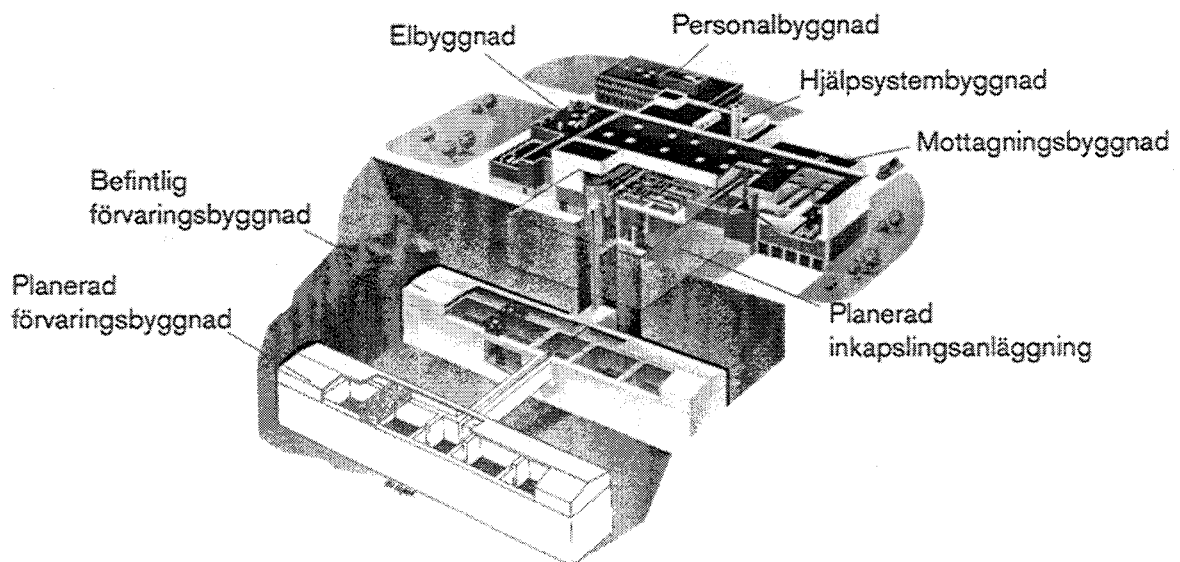
4.2.1 Inledning

CLAB ligger intill Oskarshamns kärnkraftverk. Lagret togs i drift 1985. I CLAB mellanlagras allt använt kärnbränsle från de svenska kärnkraftverken. I CLAB lagras även sådana komponenter som suttit i eller i närheten av reaktorhärden och därigenom blivit kraftigt radioaktiva, såsom kärnkraftkomponenter och interna delar. Lagringen i CLAB

sker i vattenfyllda bassänger. All hantering av bränslet sker också under vatten. Vattnet ger strålskärning och kylning /4-1/.

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

CLAB dimensionerades ursprungligen för att lagra ca 3 000 ton bränsle. Samtidigt förbereddes anläggningen för att senare kunna byggas ut så att hela bränslemängden från det svenska kärnkraftprogrammet, ca 8 000 ton, skulle kunna lagras i CLAB. Genom tätare packning av bränslet i CLAB kan nu ca 5 000 ton bränsle lagras i den ursprungliga anläggningen. En utbyggnad till 8 000 ton, CLAB etapp 2, planeras stå färdig till år 2004. Byggnadsarbetena kommer enligt dessa planer att påbörjas under 1998. I figur 4-4 visas anläggningen i genomskärning efter den planerade utbyggnaden.



Figur 4-4 CLAB med den planerade utbyggnaden.

4.2.2 Beskrivning av CLAB

CLAB består av en ovanjordsdel (mottagningsbyggnad) där bränsletransportbehållarna tas emot och bränslet lastas ut. Själva lagringen sker i förvaringsbassänger i bergrum under jord (förvaringsbyggnad). I ovanjordsdelen inryms även utrustning för ventilation, vattenrening och kylning, avfallshantering (hjälpssystembyggnad), elsystem m m (elbyggnad) jämte utrymmen för administration och driftpersonal (personalbyggnad). Mottagningsbyggnaden ovan jord och förvaringsbyggnaden under jord är förbundna med ett schakt med en bränslehiss.

Mottagningsbyggnad

I mottagningsbyggnaden finns en del för mottagning, kylning och invändig rening och utvändig dekontaminering av transportbehållare. Dessutom finns uppställningsplatser för transportbehållare och nedkylningsceller, samt ett system av bassänger för urlastning av transportbehållare, hantering av bränsleelement, av hårdkomponenter och av bränslekassetter. I anslutning till mottagningsbyggnaden finns även utrymmen för underhåll och service av transportbehållare.

Anläggningen är utrustad med tre identiska nedkylningsceller där transportbehållarna kan anslutas till ett fast installerat kyl- och reningssystem. Anslutningen sker med slangar och speciella anslutningsverktyg. Här kyls innehållet i bränsletransportbehållaren ned innan behållaren öppnas.

CLAB innehåller också tre parallella linjer för urlastning av transportbehållare. Två av dem är anpassade till standardtransportbehållaren TN17/2. Var och en av dessa två linjer består av en behållarbassäng där transportbehållaren placeras och en urlastningsbassäng. Behållarbassängen går delvis in under urlastningsbassängen och transportbehållaren ansluts till urlastningsbassängen underifrån med en anslutningsanordning med slussfunktion. Genom detta arrangemang kommer transportbehållarens utsida inte i kontakt med kontaminerat vatten från urlastningsbassängen. I urlastningsbassängen öppnas transportbehållarens inre lock och bränsleelementen lastas ur ett och ett, och placeras i lagringskassetter för flera bränsleelement. All fortsatt hantering av bränslet sker sedan i kassetter. Några olika typer av kassetter finns i CLAB. De vanligaste är kompaktkassetter som rymmer 25 BWR- respektive 9 PWR-element. Äldre sk normalkassetter som rymmer 16 BWR- respektive 5 PWR-element används också. Vidare finns det kassetter för speciella bränsletyper, t ex Ågesta och MOX-bränsle, samt för olika typer av hårdkomponenter.

Den tredje urlastningslinjen består av en servicebassäng där andra typer av behållare kan lastas ut. I denna placeras transportbehållaren direkt i bassängen och urlastning sker efter att behållaren öppnats. I servicebassängen finns även utrustning för läcksökning av bränsle samt för att separera bränsleknippena från omgivande bränslebox. Detta sker dock endast undantagsvis.

I anslutning till urlastningsbassängerna finns en förbindelsekanal som förbinder dem med bränslehissen, samt två ytterligare bassänger som används för temporär lagring av tomma och fyllda kassetter, behållarinsatser m m, och som innehåller diverse annan serviceutrustning.

För hantering av bränsleelement och kassetter finns fyra hanteringsmaskiner, varav tre endast betjänar var sin urlastnings- eller servicebassäng, medan den fjärde maskinen, kassetthanteringsmaskinen, som används för att förflytta kassetter, kan nå samtliga bassänger.

Bränslehiss

Kassetterna transporteras ned till förvaringsbyggnaden med bränslehissen. I ena änden av förbindelsekanalen placeras kassetten i en hisskorg. Hisskorgen består av en behållare av rostfritt stål. Hissmaskineriet är placerat på en vridbar betongplatta och

linorna som hisskorgen hänger i passerar genom plattan i en smal strålskärmd slits. Genom att vrida plattan runt sin axel kan hisskorgen placeras över olika öppningar. En öppning leder till förbindelsebassängen och en annan till hisschaktet. En tredje öppning är serviceposition medan en fjärde öppning finns för överföring till den planerade inkapslingsanläggningen. Hisskorgen är alltid fylld med vatten som ger kylning under transporten. Dessutom finns en anordning för vattentillförsel till hisskorgen i händelse av ett långvarigt driftavbrott.

Förvaringsbyggnaden

Förvaringsbyggnaden ligger i ett bergrum med 25 – 30 meters bergtäckning och innehåller fyra förvaringsbassänger och en mittbassäng med tillhörande transportutrustning för kassetter. Mittbassängen ansluter till den nedre transportkanalen till bränslehissen. Förvaringsbassängerna och mittbassängen är inredda med galler som stöd för uppställda kassetter. En förvaringsbassäng har 300 kassettpositioner. Förvaringsbassängerna och uppställningen av kassetterna i dem är dimensionerade för jordbävning.

Transportkanalen mellan bränslehissen och mittbassängen utgör en egen bassängenhet, som ansluter till förvaringsbassängblocket. Vid utbyggnad av lagringskapaciteten med ytterligare ett bergrum byggs en liknande transportkanal på andra sidan bassängblocket. Utbyggnaden av bergrum 2 planeras få en liknande utformning som bergrum 1 med fem förvaringsbassänger.

Hanteringsmaskinen i förvaringsdelen består av en spårbunden brygga som kan löpa längs med bassängerna och en tralla som rör sig på bryggan. På så sätt kan samtliga kassettpositioner i bassängerna nås. På trallan finns lyftutrustning och manöverenhet. Trallan kan köras av från bryggan och vidare längs räls monterad på transportkanalens kanter. När bergrum 2 tas i drift kan trallan även köras över via transportkanalen till bergrum 2, och in på en spårbunden brygga där.

Hjälpssystembyggnad

Huvuddelen av hjälpssystemen är inrymda i hjälpssystembyggnaden ovan jord. Här finns bland annat system för kylning och rening av bassäng- och processvatten, system för kylning och invändig rengöring av transportbehållare, system för omhändertagande av aktivt avfall, samt ventilationssystem för zonindelade områden.

Elbyggnad

Kontrollrummet är placerat i elbyggnaden som ligger vid ena kortsidan av mottagningsbyggnaden. Genom en glasad vägg ges möjlighet till överblick av mottagningsdelen direkt från kontrollrummet. I byggnaden finns också elektrisk kraftmatnings- och kontrollutrustning.

4.2.3 Hantering av bränsle och hårdkomponenter

Mottagning och preparering av transportbehållare

Transportbehållarna förs vid ankomsten till CLAB via en transportsluss in i mottagningsbyggnaden. I slussen sker en radiologisk kontroll och behållarens stötdämpare demonteras. Behållaren lyfts därefter in i mottagningsdelen och placeras i en nedkylningscell, eller i en vänteposition.

I nedkylningscellen förses behållaren med en skyddsmantel av rostfritt stål som täcker dess kylfenor. Manteln avtätas upptill och nertill mot transportbehållaren och ansluts med slangar till en mantelkylkrets. Utrymmet mellan manteln och behållaren fylls med vatten och ett kylflöde upprätthålls. Behållarens ytterlock lossas och behållaren ansluts till en kylkrets för internkylning av behållaren. Efter tryckutjämning fylls behållaren med vatten och ett kyl- och reningsflöde cirkuleras genom behållaren tills aktivitet och temperatur stabiliserats under fastställda gränser.

Innan behållaren transporteras vidare till urlastningspositionen förses behållarlocket med en adapter som passar mot anslutningsanordningen mellan behållarbassäng och urlastningsbassäng. Förflyttningen av behållaren till urlastningspositionen sker i två steg för att undvika för höga lyft. I det första lyftet placeras behållaren på en avlastningshylla i behållarbassängen, innan den i nästa lyft ställs ned på en vagn i bassängens botten. Vagnen förs därefter in under urlastningsbassängen och behållaren ansluts till anslutningsanordningen mellan behållarbassäng och urlastningsbassäng.

Urlastning av bränsle

Behållaren öppnas därefter inifrån urlastningsbassängen. Systemet är så utformat att lockets och behållarens utsida inte kommer i kontakt med vattnet i urlastningsbassängen. Detta vatten kan ha en viss radioaktivitet eftersom det står i kontakt med bränsleelementen.

Efter verifiering av bränsleelementens identitet lastas de ur ett efter ett med hanteringsmaskinen och placeras i en kassett som också står placerad i urlastningsbassängen. Fyllda kassetter transporteras därefter med kassetthanteringsmaskinen till bränslehissen eller till kassettbassängen. Vid förflyttning av kassetter är dessa skyddade mot att tappas av ett fallskydd.

Innan bränslebehållaren lämnar urlastningspositionen kan den vid behov rengöras invändigt. Härfter läggs locket åter på och behållaren kan tas ut samma väg som den togs in.

Transport till förvaringsbyggnaden och inlagring

Förbindelsebassängen gränsar vid ena änden till bränslehissen. En kassett kan där sänkas ned direkt i hisskorgen. Därefter dras hisskorgen med kassett in i det strålskärmade utrymmet under bränslehissens vridskiva. Korgen hissas upp över vattenytan och vridskivan roteras 180 grader så att hisskorgen hänger rakt över hisschaktet, varefter den sänks ned till förvaringsbyggnaden och ena änden av transportkanalen där.

I transportkanalen hämtas kassetten med traverstrallan på hanteringsmaskinen. Trallan kör ut på bränslehanteringsmaskinens brygga och förs till utvald uppställningsposition i en av förvaringsbassängerna. Vid transport i förvaringsdelen är kassetterna skyddade mot att tappas av ett fallskydd.

Hantering av skadat bränsle

Om en bränsletransportbehållare vid mottagning misstänks innehålla skadat bränsle, transporteras kassetten med bränslet efter urlastning till servicebassängen för läcksökning. Skadade bränsleelement kan vid behov placeras i skyddsboxar, som förhindrar att partiklar sprids från det skadade bränslet. Skyddsboxarna placeras därefter i en speciell kassett. Liknande skyddsboxar kan användas vid transport av känt skadat bränsle från kärnkraftverken.

Hantering av hårdkomponenter

Hårdkomponenter är redan vid transporten till CLAB placerade i en speciell kassett i transportbehållaren. I CLAB lyfts denna ur hel och hanteras vidare på samma sätt som kassetter med bränsle.

Omlastning av bränsle

För att fullt ut kunna utnyttja lagringskapaciteten i CLAB har sedan 1992 en ny typ av kassetter börjat användas, så kallade kompaktkassetter. Nyttillkommande bränsle placeras direkt i dessa. Därtill sker en omlastning av äldre bränsle från de äldre normalkassetterna till kompaktkassetter. Detta sker i urlastningsbassängerna eller i servicebassängen i mottagningsbyggnaden. Normalkassetter hämtas därvid upp från förvaringsbyggnaden, och efter omlastning transporteras kompaktkassetter ned. De gamla kassetterna rengörs och lagras utanför CLAB, för eventuell senare återanvändning.

Urlastning av bränsle ur CLAB

CLAB är förberett för uttransport av bränsle på samma sätt som bränslet tagits emot, och omlastning i transportbehållare kan ske i urlastningsbassängerna. Vissa modifieringar skulle dock krävas om detta blir aktuellt.

Om inkapslingsanläggningen, som planerat, byggs i anslutning till CLAB kan uttransporten förenklas genom att bränslehissen kommer att stå i direkt kontakt med inkapslingsanläggningen. Hanteringen går då till på samma sätt som när kassetter tas upp från förvaringsbyggnaden, till exempel för omlastning.

4.2.4 Långtidsaspekter på lagring i CLAB

CLAB har ursprungligen dimensionerats för drift i ca 60 år, från driftsstart 1985 tills allt bränslet har förts vidare till inkapsling och djupförvaring i mitten av nästa sekel. Bränslet kommer då i genomsnitt ha mellanlagrats i ca 30 - 40 år. Som ett led i studier av olika alternativ för hantering av använt kärnbränsle har SKB också studerat konsekvenserna av fortsatt lagring av bränsle i bassänger i CLAB under lång tid [4-2]. Såväl långtidsegenskaperna hos det lagrade bränslet, som den långsiktiga beständigheten av

bergrum och bergförstärkningar, byggnadskonstruktioner samt system och installationer har studerats.

Studien visar att lagringstiden i befintligt bergrum torde kunna utsträckas till åtminstone 100 år, under förutsättning att lagringen fortsatt sker under kontrollerade former, dvs med drift och övervakning av anläggningen som idag och med erforderligt underhåll av bergrum, byggnader och installationer. Grundläggande är att kvaliteten i drift och underhåll upprätthålls, så att vattenkvalitet och miljö i lagringsdelen håller gällande specifikationer, samt att infrastrukturen runt CLAB (el- och vattenförsörjning, avfallshantering och kompetens) finns tillgänglig.

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

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

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

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

4.3 Inkapsling vid CLAB

4.3.1 Inledning

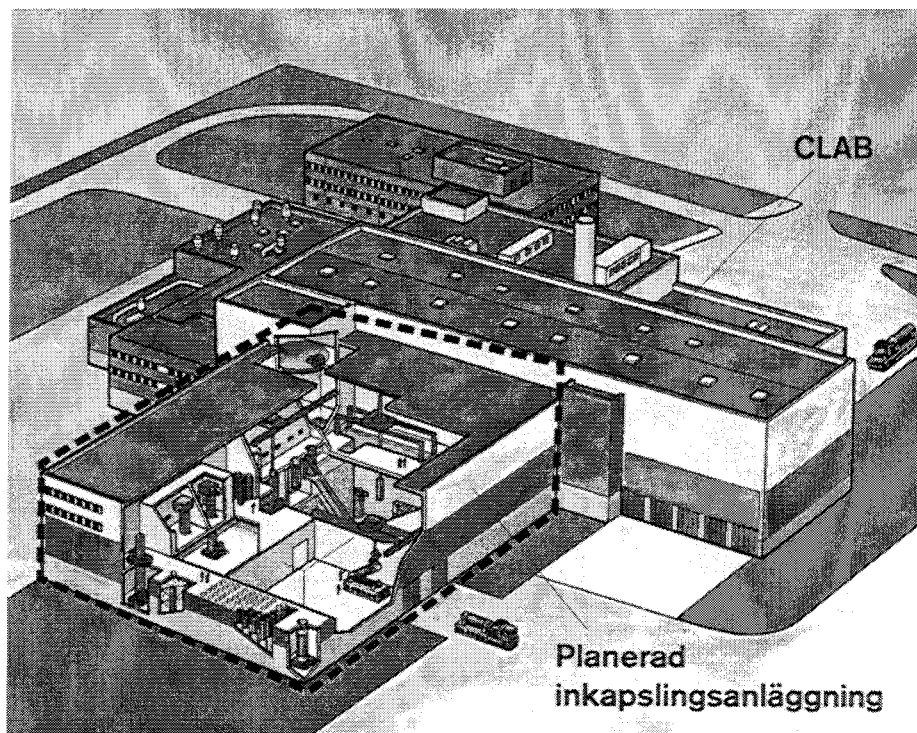
Använt kärnbränsle överförs efter minst 30 års mellanlagring i CLAB till en anläggning för inkapsling i täta kopparkapslar före djupförvaring. Enligt huvudalternativet ska inkapslingsanläggningen förläggas i omedelbar anslutning till CLAB /4-3/. Detta leder till att det använda bränslet kan föras mellan de två anläggningarna utan externa transporter. I anläggningen hanteras också hårdkomponenter, som ska placeras i kokiller för vidare transport till djupförvaret.

Kapseln som ska användas för inneslutning av använt kärnbränsle utgörs av en cylindrisk behållare med ett hölje av koppar och en gjuten insats av järn. Insatsen som placerats i kopparhöljet innan kapseln levererats till anläggningen är försedd med kanaler för placering av bränsleelement. Kapselns lock levereras separat och svetsas på plats i inkapslingsanläggningen när kapseln fyllts med bränsle. Färdigtillverkade kapslar med bränsle kan mellanlagras i transportbehållare vid anläggningen i avvaktan på transport till djupförvaret.

Anläggningen dimensioneras för att producera ca 200 kapslar per år, d v s i genomsnitt en kapsel per arbetsdag. I ett senare skede produceras ca 100 kokiller med hårdkomponenter per år i separata kampanjer.

4.3.2 Beskrivning av inkapslingsanläggningen

Inkapslingsanläggningen består av en inkapslingsbyggnad i omedelbar anslutning till CLAB:s mottagnings- och elbyggnader, och av förråd för fyllda transportbehållare (figur 4-5). Inkapslingsbyggnaden innehåller bassänger för överföring av bränsle från CLAB:s bränslehiss och för omlastning av bränsleelement till transportkassetter. Via en sned ramp förs bränslet upp ur vattnet och in i en hanteringscell för torkning och placering i kapslar. Ett lock svetsas på kapseln varefter den placeras i en transportbehållare. På liknande sätt överförs hårdkomponenter från CLAB och placeras i kokiller (se vidare avsnitt 4.7.1 angående hantering av långlivat låg- och medelaktivt avfall).



Figur 4-5 Inkapslingsanläggningen vid CLAB.

Bränslehiss

CLAB:s bränslehiss finns beskriven i avsnitt 4.2.2. Denna hiss används för att överföra lagringskassetter med använt bränsle från CLAB:s lagringsbassänger till inkapslingsanläggningen.

Bassänger

De inledande momenten av hanteringen av bränsle i inkapslingsanläggningen görs på liknande sätt som i CLAB i vattenfyllda bassänger. Dessa utgörs av en förbindelsebassäng, en hanteringsbassäng, en anslutningsbassäng samt en servicebassäng. Samtliga bassänger är utförda i armerad betong och inklädda med rostfri plåt.

Förbindelsebassängen mellan bränslehissen och hanteringsbassängen utgör en egen bassängenhet. Den är utrustad med en vagn för transport av hisskorg med lagringskassett under vatten.

Hanteringsbassängen innehåller 14 kassettpositioner för temporär förvaring av kassetter. Bassängen är dimensionerad för att innehålla erforderlig mätutrustning för kontroll av bränslets utbränning, resteffekt m m. En bränslehanteringsmaskin används för överföring av bränsleelement från lagringskassetter till transportkassetter. Dessa används vid överföring av bränsle till en hanteringscell och vid torkning av bränsleelementen. Transportkassetterna har plats för tolv BWR-element respektive fyra PWR-element, d v s lika många som antalet positioner för bränsleelement i kapslarna. Kassetterna är av samma grundläggande konstruktion som lagringskassetterna i CLAB.

Anslutningsbassängen innehåller en transportramp med en spårbunden vagn med vars hjälp transportkassetter med bränsle förs upp ur vattnet till hanteringscellen. Stötdämpare finns vid botten av rampen i händelse av en skenande vagn. Anslutningsbassängen är även försedd med två positioner för uppställning av kassetter.

Hanteringsmaskinen som används för hantering av kassetter med bränsle och av enskilda bränsleelement under vatten har samma principiella utförande som hanteringsmaskinerna i CLAB:s mottagningsdel (se avsnitt 4.2.2). En separat bassäng finns med utrustning för underhåll av hanteringsmaskinen.

Varje bassäng kan isoleras från de övriga med hjälp av portar.

Hanteringscell

Den strålskärmda hanteringscellen är försedd med blyglasfönster och manipulatorer. I hanteringscellens golv finns anslutning till rampen från anslutningsbassängen, två positioner för torkning av bränsle, var och en med plats för en transportkassett, en position för dockning underifrån av en tom kopparkapsel samt en position för dockning av kokill. Kapseln bringas i dockningsläge med en luftkuddetruck som håller en strålskärmd lastbärare. Dessutom finns utrustning för hantering av stållocket.

En hanteringsmaskin finns i cellen för lyft av kassetter, bränsleelement och utrustning. Hanteringsmaskinen består av en hjulförsedd brygga och en tralla som rör sig på bryggan.

Arbetsstationer för atmosfärsbyte, förslutning och kontroll

De tre arbetsstationerna består samtliga av strålskärmda utrymmen, en för atmosfärsbyte, en för svetsning av kopparlock, samt en för bearbetning och oförstörande provning av svetsen. I var och en av arbetsstationernas golv finns det en dockningsposition för

kapseln. Kapseln förflyttas mellan dockningspositionerna i den strålskärmade lastbäraren med hjälp av luftkuddetrucken.

Stationen för atmosfärsbyte innehåller utrustning för vakuumpumpning av kapseln och för fyllning med argongas. I stationen finns anslutningar för dessa funktioner som kopplas till kapseln via en ventil i insatsens lock.

Svetsstationen innehåller en vakuumkanmare som kapseln ansluts till för svetsning av kopparlocket. Den är försedd med utrustning för elektronstrålesvetsning som i huvudsak är placerad utanför vakuumkanmaren. I stationen finns också en manipulatorarm för hantering av lock, temperaturgivare för kapselns temperatur samt utrustning för värmning av kopparlocket.

Arbetsstationen för maskinbearbetning och oförstörande provning innehåller utrustning för röntgen- och ultraljudsundersökning av svetsfogarna. Maskinbearbetningen görs med en fräsmaskin. Stationen innehåller också utrustning för att skära upp kopparlocket på kapslar med underkända fogar som inte kan repareras.

Utrustning för hantering av fyllda kapslar

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

Uttransporthallen innehåller en lastningsposition för lastning av kapslar i transportbehållare och en plattform med verktyg för hantering av transportbehållarens lock. En rälsbunden vagn används för förflyttning av transportbehållare.

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

Huvudtraversen i anläggningen används för förflyttning av den fyllda transportbehållaren och för att lyfta in tomma kapslar i anläggningen.

Förråd för fyllda transportbehållare

Färdigtillverkade kapslar förvaras i transportbehållare i förråd innanför anläggningsstaketet. Varje förråd innehåller upp till tio behållare.

4.3.3 Hanteringsgång vid inkapsling

Överföring av bränsle från CLAB

Lagringskassetter med bränsle förs en och en från CLAB:s lagringsbassänger till den vattenfyllda hisskorgen i bränslehissen. Hisskorgen hissas upp, vrids 90° med en vridskiva, och sänks ner i en transportvagn i inkapslingsanläggningens förbindelse-

bassäng. Därifrån förs transportvagnen till en position varifrån kassetten kan lyftas över till hanteringsbassängen med hjälp av bränslehanteringsmaskinen. Denna hantering sker på motsvarande sätt som transporten av kassetter mellan mottagningsdelen och lagringsdelen i CLAB (se avsnitt 4.2.3).

Intransport av tomma kapslar

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

Överföring av bränsle till hanteringcell och placering i kapslar

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

När en transportkassett är fylld förs den med bränslehanteringsmaskinen till en transportvagn i anslutningsbassängen. Där hissas vagnen med kassetten upp ur vattnet, uppför en sned ramp som mynnar i hanteringscellen. När kassetten nått över vattenytan dräneras den av sig själv och lyfts därefter över i hanteringscellen med en fjärrstyrd hanteringsmaskin. I hanteringscellen placeras den i en av två torkpositioner där torkning sker med cirkulerande varm luft.

När bränslet är torrt lyfts elementen ur, ett i taget och placeras i kapseln som är dockad till en position i golvet i cellen. Kapseln är försedd med skydd, så att dess yta inte riskerar att skadas vid nedsättningen av elementen.

Förslutning av kapslar

När en kapsel fyllts bultas insatsens stållock fast fjärrstyrt. Kapseln överförs därefter till en dockningsposition i en separat arbetsstation. En anslutning kopplas med manipulator till stållockets självstängande genomföring. Via denna vakuumpumpas först utrymmet i insatsen, som sedan fylls med argongas. När detta avslutats kontrolleras lockets täthet, varefter kapseln förs vidare till en dockningsposition i nästa arbetsstation för svetsning av kopparlock.

Svetsningen av kopparlock sker i en vakuumkammare. Utrymmet mellan insats och kopparhölje vakuumpumpas och kopparlocket värms till samma temperatur som kapseln. Locket placeras på kopparkapseln och försluts med elektronstrålesvetsning. Elektronstrålen smälter kopparn samtidigt som kapseln roterar så att svetsfogen går runt hela locket.

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

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

Hantering av förslutna kapslar

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

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

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

4.4 Transport av inkapslat bränsle

4.4.1 Inledning

Transport av inkapslat bränsle från inkapslingsanläggningen till djupförvaret kan ske till sjöss, på järnväg eller landsväg beroende på djupförvarets lokalisering /4-4/. Transporter på fartyg och/eller järnväg utgör dock huvudalternativ i denna studie. Vid en lokalisering på stort avstånd från inkapslingsanläggningen kan det bli aktuellt att först transportera avfallet till sjöss, för omlastning vid lämplig hamn och vidare transport med järnväg och eventuellt också transport på allmän väg. Varje fartygs- och järnvägstransport beräknas bestå av ca tio kapslar med bränsle, och årligen transporteras ca 200 transportbehållare med inkapslat bränsle till djupförvaret. Till detta kommer transporter av långlivat låg- och medelaktivt avfall från olika anläggningar till djup-

förvaret. Det totala antalet transportbehållare med radioaktivt material till djupförvaret under reguljär drift beräknas bli drygt 300 per år. Systemet för transporter av långlivat låg- och medelaktivt avfall redovisas i avsnitt 4.7.2.

SKB har sedan mer än tio år ett fungerande system för transporter av använt kärnbränsle från kärnkraftverken till CLAB och för transporter av behållare med radioaktivt avfall till SFR. I systemet används fartyget M/S Sigyn för dessa transporter. Denna erfarenhet utgör en grund vid utveckling av ett transportsystem för inkapslat bränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall till djupförvaret.

4.4.2 Beskrivning av transportsystemet

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

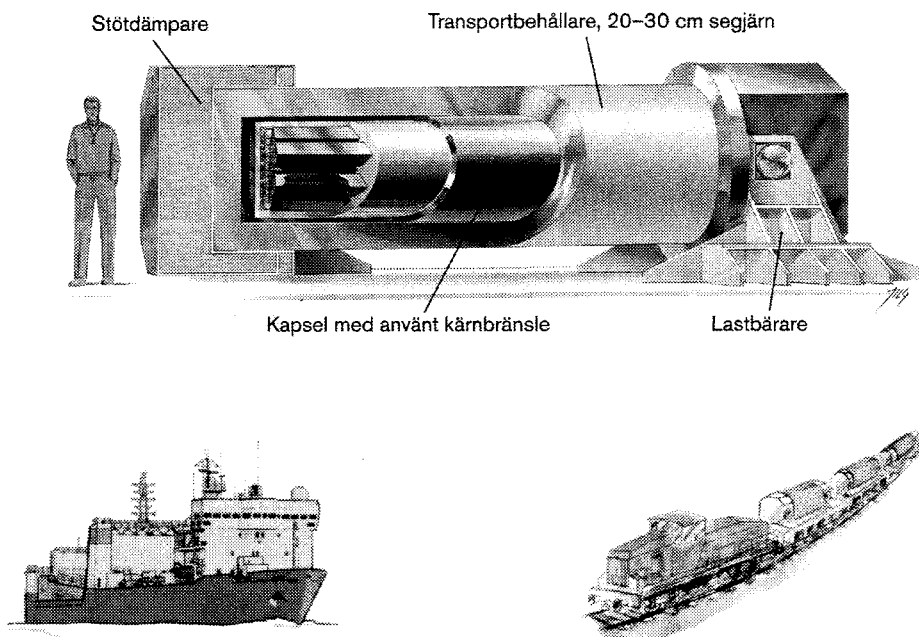
Transportbehållare, lastbärare och terminalfordon

Transportbehållarens funktion är att utgöra strålskärm för det inkapslade bränslet. Den ska vidare uppfylla krav på hållfasthet och värmetålighet, samt ha förmåga att leda bort den värme som alstras i bränslet. Behållaren licensieras som en typ B-behållare enligt IAEA (figur 4-6a).

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

Transportbehållaren placeras på en lastbärare för hantering med terminalfordon och för surring vid ett fartygsdäck. Lastbäraren är en plattform med ben, med en vikt på ca 10 ton.

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



Figur 4-6 a) Transportbehållare för inkapslat bränsle.
 b) M/S Sigyn för transport av använt kärnbränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall.
 c) Järnvägstransport av använt kärnbränsle.

Fartyg

M/S Sigyn eller liknande fartyg kan antas komma till användning för sjötransporter av inkapslat bränsle till djupförvaret (figur 4-6b). M/S Sigyn är byggd speciellt för transport av radioaktivt gods med bland annat dubbla skrov och botten. Även framdrivningsmaskineri är dubblerat. Fartyget är av svensk-finsk isklass 1A och kan själv bryta is av ca 30 cm tjocklek. Hon har 10 positioner för transportbehållare och en lastförmåga på ca 1 400 ton. M/S Sigyn är ett kombinerat ro/ro-, lo/lo- ("roll-on/roll-off", "lift-on/lift-off") fartyg.

Järnvägsvagnar

Järnvägsvagnar speciellt avsedda för detta ändamål lastas med en transportbehållare per vagn. Ett tågsätt utgörs av tio vagnar. Vagnarna anpassas så att terminalfordon och lastbärare kan användas vid lasthantering. Vagnarna är försedda med låsbara skjuttak och med fasta fästen för transportbehållarna (figur 4-6c).

Landsvägsfordon

Landsvägstransporter utgör inget huvudalternativ, men är en möjlig lösning om transportsträckorna är korta eller om bra järnvägsförbindelser saknas. Flera typer av såväl dragfordon som trailrar finns som kan bära vikten av en transportbehållare. Fordonet med last blir mycket tungt vilket innebär att det framförs med låg hastighet. Det svenska vägnätet är generellt sett inte dimensionerat för så tunga fordon som det blir frågan om

här. Tyngre laster än 60 ton kan tillåtas efter dispens. Förstärkningsarbeten kan också bli aktuella för vissa vägsträckor och broar /4-5/.

Omlastningshamn

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

4.4.3 Genomförande av transporter

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

Lastning på fartyg

I inkapslingsanläggningen fylls transportbehållaren med en kapsel. Behållaren tillsluts och kontrolleras med avseende på märkning, strålning och renhet. Därefter placeras den på en lastbärare och förs med terminalfordon till Simpevarps hamn. Vid lastning på fartyg körs lasten normalt in i lastrummet över akterrampen, men den kan vid behov även lyftas ombord med lastbärande kranar. Behållaren på lastbäraren surras mot lastrumsdäcket vid en av de tio positioner som finns för detta ändamål.

Sjötransport

Sjötransporterna av inkapslat bränsle skiljer sig inte principiellt från andra sjötransporter med fartyg i samma storlek. Någon närmare beskrivning av transportrutterna kan inte lämnas förrän djupförvarets lokalisering är känd. Lots ska vara ombord på fartyget när det angör en hamn och vid eventuell passage av Öresund. Vid eventuella transporter vintertid till norrlandshamnar behövs isbrytarassistans.

Omlastning till järnväg eller landsvägsfordon

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

Järnvägstransport

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

Mottagning vid djupförvaret

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

Returtransport av transportbehållare

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

4.5 Deponering av använt bränsle i djupförvaret

4.5.1 Inledning

Djupförvaret är ännu inte lokaliserad till någon bestämd plats. Dess utformning är i viss mån beroende av lokala förhållanden, som inte går att förutsäga i denna rapport. Därför ges en generell beskrivning av huvudalternativet för utformning av förvaret och hanteringsgången vid deponering /4-6/. Variationer på detta har studerats, vilket redovisas i kapitel 10.

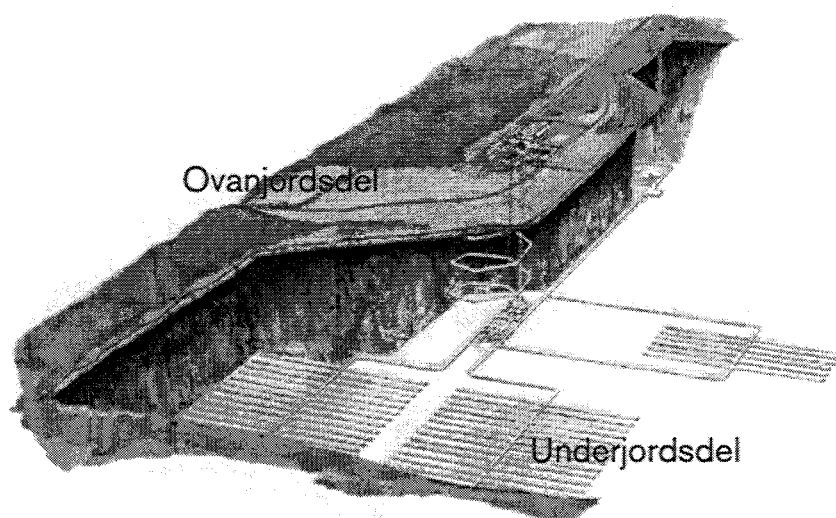
Anläggningen tas enligt planerna i drift med ett inledande driftskede, som pågår i ca fyra år. Under denna tid deponeras ca 400 kapslar som innehåller ca 10 % av den totala mängden använt bränsle. Därefter görs en utvärdering av erfarenheterna från detta. Vid behov kan de deponerade kapslarna återtas efter denna period eller vid annat tillfälle (se avsnitt 4.6). Den reguljära driften beräknas pågå under ca 20 - 30 år. Under denna tid deponeras ca 200 kapslar per år eller totalt ca 3 600 kapslar. Deponering av långlivat låg- och medelaktivt avfall i en separat del av förvaret beskrivs i avsnitt 4.7.

Efter avslutad deponering avvecklas anläggningens ovanjordsdel och underjordsdelen försluts. Alternativt kan anläggningen hållas öppen en längre tid efter avslutad deponering.

4.5.2 Beskrivning av djupförvaret

Anläggningen för djupförvaring av använt bränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall består av en ovanjordsdel och en underjordsdel som är förbundna med varandra med en ramp (figur 4-7). Under jord finns ett centralområde, ett område för deponering av bränsle för inledande drift, en deponeringsdel för reguljär drift och ett område för deponering av långlivat låg- och medelaktivt avfall.

Anläggningarna ovan jord utgörs huvudsakligen av en driftbyggnad för mottagning av avfallet, samt en produktionsbyggnad för bearbetning av bentonit. Vidare finns ett antal byggnader som erfordras för anläggningens drift, försörjning av elkraft och värme, och för förvaring av bergmassor och bentonit. Om transporter till anläggningen sker med järnväg, finns en rangerbangård som ansluter till driftbyggnaden.



Figur 4-7 Djupförvaret.

Centralområde under jord

Centralområdet innehåller bergtrum för dränage av inläckande vatten, eldistribution, ventilation, verkstad, personal och förråd. Där finns också en omlastningshall där kapslarna lastas över från transportbehållare till en deponeringsmaskin, samt en plats för tippning av bergmassor före transport av dessa till ytan.

Deponeringsområdena under jord

Deponeringsområdena för använt bränsle står i förbindelse med centralområdet via transporttunnlar. Områdena utgörs av ca 120 deponeringstunnlar med en längd på ca 250 m och en höjd och bredd på ca 5 m. I botten på var och en av dessa tunnlar borrar ca 35 - 40 deponeringshål. En kapsel med använt bränsle placeras vertikalt i varje hål.

Ramp

Transportrampen mellan ovanjordsdelen och underjordsdelen utgörs av en ca 5 km lång spiralformad tunnel med höjd och bredd på ca 6 m. Rampens lutning är ca 1:10. En rampruck används för transporter av behållare med inkapslat bränsle i rampen. I rampen fraktas också bentonitblock till deponeringshålen.

Driftbyggnad ovan jord

Driftbyggnaden förbinder järnväg med nerfartsramp. I byggnaden finns ett järnvägsspår med lastplats, ett transportbehållarförråd med plats för ca 12 behållare och en lastposition för ramprucken. En travers ombesörjer transporten av behållare i byggnaden. Ett hisschakt för personaltransporter och service förbinder driftbyggnaden med underjordsdelen. Kontrollrummet för övervakning av anläggningens drift är belägen i driftbyggnaden. Kontrollrummet är bemannat under dagtid.

Produktionsbyggnad ovan jord

Produktionsbyggnaden består av två delar, en för produktion av bentonitblock och förråd för dem och en för blandning av lös bentonit och bergkross. Bentoniten lagras, efter leverans, i en silo i anslutning till byggnaden. Där finns också en silo för lagring av krossat berg. För produktion av bentonitblock finns en press och maskiner för bearbetning. I förrådet finns utrymmen för färdiga block och för lastning på truckvagn för nertransport till deponeringshålen. För blandning av bentonit och bergkross finns doseringstank för bentonit, doseringskärl för bergkross och två blandare.

Övriga byggnader ovan jord

Ventilationsbyggnaden ombesörjer ventilation för underjordsdelen. Den är placerad vid ett schakt som för luft till underjordsdelens centralområde. Ett annat schakt leder luft från anläggningen till ventilationsbyggnadens skorsten.

I kontorsbyggnaden finns platsledning samt avdelningar för administration och ekonomi. Områdets skötsel, teknik, bergtekniska och andra analyser, säkerhets- och skyddsfrågor handläggs också vid platskontoret. Ett mindre kontrollrum i byggnaden används för allmän övervakning av funktioner som ventilation och belysning samt för områdesövervakning.

En spohall används för att spola järnvägsvagnar och transportbehållare rena och för att avlägsna snö och is från dessa.

4.5.3 Hanteringsgång vid mottagning och deponering av inkapslat bränsle

Transportbehållarna med inkapslat bränsle antas anlända med järnväg till en rangerbangård vid djupförvaret. I driftbyggnaden förs transportbehållare över till ramptrucken för transport till underjordsanläggningens centralområde. I centralområdets omlastningshall lyfts transportbehållaren av från trucken och ställs vertikalt i en grop för urlastning. Kapseln lyfts där över till en strålskärmstub och placeras med hjälp av en deponeringsmaskin i ett deponeringshål som först försetts med bentonitblock.

Transport från rangerbangård till underjordsanläggning

När ett tåg med transportbehållare kommer till djupförvarets rangerbangård, frikopplas loket. Ett särskilt rangerlok kör in järnvägsvagnar en och en, efter rengöring, till driftbyggnaden. Behållaren lyfts med travers från järnvägsvagnen till transportbehållarförrådet. Från förrådet lyfts behållaren med travers över till ramptrucken för nerfart till underjordsanläggningens centralområde. Hastigheten vid nertransporten är ca 5 km/h.

Omlastning till deponeringsmaskin

I underjordsanläggningens centralområde lyfts transportbehållaren med travers till vertikalläge och ställs i en grop för urlastning. En strålskärmstub ställs ovanpå en strålskyddsbox över gropen. Kapseln i transportbehållaren identifieras och lyfts med en vinsch upp till strålskärmstuben. När tubens bottenlock satts fast, lyfts den och tippas till horisontalläge. Tuben hämtas av en eldriven tubvagn som för den till avsedd

deponeringstunnel. I deponeringstunnelns mynning förs tuben med kapseln över till deponeringsmaskinens strålskärmslåda.

Preparering av deponeringshål

Deponeringshålets botten avjämnas till en horisontell yta, så att den utgör en plan grund för bentonitblock och kapsel. En vagn med bentonitblock körs med truck från produktionsbyggnaden ovan jord genom rampen till deponeringstunnelns mynning, där blocken via en servicevagn förs fram till deponeringsmaskinen. Deponeringsmaskinen är rälsbunden och avsedd för deponering av såväl kapslar som bentonit. Med hjälp av maskinen lyfts bentonitblocken ner i deponeringshålet. Blocken är ringformade med centrumhål avpassade efter kapselns dimensioner. Deponeringshålet fylls med sådana block till strax över kapselns höjd.

Deponering av kapslar

I deponeringsmaskinens strålskärmslåda avlägsnas strålskärmsstubens bottendel. Tubens övre del med kapsel vrids till vertikalläge, varvid kapseln sticker in ett stycke i deponeringshålet. Tuben sänks ca 1 m ner i deponeringshålet och kapseln sänks med en vinsch ner till sitt slutliga läge. Bentonit läggs över kapseln och spalter mellan bentonitblock och berg respektive mellan bentonit och kapsel tätas med lös bentonit. Ett skyddslock, som lyftes bort från deponeringshålet inför deponeringen, läggs åter på plats.

Drivning av berg och återfyllning av tunnlar

Bergdrivning och borring av deponeringshål pågår samtidigt med deponering, men i en annan del av djupförvaret. Deponeringstunnlarna drivs med konventionell borring och sprängning. Bergmassorna förs till centralområdet där de tippas och hissas upp till marknivå. När tunnlar i ordning ställts börjar deponeringshålen borras. Detta sker genom att först borra ett pilothål för undersökning av bergkvaliteten. Därefter borras hålet upp till full diameter och dess botten avjämnas. Alla hål i en tunnel färdigställs innan deponering får påbörjas.

När samtliga deponeringshål i en tunnel fyllts med kapslar återfylls tunneln. Återfyllnadsmaterialet utgörs av bergkross med en inblandning av bentonit. Inför återfyllning flyttas deponeringsmaskinen till nästa tunnel och all utrustning tas bort. Återfyllnadsmaterialet transporteras från produktionsbyggnaden ovan jord, via rampen till deponeringstunneln. Tunnelns mynning har försetts med en avtätande vägg, och fyllnadsmaterialet matas in genom denna till truckar som för det till en utläggningssmaskin. Materialet läggs i lager som kompakteras. När förvaret är fullt, återfylls även transporttunnlarna.

4.6 Möjlighet till återtag och mellanlagring av inkapslat bränsle

4.6.1 Inledning

Ca 10 % eller ca 400 kapslar med använt kärnbränsle ska deponeras under djupförvarets inledande driftskede. Erfarenheterna från detta utvärderas sedan under flera år. Denna

utvärdering innebär bl a att säkerhetsrapporterna för djupförvaret kompletteras med avseende på faktiskt uppmätta förhållanden i förvarsberget och tekniska barriärer. Behovet att genomföra ändringar i metoder för byggande av barriärer eller bergutrymmen och för kontroll av dessa analyseras. Resultaten utgör underlag för ett beslut att söka tillstånd att fortsätta deponeringen i ett andra steg. Om man vid denna utvärdering däremot finner det lämpligt att återta bränslet från förvaret, måste teknik för detta och anläggningar för mellanlagring av bränslet finnas tillgängliga. Återtag av kapslar ska också vara möjligt i ett senare skede, under reguljär drift av förvaret eller efter dess förslutning.

Skälen till återtag kan vara flera, t ex ny och avsevärt bättre teknik för omhändertagande av använt kärnbränsle, en framtida önskan att använda bränslets energiinnehåll i form av uran och plutonium, eller att den använda metoden med djupförvaring inte visar sig uppfylla de ställda kraven.

Tidpunkten för ett beslut om återtag är avgörande för hur tekniskt komplicerad och tidskrävande genomförandet blir. En väsentlig faktor är också om återtagets görs medan CLAB och inkapslingsanläggningen fortfarande är i drift. Det kan då vara en lämplig lokalisering för ett mellanlager för kapslarna med den samordning detta skulle innebära.

4.6.2 Hanteringsgång vid återtag

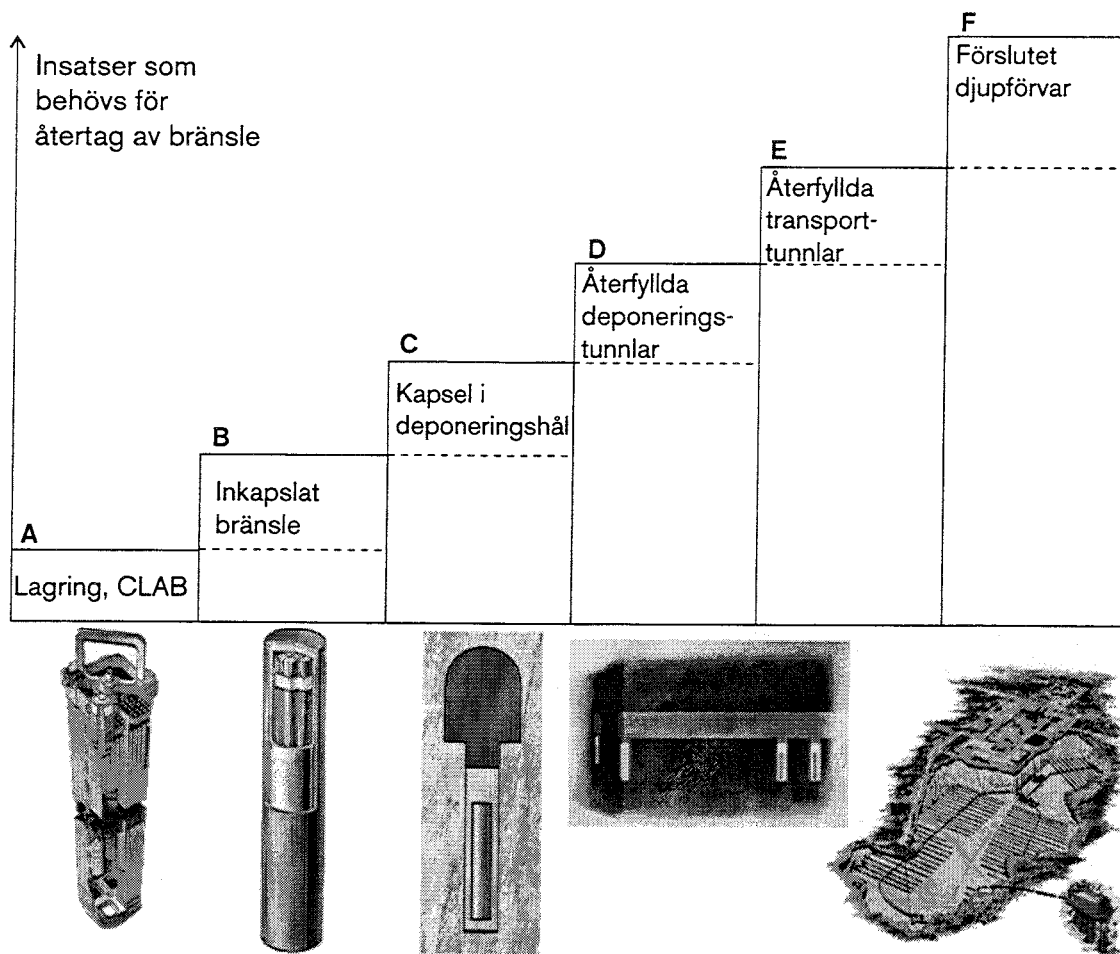
Hanteringen vid återtag beror på i vilket skede detta ska göras. Processen blir mest omfattande om förvaret förslutits efter avslutad deponering, och bentoniten som omger kapslarna tagit upp vatten så att dessa hålls fast i deponeringshålen (figur 4-8). Nedan beskrivs hur ett återtag kan göras efter förslutning av förvaret. Ett återtag i ett tidigare skede innebär att endast delar av den nedan beskrivna processen behöver användas /4-7/.

Återöppnande av ett förslutet förvar

Om förvaret förslutits krävs att återfyllnadsmaterial i berggrum och tunnlar avlägsnas, och att anläggningen läns pumpas. Därefter måste hanteringsutrustning för återtag, som till stor del är likadan som den som använts vid deponering, installeras. Hela denna process sker som konventionell icke radiologisk verksamhet. Troligen måste en stor del av de tidigare anläggningarna ovan jord återetableras för verksamheten.

Återöppnande av förslutna deponeringstunnlar

För att nå fram till deponeringshålen måste återfyllnadsmaterialet i deponeringstunnlarna avlägsnas. Denna hantering är också icke-radiologisk och skiljer sig inte principiellt från återöppnandet av övriga underjordsdelar av förvaret.



Figur 4-8 Återtag av deponerade kapslar.

Återtag av kapslar ur deponeringshål

För att återta kapslarna ur deponeringshålen måste först bentoniten avlägsnas så att kapseln kan lyftas ur. Denna hantering måste ske strålskrämat, eftersom kapseln fortfarande avger strålning. Avlägsnande av löst material i deponeringshålet kan ske med sandsug, så att bentonitblocken frigörs.

Under de senaste åren har ett antal metoder för att avlägsna bentonit studerats /4-8/. Prov i full skala med inaktivt material planeras vid Äspölaboratoriet. De metoder som studerats kan indelas i fyra huvudkategorier: mekaniska, hydrodynamiska, termiska och elektrotekniska metoder. Av dessa har en termisk metod och en hydrodynamisk metod uppvisat bäst resultat. Dessa två beskrivs i korthet nedan.

Den termiska metoden innebär att bentoniten runt kapseln kyls. Innan kylningen påbörjas avlägsnas bentoniten som finns ovanpå kapseln. Kylningen leder till en minskning av bentonitens volym så att det uppstår en spalt runt kapseln. Det är av avgörande betydelse att bentoniten släpper från kapselns vägg vid volymreduktionen, något som måste verifieras i kommande studier.

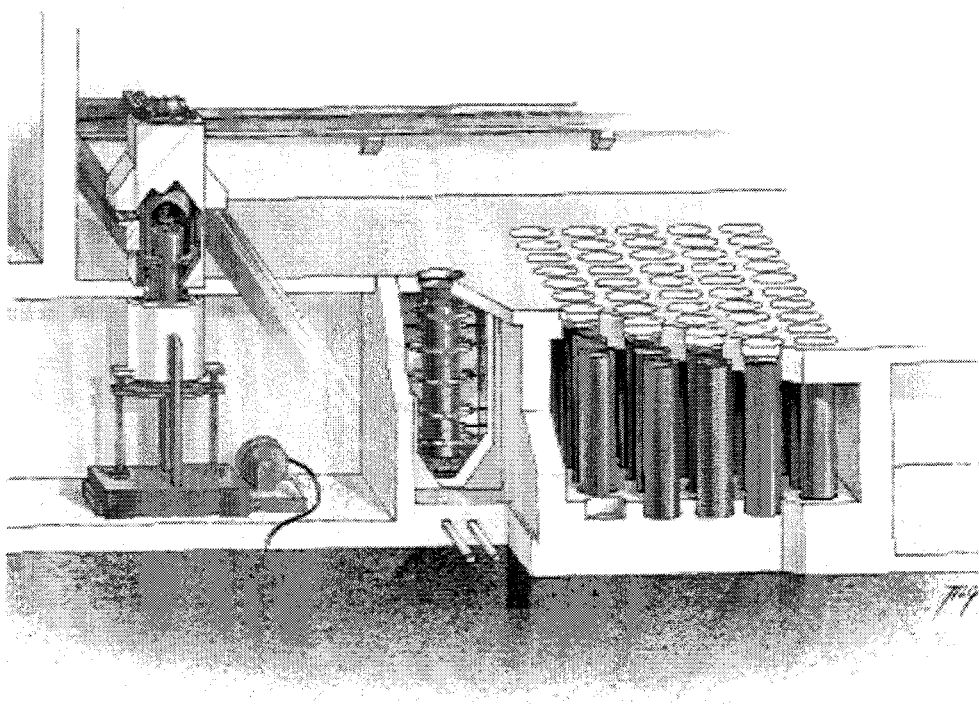
Den hydrodynamiska metoden innebär att vatten med hög salthalt upprepade gånger spolas över bentoniten. Detta leder till att bentoniten löses upp och bildar en suspension, som kan pumpas bort från hålet.

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

4.6.3 Mellanlager för inkapslat bränsle

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

Ett mellanlager för återtagna kapslar kan utformas på flera olika sätt. Två tänkbara utformningar är ett enklare berggrum på några tiotal meters djup, eller ett markförlagt förvar (figur 4-9). Luftkyllning av förvaret krävs oberoende av vilken utformning som väljs.



Figur 4-9 Mellanlager för återtagna kapslar.

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

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

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

4.6.4 Långtidsaspekter på mellanlagring av kapslar

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

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

Ett återtag av kapslar vid en tidpunkt när oxiderande förhållanden råder i förvaret innebär att dessa inte utsätts för någon större förändring vad gäller den kemiska miljön. Därmed förändras inte heller korrosionsegenskaperna hos kopparkapseln jämfört med de som råder vid oxiderande förhållanden i djupförvaret /4-9/.

Om kapslarna återtas efter det att förvaret förslutits och reducerande förhållanden har rått under en längre tid kan en sulfidfilm ha bildats på kapselns yta. Detta kan eventuellt leda till att korrosionshastigheten ökar när kapseln utsätts för obegränsad tillgång till syre vid ett återtag.

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

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

4.6.5 Återtag av bränsle från kapslar

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

En transportbehållare med inkapslat bränsle kan tas tillbaka in i inkapslingsanläggningen på motsvarande sätt som den tidigare togs ut ur anläggningen. I inkapslingsanläggningen lyfts kapseln ur transportbehållaren med anläggningens maskin för kapselhantering. Den ställs i en lastbärare och förs till arbetsstationen för oförstörande provning och maskinbearbetning (se hantering i inkapslingsanläggning, avsnitt 4.3.3). I arbetsstationen skärs kapselns lock av och lyfts bort. Kapseln förs till hanteringscellen där insatsens lock lossas och lyfts av. Bränslet lastas över i en transportkassett placerad i en av torkpositionerna. Kapslarna omhändertas för återvinning efter eventuell dekontaminering. Transportkassetten med bränsle förs tillbaka ner i bassängerna för omlastning till lagringskassetter och vidare in i bränslehissen för transport till CLAB:s lagringsbassänger. Alternativt kan bränslet föras från bränslehissen till CLAB:s mottagningsbassänger för uttransport till ett torrlager. Torrlagring som alternativ till lagring i CLAB redovisas närmare i avsnitt 10.2.

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

4.7 Mellanlagring, hantering och deponering av långlivat låg- och medelaktivt avfall

4.7.1 Inledning

Förvaring av långlivat låg- och medelaktivt avfall planeras till en särskild del av djupförvaret. Avfallet utgörs av hårdkomponenter och interna delar från kärnkraftverken, avfall från drift och rivning av CLAB och inkapslingsanläggningen samt avfall från Studsvik. Liksom när det gäller systemet för omhändertagande och förvaring av det använda bränslet finns det fortfarande en betydande handlingsfrihet i utformningen av systemet för omhändertagande av långlivat låg- och medelaktivt avfall. Alternativt kan t ex förvaret för långlivat låg- och medelaktivt avfall placeras vid SFR eller lokaliseras helt oberoende. Förändringar kan också komma att göras i det här redovisade systemet.

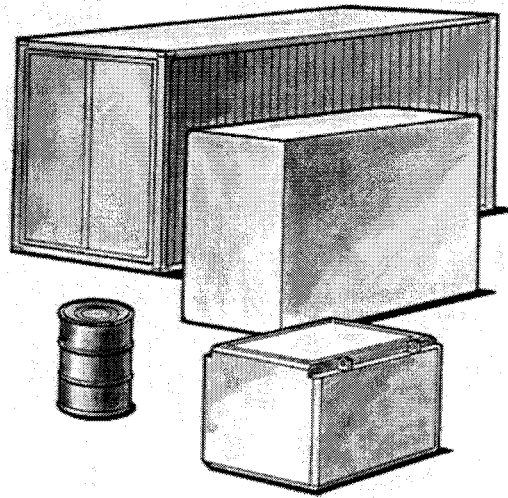
Avfallsbehållare

Ett antal olika typer av avfallsbehållare planeras bli använda vid deponering av långlivat låg- och medelaktivt avfall (figur 4-10).

- Kokiller av betong eller stål med dimensionerna 1,2 x 1,2 x 1,2 m för driftavfallet från CLAB och inkapslingsanläggningen, och för avfall från Studsvik.

- 200-litersfat för avfall från Studsvik. En fatbricka med samma bottenarea som kokillerna ovan rymmer fyra sådana fat.
- Kokiller med dimensionen 4,8 x 1,2 x 1,2 m för härdkomponenter och reaktorens interna delar.
- Avfallsbehållare med dimensionen 2,4 x 2,4 x 2,4 m för rivningsavfall från CLAB och inkapslingsanläggningen inklusive lagringskassetter från CLAB.

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



Figur 4-10 Avfallsbehållare för långlivat låg- och medelaktivt avfall.

Härdkomponenter och reaktorens interna delar

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

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

Avfall från drift och rivning av CLAB och inkapslingsanläggningen

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

Avfall från Studsvik

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

4.7.2 Transporter

Långlivat låg- och medelaktivt avfall transporteras till djupförvaret på i princip samma sätt som inkapslat bränsle. Transporterna, som görs från CLAB, inkapslingsanläggningen, Studsvik och eventuellt från kärnkraftverken påbörjas först flera år efter att deponeringen av kapslar har påbörjats. Man kommer således att ha erfarenhet från transport av inkapslat bränsle när transporterna av långlivat låg- och medelaktivt avfall inleds.

Transportbehållarna för långlivat låg- och medelaktivt avfall rymmer antingen en lång kokill för hårdkomponenter eller fyra standardkokiller med andra typer av avfall. Vid behov kan även andra typer av avfallsbehållare för långlivat låg- och medelaktivt avfall fraktas i transportbehållare. Behållarna med kokiller är något tyngre än behållarna med inkapslat bränsle; ca 80 ton inklusive lastbärare. De är utformade så att de kan hanteras med samma utrustning som behållarna för inkapslat bränsle i inkapslingsanläggningen, under transport och omlastning samt vid ankomst till djupförvaret.

Transporter från inkapslingsanläggningen och CLAB kan göras på samma sätt och med samma typ av fordon som transporterna av inkapslat bränsle från samma plats. I Studsvik finns en hamn som används för transporter av avfall till SFR i Forsmark med M/S Sigyn. Denna hamn kan också användas för transport av långlivat avfall till djupförvaret, eller till en omlastningshamn i dess närhet.

4.7.3 Beskrivning av djupförvaret

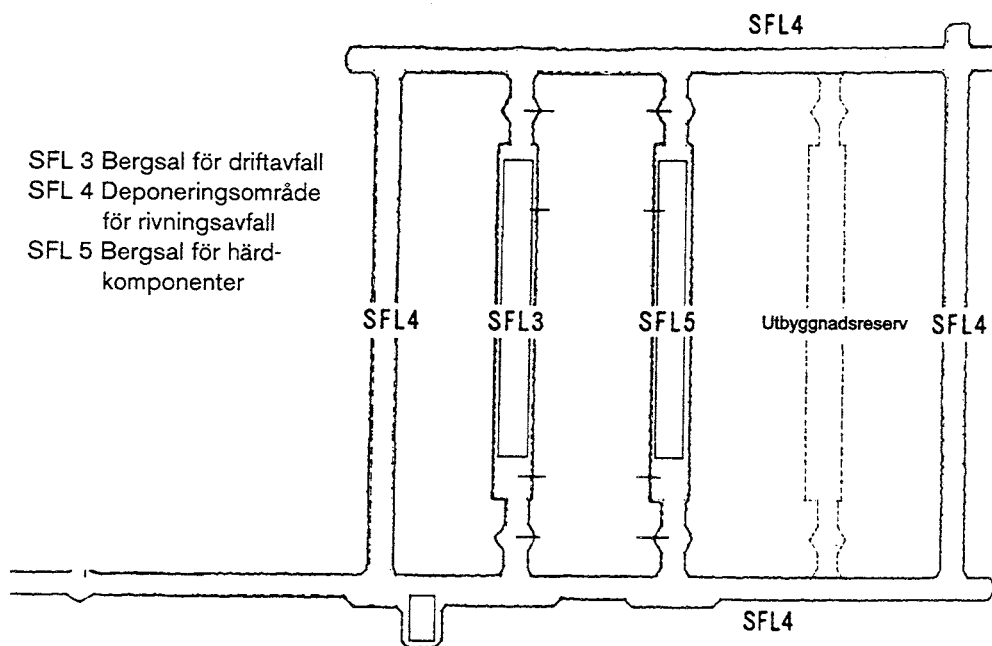
Långlivat låg- och medelaktivt avfall deponeras i ett separat deponeringsområde i djupförvaret (figur 4-11). Detta deponeringsområde står i förbindelse med underjordsanläggningens centralområde via en transporttunnel. Området består av följande tre deponeringshallar:

- Bergsal för driftavfall från CLAB och inkapslingsanläggningen samt långlivat avfall från Studsvik.

- Deponeringsområde för rivningsavfall.
- Bergsal för härdkomponenter.

De två bergsalarna är utformade på liknande sätt som bergsalen för medelaktivt avfall i SFR i Forsmark. Salarna är indelade i sektioner, som avgränsas med betongväggar, var och en med storleken 5 x 10 m. I dessa deponeras avfallskollina. Varje deponeringshall betjänas av en travers.

Deponeringsområdet för rivningsavfall utgörs av tunnarna runt de två bergssalarna. Tunnarna är inredda med en ca 20 cm tjock bottenplatta av betong.



Figur 4-11 Djupförvarets deponeringsområde för långlivat låg- och medelaktivt avfall.

4.7.4 Hanteringsgång vid deponering

Transportbehållare med avfallsbehållare för de två bergsalarna hämtas i driftbyggnaden ovan jord med en truck och förs ner i underjordsanläggningen på samma sätt som transportbehållarna med inkapslat bränsle. Transportbehållaren förs direkt till en lossningsplats i bergsalen. Behållarens lock lyfts av och kokillen lyfts med travers över en strålskyddsvägg och vidare till sin plats i bergsalen. Hela processen sker fjärrstyrt på grund av den höga gammastrålningen från vissa kokiller. Vid behov kringgjuts kokillerna stegvis med porös betong. När en sektion fyllts med kokiller täcks den med ett lock av betong. När deponeringen avslutats i bergsalen förses den med en betongplugg i inlastningsänden och återfylls med packad bergkross. Sist gjuts en betongplugg.

När deponeringen i bergsalarna avslutats kan avfallsbehållare med rivningsavfall ställas upp i transporttunnarna runt dessa. Avfallsbehållarna ställs med hjälp av gaffeltruck

direkt på tunnelns botten. Stapling av flera behållare i höjd förekommer inte. I samband med inlastning sker överfyllning av kollina med bergkross.

4.8 Referenser

- 4-1 CLAB, Centralt mellanlager för använt bränsle. Slutlig säkerhetsrapport, allmän del.
SKB PM 95-09, Stockholm, februari 1995.
- 4-2 Söderman E
Kontrollerad långtidslagring i CLAB.
SKB rapport R-98-17, Stockholm, oktober 1997.
- 4-3 Gillin K
Säkerheten vid drift av inkapslingsanläggningen.
SKB rapport R-98-12, Stockholm, september 1998.
- 4-4 Ekendahl A-M, Pettersson S
Säkerheten vid transport av inkapslat bränsle.
SKB rapport R-98-14, Stockholm, september 1998.
- 4-5 Förstudie Malå. Slutrapport.
SKB, Djupförvar Lokalisering, Stockholm, mars 1996.
- 4-6 Lönnerberg B, Pettersson S
Säkerheten vid drift av djupförvaret.
SKB rapport R-98-13, Stockholm, september 1998.
- 4-7 Thegerström C
The Swedish Approach to Spent Nuclear Fuel Disposal – Stepwise Implementation and the Role of Retrieval.
Proceedings of the 4th International Workshop on Design and Construction of Final Repositories, 1997.
- 4-8 Svemar C
Alternative Retrieval Methods Considered by SKB.
Proceedings of the 4th International Workshop on Design and Construction of Final Repositories, 1997.
- 4-9 Mattsson E
Utvändig korrosion hos kopparkapslar i avvaktan på slutförvar och under slutförvarets inledningsskede.
SKB Inkapsling Projekt PM 97-3420-22, Stockholm, april 1997.

5 Säkerhet och strålskydd vid drift av de olika anläggningarna i systemet

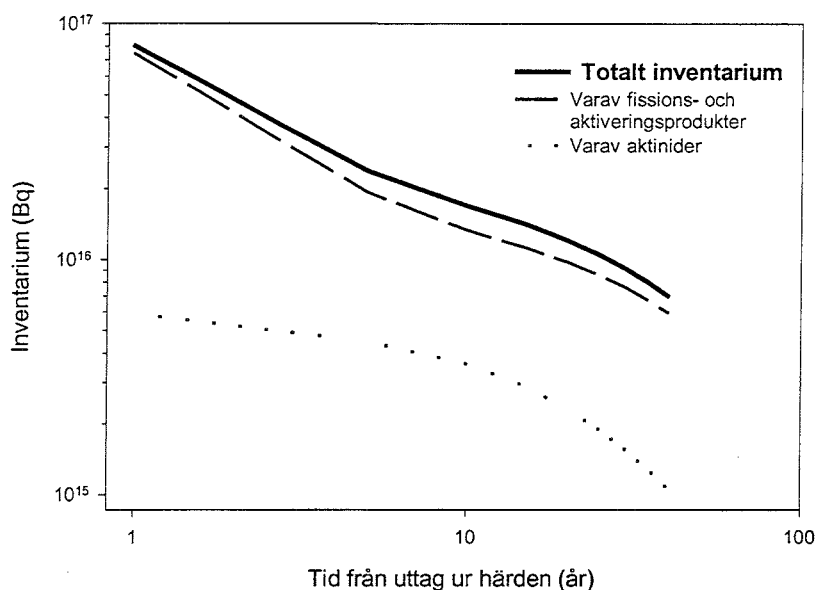
5.1 Översikt av säkerhets- och strålskyddsfrågor i olika skeden av processen

5.1.1 Radioaktiva ämnen i använt bränsle och hårdkomponenter

Det använda kärnbränslet karakteriseras av att det innehåller stora mängder av radioaktiva ämnen och därigenom avger en stark strålning. All hantering av det använda bränslet måste därför ske strålskärmat. Eftersom bränslet även avger värme måste hanteringen och lagringen utformas så att värmen kan ledas bort. Bränslet hanteras därför under vatten i bassänger eller i strålskärmade behållare. Vid transport mellan anläggningarna är bränslet inneslutet i robusta transportbehållare som ger erforderlig strålskärmning. Om bränslet är relativt nyligen använt (upp till något tiotal år efter uttag) måste transportbehållarna vara utrustade med kylfenor för att säkerställa att bränslet får tillräcklig kylning.

Huvuddelen av de radioaktiva ämnena är inneslutna i bränslet eller bränslekapslingen. En mindre del radioaktiva ämnen sitter på bränslekapslingens yta i form av beläggning med järnoxider etc, s k crud. Så länge bränslestavarna är intakta är det endast denna radioaktivitet som kan frigöras i samband med hantering av bränslet. Den utgörs till övervägande delen av Co-60. Mindre mängder cesium och transuraner kan också finnas i cruden till följd av att bränslet från början haft små mängder uran på ytan, eller att bränslet suttit i en reaktor med bränsleskador. Erfarenheten visar att en del bränslestavar skadas vid reaktordriften så att uranbränslet exponeras för vatten. Detta medför dels att de gasformiga radioaktiva ämnena kan frigöras snabbt (redan vid reaktorn), dels att en långsam utlakning sker av lösliga ämnen i bränslet, främst cesium. Erfarenheterna hittills i Sverige är att mindre än 0,3 promille av stavarna har skadats, vilket innebär att ca 1 000 stavar av de totalt ca 3 miljoner bränslestavarna i det använda bränslet från det svenska kärnkraftprogrammet kommer att vara skadade. Bränsle med mindre bränsleskador kan hanteras på samma sätt som intakt bränsle. Bränslestavar med större skador demonteras och skickas till Studsvik för inkapsling innan de förs till CLAB.

Radioaktiviteten i bränslet avtar med tiden efterhand som de radioaktiva ämnena sönderfaller och utsänder strålning (figur 5-1). Under den första tiden efter att bränslet har tagits ur reaktor avtar radioaktiviteten mycket snabbt, till ca en hundradel på ett halvt år. Därefter avtar hastigheten med vilket radioaktiviteten sjunker. Efter 30 år har radioaktiviteten sjunkit med ytterligare en faktor 10 - 20. För att därefter minska ytterligare en faktor tio krävs flera hundra år.



Figur 5-1 Radioaktivitet i ett bränsleelement av typen SVEA 96 under de första 40 åren efter uttag ur reaktorn.

Under det första halvåret efter uttag avklingar de säkerhetsmässigt viktigaste radioaktiva gaserna, främst jod. När bränslet transporteras till CLAB finns av gaserna endast den radioaktiva ädelgasen krypton kvar i bränslet.

Strålningsnivån från de förbrukade härdkomponenterna är från början lika hög som strålningsnivån från använt kärnbränsle. Eftersom strålningen i härdkomponenter huvudsakligen kommer från Co-60 med en halveringstid på ca 5 år har den på lång sikt dock avtagit kraftigt. Liksom för det använda bränslet sitter huvuddelen av de radioaktiva ämnena fast i materialet. En mindre del finns i form av crud på komponenternas ytor. Omfattningen av denna beläggning är mindre för härdkomponenter än för bränslet.

5.1.2 Inriktning på säkerhets- och strålskyddsarbetet

Säkerhets- och strålskyddsarbetet i samband med hantering av använt kärnbränsle, härdkomponenter och annat radioaktivt avfall ska:

- Tillse att stråldoserna till personalen vid normal drift av anläggningarna och vid transporter hålls tillfredsställande låga.
- Tillse att utsläppen av radioaktiva ämnen till luft och vatten från anläggningarna är låga och under gällande gränsvärden.
- Tillse att sannolikheten för hanteringsolyckor som kan leda till frigörelse av radioaktivitet i anläggningen eller till omgivningen är låg.
- Tillse att hanteringen av bränslet sker säkert underkritiskt, d v s så att ingen självunderhållande kedjereaktion kan starta i samband med hantering, samt att sannolikheten för kriticitet i samband med hanteringsolyckor är försumbart låg.

En viktig förutsättning är därvid att huvuddelen av de radioaktiva ämnena är bundna i bränslet, vilket innebär att det i första hand är direktstrålningen från bränslet som man behöver ta hänsyn till vid dimensionering av system och anläggningar. Även om en plötslig och omfattande bränsleskada skulle postuleras inträffa för det lagrade eller hanterade bränslet blir konsekvenserna till omgivningen måttliga. Det finns inga mekanismer som kan leda till snabba utsläppsförlopp eller till att aktivitet i större mängd sprids från gammalt använt kärnbränsle som lagras i bassänger. Effekttätheten i bränslet vid lagring i CLAB är ca 2 000 gånger lägre än vad den var när bränslet användes vid drift av reaktor. Detta medför att det inte är befogat med samma typ av säkerhetsåtgärder som för kärnkraftverk, speciellt vad gäller automatiska säkerhetssystem och konsekvenslindrande system.

Vid transport till CLAB och vid hanteringen i CLAB hanteras bränsleelementen antingen i transportbehållare som ger strålskärmning och skydd mot utsläpp, eller fritt under vatten som ger strålskärmning.

Förflyttningen till inkapslingsanläggningen sker också i vatten. I inkapslingsanläggningen lyfts bränsleelementen upp i luften. Detta sker i en strålskärmad cell med egen filtrerad ventilation. Efter att bränslet placerats i kopparkapseln sker hanteringen med ett lock på insatsen till dess att kapseln förslutits så att man undviker spridning av luftburen aktivitet. Efter att kapseln har förslutits är all radioaktivitet säkert innesluten i den täta kapseln. Risker för luftburen aktivitet är därefter obefintlig.

Strålningsnivån på kapselns utsida är alltså så hög att all hantering av kapseln måste ske strålskärmad eller fjärrstyrt, ca 20 mSv/h på 2 m avstånd från kapseln. All normal hantering i inkapslingsanläggningen och djupförvaret, liksom transporter till djupförvaret, planeras ske strålskärmad.

5.2 Mellanlagring i CLAB

5.2.1 Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter

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

Strålskyddet i CLAB är utformat enligt samma principer som används för kärnkraftverken. CLAB har dimensionerats från strålskyddssynpunkt så att den genomsnittliga individdosen till personalen inte ska överstiga 5 mSv per år. Bränsle och hårdkomponenter utgör de viktigaste strålkällorna i CLAB. För att minimera dosbelastningen till personalen sker all hantering antingen med bränslet och hårdkomponenterna inneslutna i transportbehållare eller under vatten som ger strålskärmning. Vid lagring av bränsle i

vatten frigörs en del aktivitet från den skruvcruden och från läckande bränsle till bassängvattnet och vidare till olika system där den kan deponera på ytor och ge upphov till strålkällor. Dessa system och komponenter placeras på sådant sätt i strålskärmade utrymmen att de ger en begränsad dos även i samband med att utrymmena beträds för drift och underhåll.

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

Utsläppen till omgivningen begränsas genom att allt kontaminerat vatten filtreras innan det släpps ut. Huvuddelen av vattnet återcyklas. Utsläpp av luft från zonindelade områden sker via ventilationsskorstenen. Utrymmen med potential för luftburen aktivitet, t.ex. nedkylningscellerna och bränslehisschaktet är försedda med frånluftsfilter innan luften leds till skorstenen.

För att garantera att hantering och lagring av bränsle är säkert underkritisk har CLAB och transportbehållaren dimensionerats så att marginal finns till kriticitet även om bränslet skulle vara oanvänt och i sitt mest reaktiva tillstånd. I verkligheten finns ytterligare en stor marginal eftersom allt bränsle som kommer till CLAB är använt och således har en mycket låg reaktivitet. Kriticitetskontrollen åstadkoms genom att bränslelementen placeras med visst avstånd sinsemellan eller genom att materialet i kassetterna är neutronabsorberande. Vid hantering av kassetterna är hanteringsmaskinen utrustad med ett fallskydd så att man inte ska kunna tappa en kassett på ett sådant sätt att bränslet åker ur den.

5.2.2 Konsekvenser vid normal drift

Strålskydd och stråldos till personal

Dosbelastningen till personalen i CLAB härrör från en mängd olika typer av arbeten, såsom mottagning av transportbehållare, urlastning och hantering av bränsle och hårdkomponenter, övervakning av anläggningens system samt underhåll. Erfarenheterna från dryga tio års drift har varit mycket goda beträffande dosbelastningen. Den erhållna kollektivdosen till personal och entreprenörer har i genomsnitt varit lägre än 100 mmanSv per år, vilket är ca en tredjedel av vad som beräknades innan anläggningen togs i drift. Även individdoserna har varit låga, och den genomsnittliga årsdosen för berörd personal har klart understigit 5 mSv/år. Det finns däremot vissa personalkategorier för vilka denna dos överskridits vid flera tillfällen, dock utan att högsta tillåtna årsdos till personal har överskridits. Det gäller främst den personal som arbetar med mottagning och preparering av transportbehållarna. Här vidtas olika dosreducerande åtgärder.

Med hänsyn till att doserna till personalen överlag är mycket låga slår lätt arbetet utanför "normal drift" igenom i årsstatistiken. Det gäller till exempel de ombyggnadsarbeten som genomförts på hanteringsutrustningen för att kunna hantera kompaktkassetter, och ombyggnadsarbeten i CLAB:s ingjutfningsanläggning.

Utsläpp från anläggningen och omgivningspåverkan

Utsläppen av radioaktiva ämnen via vatten och ventilationsluft är mycket små.

Utsläppen via ventilationsluften kontrolleras kontinuerligt och omgivningspåverkan beräknas. Aktiviteten härrör främst från crud som frigörs till processventilationen i tankar etc. Denna aktivitet domineras av Co-60. Om skadat bränsle anländer till CLAB kan den gasformiga klyvningsprodukten Kr-85 sugas bort vid mottagningen och släppas ut via skorstenen. Utsläppen till luft under de senaste tio årens drift har uppgått till ca 10^{-5} normutsläpp, d v s någon eller några hundratusendelar av vad som tillåts från en kärnteknisk anläggning.

Kontaminerat vatten kontrolleras innan det pumpas ut från uppsamlingstankar och blandas med kylvattnet från anläggningen. Vattnet förs till den utsläppstunnel som främst betjänar Oskarshamn block 1. Utsläppen är i första hand Co-60. När skadat bränsle har tagits emot har även en del Cs-137 släppts ut. Utsläppen under de senaste tio åren har uppgått till några tiotusendelar av normutsläpp.

Avfall från CLAB

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

5.2.3 Missödesanalys

Olika slag av störningar och missöden kan inträffa i anläggningen under dess drift. Man skiljer mellan störningar vilka kan väntas ske under anläggningens livstid, om än sällan, och missöden vilka bedöms vara ”mycket osannolika” /5-1/.

Störningar

Några störningar som beaktats i analysen är:

- Komponentfel i kyl- och reningskretsen.
- Fel i hanteringssystemet.
- Operatörsfel.
- Vattenläckage och inre översvämning.
- Aktivitetsläckage.
- Bortfall av yttre elnät.
- Tryckluftsbortfall.

- Datorbortfall.
- Begränsad brand.
- Bränsleskada som uppstått under transport.
- Felfungerande ventil i skyddsbox under uppfyllnad.

För var och en av dessa störningar har det fortsatta förloppet analyserats. Analysen visar att CLAB:s system väl kan ta hand om dessa störningar utan påtagliga konsekvenser. En viktig faktor är därvid den stora vattenmängden i CLAB:s bassänger och den relativt låga resteffekten i bränslet. Det medför att alla uppvärmningsförlopp går mycket långsamt och att tidsfristen till åtgärd oftast blir flera dygn.

En viktig faktor vid vattenläckage är att inga genomföringar för rörledningar till bassängerna ska finnas på en nivå under den lägsta bassängvattennivå som kan tillåtas med hänsyn till säker kylning och erforderlig strålskärning. Rörläckor kan därför inte ge oacceptabla stråldoser eller leda till utebliven kylning. Med hjälp av spädmatning kan bränslets vattentäckning bibehållas.

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

Missöden

De missöden som analyserats är:

- Brand.
- Hanteringsmissöden.
- Nedfall av bergblock.
- Långvarig förlust av bassängkylning och spädmatning.
- Yttre påverkan och jordbävning.

Brand

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

Hanteringsmissöden

De hanteringsmissöden som kan tänkas i CLAB är att man tappar ett bränsleelement, en bränslekassett, eller en transportbehållare eller att bränslehissskorgen faller ned. För att minimera risken för tappat bränsleelement eller kassett har griparna givits speciella

utformningar och olika automatiska förreglingar införts på hanteringsmaskinerna. På samma sätt har hissen konstruerats med tanke på att hålla sannolikheten låg för att tappa hisskorgen. Hisskorgen är dessutom utformad med en konisk botten som ger en hydrodynamisk dämpning vid fall för att minska konsekvenserna för bränslet och transportkanalen om hisskorgen skulle falla. Vidare finns det en mekanisk stötdämpare under hisschaktet.

Om ett bränsleelement eller en kassett tappas eller bränslehisskorgen faller är det ändå troligt att bränslet inte skadas. Beräkningar visar att bränslet klarar de aktuella påkänningarna. Erfarenheter från tappade bränsleelement vid reaktorerna styrker detta. Om man trots det antar att bränslet skadas innebär det att gasformigt Kr-85 släpps ut till luften i mottagningshallen eller förvaringsbyggnaden och vidare ut till omgivningen via ventilationsskorstenen. Dessutom frigörs en del Cs-134 och Cs-137 till bassängvattnet, där det sedan fångas upp i reningsjonbytarna. Det värsta fallet är när man tappar en kassett på en annan uppställd kassett. Dosen i hallen till följd av Kr-85 blir då som högst 0,7 mSv och dosen till kritisk grupp utanför anläggningen mindre än 1 µSv. Dosen vid bassängkanten på grund av att cesium löser sig i bassängvattnet blir initialt 2 – 20 mSv/h. Denna avtar efterhand som vattnet renas från cesium. Sannolikheten för att tappa en kassett har beräknats till $2 \cdot 10^{-5}$ /år.

Skulle en transportbehållare tappas vid transport från nedkylningscell till mottagningsbassäng, som är det enda skede då det finns möjlighet för att locket ska ramla av fås på samma sätt som vid tappat bränsle utsläpp av krypton och cesium. Konsekvenserna är dock lägre. Med de låga lyfthöjder som tillämpas klarar byggnaden en fallande transportbehållare.

Nedfallande bergblock

Inför bergarbetena vid den planerade utbyggnaden av CLAB har konsekvenserna av att ett bergblock lösgörs i den befintliga anläggningen och faller ner i en förvaringsbassäng studerats. För att säkerställa att en sådan händelse inte ska inträffa genomförs sprängningsarbetena för CLAB etapp 2 på ett noga kontrollerat sätt. Bergmekaniska utredningar visar att olika studerade blocktyper i berget över det befintliga berggrummet hålls kvar på ett betryggande sätt. Kontrollprogram med mätningar och observationer i berggrummet genomförs för att säkerställa att eventuella skador på bergförstärkningar upptäcks innan de kan leda till att bergblock lösgörs. För att ett bergblock ska kunna lösgöras krävs en samverkan av olika händelser, nämligen att kontrollprogrammet inte följs samtidigt som att ett bergblock över huvud taget existerar mellan bergbultarna och att den armerade sprutbetongen inte är i fullgott skick på den platsen.

Den teoretiskt största bergkil som kan förekomma mellan bergbultarna har en vikt på ca 10 ton och en största sidoyta på 7 – 8 m². Om en sådan kil hypotetiskt faller med denna yta ner på uppställda kassetter kan ca tio kassetter träffas av blocket. Störst aktivitetsfrigörelse uppkommer om dessa kassetter är av äldre typ och samtliga bränsleelement i kassetterna kommer från tryckvattenreaktorer.

Dosen till kritisk grupp i omgivningen blir vid en sådan händelse ca 3 µSv. Vid bassängkanten blir dosnivån på grund av cesium ca 10 mSv/h direkt efter händelsen. Nivån

sjunker sedan genom rening av vattnet. Mitt i förvarsbyggnaden uppgår stråldosen under några timmar till ca 4 mSv på grund av Kr-85.

Om bergblocket faller i ett område av bassängerna som är fritt från kassetter kommer plåten på bassängens botten att skadas, medan betongkonstruktionen klarar påverkan utan att det blir ett genombrott. Detta kan ge ett mindre läckage till det kontrollerade dränagesystemet.

Långvarig förlust av bassängkylning och spädmatning

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

Yttre påverkan och jordbävning

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

Sammanfattning

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

5.2.4 Långsiktig mellanlagring i CLAB

Fortsatt kontrollerad drift

CLAB har ursprungligen konstruerats med förutsättningen att drifttiden skulle bli ca 60 år (1985 till ca 2045). Med hänsyn till att denna driftperiod kan komma att utsträckas har SKB studerat konsekvenserna av fortsatt lagring i CLAB:s bassänger under lång tid /5-3/. Som framgår av avsnitt 4.2.4 visar studien att lagringen kan utsträckas till minst 100 år, under förutsättning att lagringen fortsatt sker under kontrollerade former. Genom regelbundet underhåll och utbyte av komponenter försämras inte anläggningens säkerhetsfunktioner. Genom att radioaktiviteten i bränslet avtar med tiden och därmed även

resteffekten kommer konsekvenserna av störningar och missöden i anläggningen att bli mindre med tiden. Tidsmarginalerna för att åtgärda inträffade driftstörningar ökar i motsvarande grad. Även svårare missöden, som kunde bli en konsekvens av åldring, får därigenom också begränsade konsekvenser i anläggningen eller till omgivningen.

Övergiven anläggning

För att mellanlagringen i CLAB ska kunna ske säkert krävs det att kylningen av bränslet bibehålls, d v s att kyl- och reningssystemen behålls i drift. Om man av någon anledning, t ex krig, skulle behöva överge CLAB utan att dessa funktioner hålls igång blir konsekvenserna däremot avsevärda /5-4/.

Eftersom resteffekten i bränslet är betydande även på lång sikt kommer vattnet i förvaringsbassängerna sakta att värmas upp och avdunsta. Detta leder till att vattennivån i bassängerna sakta sjunker. Eftersom man samtidigt kan anta att man upphör med att pumpa ut bergvatten från förvaringsdelen kommer en del vatten att tillföras bassängerna genom inläckande grundvatten. Under mycket lång tid, närmare 300 år, kommer dock resteffekten i bränslet att vara så hög att vattnet kring bränslet kommer att avdunsta om man inte aktivt tillför nytt vatten. Detta leder till att bränsleelementen torrläggas och temperaturen i bränslet blir så pass hög att omfattande bränsleskador inte kan uteslutas. Det leder till att radioaktiva ämnen, främst Kr-85 och Cs-137, frigörs från bränslet till luften i förvaringsdelen och vidare ut till omgivningen. Dosen till en person på ca en kilometers avstånd blir ca 100 mSv/år, vilket inte är acceptabelt. På sikt sker även ett utsläpp till grundvattnet, och ut till Östersjön vilket ger en dos på ca 10 mSv/år till kritisk grupp.

5.3 Inkapsling

5.3.1 Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter

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

De inledande momenten av hanteringen i inkapslingsanläggningen sker under vatten vilket ger strålskydd vid verifiering av bränslets identitet och omlastning till transportkassetter. Övrig hantering i anläggningen sker fjärrmanövrerat med bränslet placerat i strålskärmade celler med egen filterad ventilation. Även efter inkapsling är strålningsnivån på kapseln så hög att normal hantering sker fjärrstyrt. Först sedan kapseln placerats i en strålskärmad transportbehållare är strålningsnivån sådan att rutinemässig hantering kan ske utan ytterligare skärmning.

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

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

Luftburen aktivitet i anläggningen kan förekomma som aerosol eller i gasform. Luft från vissa utrymmen filtreras genom partikelfilter för att minimera mängden luftburen aktivitet. All frånluft passerar genom ventilationsskorstenen, där aktivitetssinnehållet mäts kontinuerligt.

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

5.3.2 Konsekvenser vid normal drift

Strålskydd och stråldos till personal

Dosbelastningen till personal i inkapslingsanläggningen härrör från hantering, övervakning och underhåll i samband med inkapsling. Den totala kollektivdosen till personalen beräknas uppgå till ca 20 mmanSv/år vilket motsvarar en individdos på ca 1 mSv/år /5-5/.

Utsläpp från anläggningen

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

Utsläppen med ventilationsluften till omgivningen kontrolleras kontinuerligt och omgivningspåverkan beräknas.

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

Avfallsproduktion

I inkapslingsanläggningen uppkommer, i huvudsak, samma typer av låg- och medelaktivt avfall som vid CLAB. Huvuddelen av avfallet från inkapslingsanläggningen förs till CLAB och hanteras där, tillsammans med avfall från verksamheten i CLAB. Avfallshanteringen i CLAB redovisas i avsnitt 5.2.2 ovan.

5.3.3 Missödesanalys

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

Störningar

De störningar som analyserats kan uppstå som en följd av olika händelser:

- Komponentfel i kyl- och reningssystem.
- Fel i hanteringssystem.
- Operatörsfel.
- Vattenläckage och inre översvämning.
- Aktivitetsläckage.
- Bortfall av yttre nät.
- Tryckluftsbortfall.
- Datorbortfall.
- Begränsad brand.

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

Missöden

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

- Brand.
- Hanteringsmissöde.
- Yttre påverkan.

Brand

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

Hanteringsmissöden

De hanteringsmissöden som studerats är att man tappar bränslehisskorg, bränsleelement, bränslekassett, kapsel eller transportbehållare, eller att vagnen i transportramen skenar. Riskerna för att sådana händelser ska kunna inträffa har minimerats genom gripverktygens utformningar och förreglingar hos hanteringsmaskinerna. Konsekvenserna av en tappad bränslehisskorg och åtgärder som vidtagits för att minimera dessa redovisas i avsnitt 5.2.3 ovan.

Om ett bränsleelement eller en kassett med bränsle tappas i en bassäng uppkommer troligen inga skador på bränslet, eftersom fallhöjderna är begränsade och kassetterna har konstruerats så att de fungerar stötupptagande vid en sådan händelse. Skulle skador på bränslet ändå uppkomma frigörs Kr-85 som gasformig aktivitet till luften i hanteringshallen och vidare ut till omgivningen via ventilationsskorstenen. I bassängvattnet frigörs aktivitet i form av Cs-137. Genom rening av vattnet med filter och jonbytare sjunker aktiviteten kontinuerligt. För att påskynda reningsprocessen i den aktuella bassängen finns möjlighet att leda hela reningsflödet till denna bassäng. Den största skadan uppkommer om en kassett tappas på en annan kassett. Stråldoserna och utsläppen av aktivitet blir dock lägre än för motsvarande händelse i CLAB (jfr avsnitt 5.2.3), eftersom allt bränsle som förs till inkapslingsanläggningen har klingat av i ca 30 år och aktivitetssinnehållet därmed reducerats avsevärt.

Om ett bränsleelement eller en kassett med bränsle tappas i hanteringscellen kan en skada på bränslet inte uteslutas vid lyfthöjder på upp till 6 m. Liksom vid skadat bränsle i en bassäng, frigörs Kr-85 och förs via ventilationsskorstenen ut till omgivningen. Ventilationssystemet förhindrar att den luftburna aktiviteten sprids till andra utrymmen i anläggningen.

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

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

Om transportbehållaren tappas i anläggningen uppkommer inga skador på behållaren, men däremot kan skador uppstå på byggnaden vid fallet.

Yttre påverkan

Tillslutna transportbehållare förväntas behålla sin integritet vid de belastningar som uppkommer vid en jordbävning. Inkapslingsanläggningen är, liksom de markförlagda byggnaderna i CLAB, inte dimensionerad för jordbävningar, eftersom anläggningen innehåller relativt små mängder bränsle.

Sammanfattning

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

5.4 Transporter

5.4.1 Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter

Transportsystemets huvudsakliga uppgift är att transportera inkapslat bränsle från inkapslingsanläggningen till djupförvaret. Till detta kommer transporter av långlivat låg- och medelaktivt avfall från inkapslingsanläggningen, CLAB och Studsvik till djupförvaret. Transporterna, som enligt huvudalternativet kommer att ske med fartyg och/eller järnväg (landsväg), görs med transportbehållare som är speciellt avsedda för ändamålet. Behållarnas funktion är att utgöra strålskärm för personal och omgivning, och att säkerställa att ingen radioaktivitet frigörs i händelse av en transportolycka. Vidare är behållaren konstruerad så att den avgivna restvärmen i bränslet leds bort, så att varken kapseln eller behållarens yta får för hög temperatur.

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

Strålskyddet vid transporterna är utformat så att inget moment i hanteringen ska medföra att individdoserna till personalen överstiger 5 mSv/år.

Eftersom kapslar med bränsle och kokiller med långlivat låg- och medelaktivt avfall har kontrollerats med avseende på täthet och kontamination, finns ingen fri aktivitet i transportbehållarna och därmed sker inga utsläpp av radioaktivitet till omgivningen vid

normal drift. Transportbehållarnas utsida är därmed också fria från kontamination och radioaktivt avfall uppkommer därför inte heller vid hanteringen.

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

En mer detaljerad redovisning av säkerhet och strålskydd vid transporter ges i /5-6/.

5.4.2 Konsekvenser vid normal drift

Strålskydd och stråldos till personal

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

Hantering av transportbehållare sker i samband med lastning och lossning på fordon vid inkapslingsanläggningen, CLAB, Studsvik, djupförvaret och eventuell omlastningshamn. Arbetet med de olika hanteringsmomenten kommer inte att klassificeras som arbete där risken för doser över 5 mSv/år föreligger och ses därför inte som radiologiskt arbete. Detta innebär att samma regler gäller för personal som ombesörjer dessa transporter, som för anställda på vanliga handelsfartyg, hamnar, etc. I enlighet med tidigare praxis kommer emellertid personalen att kontrolleras på samma sätt som personal inne i de kärntekniska anläggningarna, innebärande att SSI:s föreskrifter för personstrålskydd tillämpas.

Utsläpp från transportsystemet och omgivningspåverkan

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

Avfallsproduktion

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

5.4.3 Missödesanalys

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

Sjötransporter

Händelser under en sjötransport som skulle kunna påverka transportbehållarna innefattar:

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

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

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

- Kraftig fartygskollision som leder till mekanisk påverkan på last i lastrummet.
- Fartygsolycka som leder till att fartyget sjunker.
- Fartygsolycka som leder till att behållare faller överbord och sjunker.
- Långvarig och omfattande brand på fartyget.

Mekanisk påverkan på behållare i lastrummet

En allvarlig kollision, som medför att det andra fartyget tränger in i lastrummet, innebär att transportbehållaren kan skadas. Den täta kapseln ska dock säkerställa att bränsleelementen inte kommer i kontakt med omgivningen. Skulle påverkan vara av en sådan omfattning att både behållare och kapsel skadas allvarligt kan emellertid även bränsleelementen inuti kapseln bli skadade. Detta leder i sin tur till en frigörelse av gasformigt Kr-85, vilket vid ogynnsamma väderleksförhållanden kan leda till att en person på 5 km avstånd under hela olycksförloppet utsätts för en stråldos på $5 \cdot 10^{-6}$ mSv.

Behållare faller överbord och sjunker, eller fartyg med behållare sjunker

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

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

Långvarig och omfattande brand på fartyget

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

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

En radiologisk påverkan kräver således att en behållare blivit skadad till följd av kollisionen och att den därefter utsätts för en långvarig brand.

Konsekvenserna, utöver de som beskrivits ovan för mekaniskt skadad behållare, är att cesium kan frigöras vid temperaturer upp mot 600 °C. Detta kan i så fall leda till att individdosen på 5 km avstånd och vid ogynnsamma väderleksförhållanden uppgår till $4 \cdot 10^{-4}$ mSv.

Landtransporter

Landtransporter förekommer dels vid hantering med terminalfordon, dels vid transporter med järnväg (eller på landsväg). Olyckor med begränsad omfattning såsom:

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

leder inte till några radioaktiva utsläpp.

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

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

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

Mekanisk påverkan på transportbehållare och kapsel

De flesta typer av olyckor med mekanisk påverkan på transportbehållare ska inte medföra att dess täthet påverkas. Detta är t ex fallet vid urspårning, kollision med stillastående föremål eller om ekipaget kör i diket eller välter. Inte heller om ekipaget

kolliderar med mötande eller korsande trafik och behållaren lossnar på grund av belastningen, ska påverkan bli sådan att dess täthet påverkas. Behållaren ska tåla kollision med största tänkbara fordon utan att bli otät. Som ett ytterligare skydd finns dessutom kapselns täthet som ska säkerställa att bränslet inte avger några radioaktiva ämnen vid sådana händelser.

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

Långvarig brand

En brand ger, liksom i fallet med sjötransporter, i sig inte upphov till utsläpp av radioaktivitet, utan måste kombineras med mekaniska skador på behållare och kapsel för att detta ska kunna inträffa. Med dessa antaganden kan en frigörelse av Kr-85 och cesium till omgivningen med samma förutsättningar som ovan att kunna leda till en individdos på maximalt $2 \cdot 10^{-4}$ mSv.

Sammanfattning

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

5.5 Deponering av använt bränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall

5.5.1 Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter

Driften av djupförvaret innebär mottagning och deponering av inkapslat bränsle och kokiller eller fat med långlivat låg- och medelaktivt avfall. Hanteringen i anläggningen är utformad med inriktning på personalens säkerhet och minimering av dosbelastningen. Konstruktionen av djupförvaret grundas på de säkerhets- och strålskyddsprinciper som tillämpas vid kärnkraftverken och andra kärntekniska anläggningar.

Verksamheten är planerad på ett sådant sätt att den årliga individdosen till personal inte ska överskrida 5 mSv. De radioaktiva ämnena som hanteras i djupförvaret är av två slag. Det högaktiva bränslet är inkapslat i kapslar av koppar med insatser av gjutjärn. Långlivat låg- och medelaktivt avfall är inneslutet i kokiller eller fat. Avfallet hanteras i strålskärmande transportbehållare. När avfallet lyfts ur behållarna för deponering sker hanteringen fjärrstyrt eller bakom speciella strålskärmar. Någon frigörelse av radioaktivitet ska inte förekomma under hanteringen eftersom kopparkapselns täthet bevaras under de missöden som eventuellt kan uppstå. Även i kokiller och fat är radioaktiviteten

fast bunden, vilket gör att den hålls kvar, eller kan samlas upp lätt om sprickor skulle uppstå om behållarna tappas. Radon från berget måste beaktas på samma sätt som vid gruvverksamhet. Detta ställer speciella krav på ventilation.

Anläggningen ger inte upphov till utsläpp av luft- eller vattenburen radioaktivitet som härrör från avfallet. Däremot avgår radon med ventilationsluften. Mängderna beror på radonhalterna i berget på platsen för djupförvaret.

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

5.5.2 Konsekvenser vid normal drift

Strålskydd och stråldos till personal

Dosbelastningen till personal härrör från olika moment i hanteringskedjan från mottagning av transportbehållare till deponering på avsedd plats i förvaret. De arbetsmoment som förväntas ge ett bidrag till personalens kollektivdosbelastning är hanteringen i driftbyggnaden ovan jord och hantering och deponering med deponeringsmaskinen under jord. Däremot förväntas inte transporter mellan ovanjords- och underjordsanläggningarna i rampen, hantering i omlastningshall eller transporter till deponeringsmaskinen ge något bidrag till personaldosen bortsett från radonet.

Den totala kollektivdosen till personalen beräknas uppgå till 30 mmanSv/år vilket motsvarar en individdos på 1,5 mSv/år. Den låga dosbelastningen till personal vid normal drift, gör att enstaka incidenter eller underhåll/reparationer kan leda till märkbart förhöjda kollektivdoser. Detta motverkas så långt möjligt genom t ex montering av temporära strålskärmar /5-7/.

Utsläpp från anläggningen

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

Vatten som släpps ut från anläggningen härrör i huvudsak från berget. Vattnet innehåller inte radioaktivitet från avfallet, men däremot en viss mängd radon. Huvuddelen av radonet avgår genom avluftning av vattnet innan det når utsläppsledningen.

Avfallsproduktion

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

5.5.3 Missödesanalys

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

Störningar

De störningar som analyserats kan uppstå till följd av en rad olika händelser:

- Fel i hanteringssystem.
- Begränsad brand.
- Fel i försörjningssystem (ventilation, bergdränage, bortfall av yttre nät, tryckluftsbortfall, datorbortfall).
- Påverkan från bergdrivning.
- Yttre påverkan (jordbävning, översvämning, åska).

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

Missöden

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

- Tappad last.
- Kollisioner.
- Brand.

Tappad last

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

Tappad last i rampen mellan ovanjords- och underjordsanläggningarna leder inte till att transportbehållare eller kapsel kommer till skada, och därmed inte till någon frigörelse

av radioaktivitet. Arbetet med omhändertagande av den tappade behållaren i den trånga tunneln kan leda till en dosbelastning som motsvarar ca 1 % av den beräknade årsdosen till personalen vid normal drift. En tappad transportbehållare med kokiller med långlivat låg- och medelaktivt avfall leder inte heller till att transportbehållaren kommer till skada. Däremot kan kokillerna brytas sönder, vilket kan leda till att strålningen blir högre än vid normal drift när behållaren öppnas för deponering. Någon frigörelse av aktivitet ska dock inte förekomma, eftersom den är bunden i avfallet.

Tappad last i omlastningshallen innebär att en kapsel som lyfts ur transportbehållaren kan utsättas för ett fall på maximalt 5 m. Ett sådant fall kan leda till skador på kapselns yta, men inte till att kapselns täthet påverkas. Felaktiga delar i lyftutrustningen kan åtgärdas utan att personalen utsätts för ökade stråldoser.

Tappad kapsel vid deponering kan leda till att kapseln antingen tappas ner i deponeringshålet, eller på dess bentonitkant. Kapseln skadas inte av ett sådant fall, men en visuell inspektion av kapseln kan krävas.

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

Kollisioner

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

Brand

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

Brand i anläggningen har liten sannolikhet eftersom mängden brännbart material är liten. Förutom avskilda förråd för drivmedel och reservkraftsdiesel, är det huvudsakligen kablar och annan elmateriel som utgör brandrisk.

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

- Centralområdets bergshallar.
- Rampen.
- Transporttunnlarna.
- Deponeringstunnlarna.

- Schakt.
- Deponeringsdel för övrigt avfall.

En brand i centralområdets ventilationshall kan medföra utrymning av bergslokalerna. Vid brand i transporttunnlar, deponeringstunnlar eller deponeringsdel för långlivat låg- och medelaktivt avfall avbryts pågående deponeringsarbete och tunnlar utryms. Vid brand i centraldelens hall för eldistribution eller i rampen kan pågående deponeringsarbete avslutas. Brand i deponeringsmaskinen kan leda till att den kapsel som håller på att deponeras måste föras tillbaka medan utrustningen repareras. Däremot skyddas kapseln av strålskärmsstuben och skadas inte av branden.

Sammanfattning

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

5.6 Återtag av använt bränsle och mellanlagring av kapslar

5.6.1 Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter

Ett återtag av kapslar från djupförvaret ska, som tidigare nämnts, kunna genomföras efter den inledande demonstrationsdeponeringen, men också i ett senare skede och även efter förslutning av förvaret. Ett återtag kan innebära att kapslarna tas upp ur djupförvaret och mellanlagras under kortare eller längre tid i avvaktan på annan slutlig deponering, men det kan också innebära att kapslarna åter öppnas och att bränslet tas ut för mellanlagring i CLAB eller motsvarande. I detta avsnitt antas att eventuellt återtaget bränsle från kapslarna mellanlagras i CLAB. Andra typer av mellanlager för bränsle redovisas i avsnitt 10.2. Största delen av hanteringen vid ett återtag blir den samma som vid deponering, men i omvänd ordning, vilket gör att de aspekter på strålskydd och säkerhet som redovisats för drift av djupförvar, transporter, inkapslingsanläggning och CLAB även gäller vid ett återtag av bränsle från förvaret. Det som tillkommer är avlägsnande av bentonit från deponeringshålen innan kapslarna lyfts upp ur dessa, samt ett mellanlager för kapslar i anslutning till CLAB och inkapslingsanläggningen.

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

Utsläpp av små mängder aktivitet till omgivningen sker vid inkapslingsanläggningen och CLAB om bränslet återtas från kapslarna, i annat fall ska ingen lös aktivitet före-

komma vid hanteringen. Det samma gäller radioaktivt avfall, som kan uppkomma vid hantering i inkapslingsanläggningen och CLAB vid ett återtag av bränsle från kapslar, medan det i övrigt inte ska uppkomma något radioaktivt avfall vid hanteringen.

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

5.6.2 Konsekvenser vid normal drift

Strålskydd och stråldos till personal

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

Utsläpp från anläggningen och omgivningspåverkan

Utsläpp av radioaktiva ämnen till luft och vatten uppkommer vid normal drift av inkapslingsanläggningen och CLAB. Däremot ger inte djupförvaret och transportererna upphov till några utsläpp till omgivningen, och inte heller ett mellanlager för återtagna kapslar. Utsläppen från inkapslingsanläggningen och CLAB hålls på samma nivå vid ett återtag av bränsle från kapslar som nuvarande lagring i CLAB och inkapsling (se avsnitt 5.2.2 och 5.3.2).

Avfallsproduktion

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

5.6.3 Missödesanalys

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

En anläggning som tillkommer vid ett eventuellt återtag är ett mellanlager för inkapslat bränsle. Mellanlagrets system för luftkyllning är den funktion som principiellt skiljer

drift och hantering vid anläggningen säkerhetsmässigt från andra delar av systemet och därmed också vad gäller störningar/missöden och konsekvenser av sådana.

5.7 Sammanfattande bedömning av säkerhet och strålskydd för systemet

5.7.1 Inledning

De olika delarna som ingår i systemet för hantering och deponering av använt kärnbränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall i ett djupförvar är:

- Mellanlagring i CLAB
- Hantering i inkapslingsanläggningen
- Transporter
- Deponering av bränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall i djupförvaret

Scenarier som skulle kunna bli aktuella och som därför också analyserats med avseende på säkerhet och strålskydd är:

- Långtidslagring i CLAB.
- Återtag av bränsle från djupförvaret.

Hantering i systemet är utformad med inriktning på personalens säkerhet och minimering av dosbelastningen. Utsläpp via luft och vatten till omgivningen ska hållas på en låg nivå, liksom mängden radioaktivt avfall från verksamheterna. Vidare ska risk för aktivitetsfrigörelse och negativ påverkan för omgivning, personal och anläggning minimeras vid störningar och missöden.

Verksamheterna är planerade så att den årliga individdosen till personal inte ska överstiga 5 mSv. Detta säkerställs genom att det använda bränslet antingen hanteras under vatten eller i strålskärmade utrymmen eller behållare, och genom att hanteringen i så stor utsträckning som möjligt sker fjärrstyrt.

Samtliga moment av hanteringen är dimensionerade för att hantering och lagring ska vara säkert underkritiska även vid olika typer av missöden.

5.7.2 Normal drift

Strålskydd och stråldos till personal

Dosbelastningen till personal förväntas för samtliga delar av systemet klart understiga 5 mSv/år. Enligt erfarenheter från CLAB och beräkningar för övriga anläggningar kommer individdoserna att uppgå till ca 1 – 1,5 mSv/år. Den låga dosbelastningen vid normal drift medför att enstaka incidenter och underhåll/reparationer kan leda till märkbart förhöjda kollektivdoser.

Utsläpp från anläggningarna och omgivningspåverkan

Utsläpp av radioaktiva ämnen via vatten och ventilationsluft till omgivningen kommer att ske innan det använda bränslet kapslats in i kopparkapslarna, d v s vid inkapslingsanläggningen och CLAB. Däremot kommer inte bränsle eller långlivat låg- och medelaktivt avfall att förorsaka några utsläpp av radioaktivitet i samband med transporter och deponering i djupförvaret.

Utsläpp av radioaktivitet med ventilationsluften från CLAB och inkapslingsanläggningen är mycket små. Vid CLAB uppgår de till ca en hundratusendel av maximalt tillåtna utsläpp från en kärnteknisk anläggning och utsläppen från inkapslingsanläggningen förväntas bli av samma storleksordning. Vid djupförvaret ger inte hanteringen av kapslar och långlivat låg- och medelaktivt avfall upphov till några utsläpp av radioaktivitet. Däremot kommer radon från berget att avgå med ventilationsluften. Mängderna är beroende av radonhalten på den aktuella platsen för ett djupförvar.

Utsläpp med vatten från CLAB uppgår till några tiotusendelar av vad som maximalt tillåts och samma utsläppsnivåer förväntas också från inkapslingsanläggningen. Vid djupförvaret avgår huvuddelen av det radon som finns i vatten genom avluftning innan det når utsläppsledningen.

Avfallsproduktion

Det radioaktiva avfall som produceras vid CLAB och inkapslingsanläggningen utgörs främst av filter och jonbytarmassor från rening av vatten i bassänger. Avfallet från dessa anläggningar är i huvudsak samma typ av låg- och medelaktivt avfall som vid en kärnkraftanläggning. Avfallet processas och placeras i fat eller kokiller vid CLAB. Vid transporter och drift av djupförvaret produceras inget radioaktivt avfall.

5.7.3 Missöden

Missöden och störningar kan inträffa vid de olika anläggningarna och vid transporter.

Störningar är händelser som kan väntas inträffa under anläggningens eller verksamhetens livstid, om än sällan. De störningar som analyserats för de olika delarna av systemet leder inte till några utsläpp av radioaktivitet till omgivningen. Konsekvenserna för driften varierar från inga alls till kortare eller längre driftavbrott i berörda anläggningar och system.

Missöden är händelser som bedöms vara mycket osannolika. Dessa omfattar bl a en större brand och kraftig mekanisk påverkan på kasset, kapsel eller transportbehållare som kan leda till skador på bränslet. Analyser av missöden i de olika delarna av systemet visar att de största utsläppen av radioaktivitet uppstår vid mekanisk påverkan med bränsleskador som följd, eventuellt i kombination med en långvarig brand. Sådana missöden leder till utsläpp av Kr-85 och vid en brand också av cesium. Konsekvenserna för omgivningen vid en sådan händelse i någon av anläggningarna är stråldoser som

maximalt uppgår till några mikrosievert till kritisk grupp. Arbeten med återställning efter ett missöde kan leda till förhöjda kollektivdoser till personal och till att driften vid den berörda anläggningen störs under kortare eller längre tid. En större brand i djupförvarets underjordsanläggning kan leda till mycket stora svårigheter för personalen. Åtgärder vidtas därför dels för att hålla mängden brännbart material på en låg nivå, dels för att genom sektionering av lokalerna i görligaste mån undvika spridning av brand och brandgaser.

Vid långtidslagring i CLAB (100 år eller mera) kan konsekvenserna bli avsevärda om anläggningen av någon anledning måste överges, t ex vid en krigssituation. Vattnet skulle vid en sådan händelse långsamt avdunsta från bassängerna och radioaktivitet i form av Kr-85 och Cs-137 frigöras och släppas ut till omgivningen i en sådan omfattning att det leder till oacceptabla konsekvenser.

5.7.4 Slutsatser

Systemet för hantering och deponering av använt kärnbränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall är dimensionerat för de stora mängder radioaktivitet som finns i det använda bränslet och den starka strålning som därmed avges. Vid normal drift kommer individdoser till personal att ligga väl under de 5 mSv/år som kärntekniska anläggningar dimensioneras för. Utsläpp via luft och vatten till omgivningarna leder vid normal drift till doser som uppgår till några hundradelar av de av myndigheterna tillåtna utsläppen.

Missöden och störningar kommer inte att leda till oacceptabla stråldoser till omgivningen. Däremot kan förhöjda stråldoser till personal bli följden liksom kortare eller längre driftstörningar vid anläggningarna.

5.8 Referenser

- 5-1 CLAB, Centralt mellanlager för använt bränsle. Slutlig säkerhetsrapport, allmän del.
SKB PM 95-09, Stockholm, februari 1995.
- 5-2 CLAB etapp 2. Preliminär säkerhetsrapport, allmän del.
SKB Projektrapport PR 97-03a, Stockholm, juni 1997.
- 5-3 Söderman E
Kontrollerad långtidslagring i CLAB.
SKB rapport R-98-17, Stockholm, oktober 1997.
- 5-4 Birgersson L, Grundfelt B, Pers K
Konsekvenser av ett övergivet CLAB.
SKB rapport R-98-18, Stockholm, oktober 1997.

- 5-5 Gillin K
Säkerheten vid drift av inkapslingsanläggningen.
SKB rapport R-98-12, Stockholm, september 1998.
- 5-6 Ekendahl A-M, Pettersson S
Säkerheten vid transport av inkapslat bränsle.
SKB rapport R-98-14, Stockholm, september 1998.
- 5-7 Lönnerberg B, Pettersson S
Säkerheten vid drift av djupförvaret.
SKB rapport R-98-13, Stockholm, september 1998.

6 Säkerhet och strålskydd för ett förslutet djupförvar

6.1 Inledning

Systemanalysen ska enligt regeringens yttrande över FUD-program 95 ”...medge en samlad säkerhetsbedömning av hela slutförvarssystemet inklusive hur principer för säkerhet och strålskydd praktiskt tillämpas i säkerhetsanalysarbetet.”/6-1/. I kapitel 5 i denna rapport redovisas hur säkerheten i systemet upprätthålls under hantering, vid såväl normal drift som vid eventuella störningar och missöden.

Analys av den långsiktiga säkerheten för ett djupförvar har tidigare redovisats i KBS-3-rapporten /6-2/ och i SKB 91 /6-3/. SSI och SKI skriver i sina synpunkter på SKB:s redovisning av system för slutförvaring av använt kärnbränsle /6-4/ att SKB har ”aviserat att en lägesrapport för systemanalysen kommer att lämnas i samband med FUD-98. SSI och SKI avser att behandla denna lägesrapport inom ramen för granskningen av FUD-98. En fullständig systemanalys kommer att behöva redovisas inför platsundersökningar och i samband med ansökan om att få lokalisera och bygga en inkapslingsanläggning. ”För närvarande genomförs en säkerhetsanalys, SR 97, som ska publiceras under 1999. Den ska därmed hinna granskas och utvärderas i tid för val av platser för två platsundersökningar.

SR 97, liksom annat material som tas fram inför valet av platser för platsundersökningar, kommer att utgöra ett underlag som kan föranleda en revision av nuvarande systemredovisning. Även i senare skeden finns behov av uppdaterade system- och säkerhetsredovisningar som underlag för viktiga beslut och tillstånd.

6.2 Viktiga säkerhets- och strålskyddsaspekter

6.2.1 Allmänt

Djupförvaret ska i första hand **isolera** avfallet. I andra hand om isoleringen av någon anledning skulle brytas ska förvaret **födröja** transporten av radionuklider. Säkerheten åstadkoms genom den s k flerbarriärprincipen (figur 6-1). Denna princip innebär att förvaret byggs upp av flera barriärer som stöder och kompletterar varandra:

FÖRVARSSYSTEMET

A. BIOSFÄREN

Genom att välja en plats med gynnsamma förhållanden kan stråldosen begränsas.

Utspänningsförhållanden, recipienters förmåga att buffra, lagra eller ackumulera radionuklider samt mark- och vattenanvändning påverkar dosen till människor.

Överföring av radionuklider till människor via recipienter för djupt grundvatten och lokala ekosystem.

B. BERGET

Isolering:

- håller avfallet avskilt från människor
- ger de tekniska barriärerna en stabil miljö

Hålla kvar och fördröja:

- långsamt vattenflöde och därmed långa transporttider
- håller kvar radionuklider genom att fungera som filter och buffert

C. BUFFERTEN AV BENTONITLERA

Isolering:

- tar genom sina reologiska egenskaper upp mekaniska påkänningar
- förhindrar vattenflöde så korrosiva ämnen hindras att nå kapseln
- buffrar den kemiska miljön runt kapseln

Hålla kvar och fördröja:

- hindrar vattenflöde och därmed uttransport av radionuklider
- partiklar och lösta ämnen fångas upp via filtrering och sorption

D. KAPSELN AV KOPPAR OCH GJUTJÄRN

Isolera:

- innesluter helt det använda bränslet
- kopparhöljet gör kapseln tät
- gjutjärnsinsatsen ger mekanisk hållfasthet

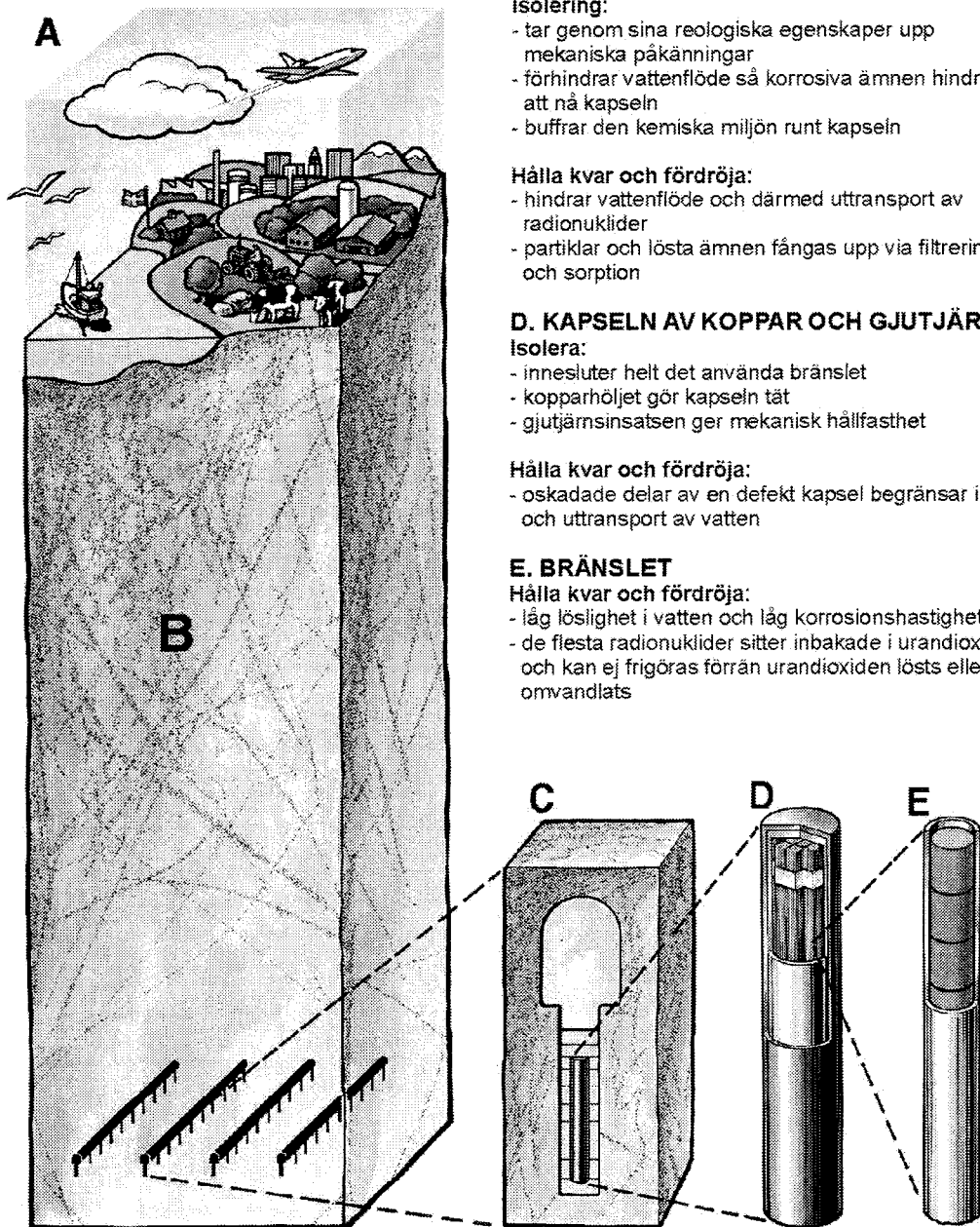
Hålla kvar och fördröja:

- oskadade delar av en defekt kapsel begränsar in- och uttransport av vatten

E. BRÄNSLET

Hålla kvar och fördröja:

- låg löslighet i vatten och låg korrosionshastighet
- de flesta radionuklider sitter inbakade i urandioxiden och kan ej frigöras förrän urandioxiden lösts eller omvandlats



Figur 6-1 Flerbarriärprincipen.

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

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

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

6.2.2 Förvarets primära funktion — isolering

I första hand är djupförvarets funktion att isolera avfallet från människa och miljö. Detta åstadkoms direkt av kopparkapseln. Bufferten bidrar indirekt till isoleringsfunktionen genom att den håller kapseln på plats och hindrar korroderande ämnen att komma in till kapseln.

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

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

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

6.2.3 Förvarets sekundära funktion — fördröjning

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

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

6.3 Långsiktig säkerhet för deponerat använt bränsle

6.3.1 Metoder för säkerhetsanalys

Den långsiktiga säkerheten hos ett djupförvar utvärderas i säkerhetsanalyser. En säkerhetsanalys omfattar en beskrivning av förvarets utseende och struktur efter dess förslutning, olika tänkbara förändringar med tiden samt vilka konsekvenser sådana förändringar kan ha för säkerheten. I analyserna beskrivs både förvarets förväntade utveckling vid normala förhållanden, liksom vad som händer om förutsättningarna för den normala utvecklingen störs.

Beskrivningen av förvarets utseende och struktur vid förslutning omfattar bl a:

- Dimensioner och materialsammansättning hos bränslet och dess innehåll av radionuklider.
- Dimensioner och materialsammansättning hos kopparkapsel och gjutjärnsinsatsen.
- Dimensioner och materialsammansättning hos bufferten.
- Dimensioner för deponeringshål och tunnlar i berget och en beskrivning av bergets spricksystem och grundvattnets sammansättning på förvarsplatsen.

Förändringar hos förvaret kan orsakas av interna processer i förvaret. Dessa kan oftast karaktäriseras som antingen termiska, hydrauliska, mekaniska eller kemiska. Värmeledning i bufferten är ett exempel på en termisk process, vattenmättnadsförloppet i bufferten är en hydraulisk process medan kopparkorrosion är en kemisk process. Processerna är nästan undantagslöst beroende av varandra. Exempelvis leder den energi

som frigörs vid de radioaktiva sönderfallen i bränslet till uppvärmning av bränslet. Genom värmeledning sker en uppvärmning av kapsel, buffert och berg. Uppvärmningen leder bl a till en utvidgning av berget vilket ger upphov till mekaniska spänningar och mindre rörelser i berget.

Förvaret påverkas även av externa processer, t ex klimatförändringar och storskaliga rörelser i berggrunden som kan ge upphov till jordskalv. En annan typ av yttre påverkan kan vara att människan i framtiden avsiktligt eller oavsiktligt tränger in i förvaret eller dess närhet.

Scenarier

I en säkerhetsanalys beskrivs först förvarets förväntade utveckling vid ostörda förhållanden, d v s när alla barriärer tänks vara konstruerade enligt givna specifikationer och när den yttre påverkan på förvaret är ungefär som idag (se vidare avsnitt 6.3.2). Vid beskrivning av de ostörda utvecklingen utvärderas i synnerhet förvarets isolerande funktion, d v s hur länge kopparkapslarna kan förväntas behålla sin isolerande förmåga under dessa förhållanden.

Därefter studeras i detalj ett antal situationer eller scenarier där förvarets normala utveckling på något sätt är störd. Exempel på viktiga scenarier i säkerhetsanalysen är de som behandlar kopparkapslar med tillverkningsfel respektive inverkan av istider på förvarets utveckling.

Scenarierna i en säkerhetsanalys väljs på ett sådant sätt att de tillsammans ska ge en rimlig täckning av vad som skulle kunna inträffa i framtiden och vilka konsekvenserna skulle bli för förvaret. Klimatförändringar och jordskalv hör till sådana scenarier som kan studeras med naturvetenskapliga metoder där naturlagarna sätter gränser för vad som rimligen kan ske. Scenarier som beskriver olika former av mänsklig påverkan är mer svårhanterliga, eftersom förutsägelser om människans framtida agerande förutom rent naturvetenskapliga beräkningar och bedömningar också inbegriper studier av framtida samhällsutveckling och beteendevetande.

Osäkerhet och tilltro till säkerhetsanalysen

Säkerhetsanalysen utgörs av ett antal utvalda scenarier som omsätts till matematiska modeller för beräkning av konsekvenser av eller sannolikhet för olika händelser. Giltigheten av resultaten från säkerhetsanalysen är beroende av hur väl analysen förmår att beskriva verkligheten. Valideringsarbete syftar till att utreda och redovisa säkerhetsanalysernas giltighet. En viktig del av detta är att klarlägga osäkerheterna i säkerhetsanalysen och utvärdera om bilden av förvarets säkerhet är robust och konservativ med avseende på dessa osäkerheter. En annan viktig del av valideringsarbetet är att skapa en tilltro till såväl säkerhetsanalysen som till förvarets utförande och säkerhet. Ett internationellt samarbete kring frågor som rör allmänhetens tilltro till säkerhetsanalysen pågår bl a inom OECD/NEA /6-5/.

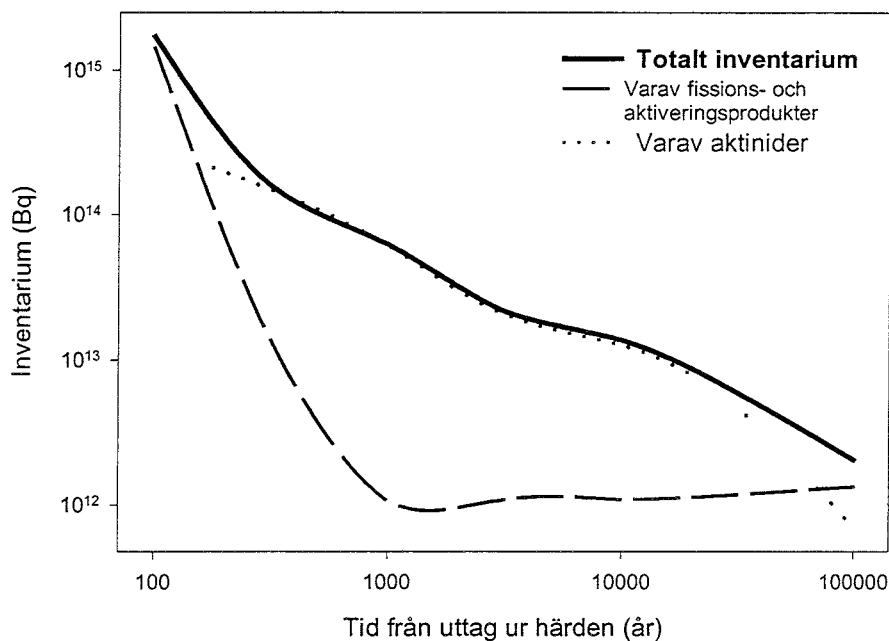
Genom att osäkerhet kan införas i alla steg av säkerhetsanalysen måste granskningen av validitet omfatta hela analysen och i praktiken vara invävd i allt säkerhetsarbete.

6.3.2 Förvarets troliga utveckling

Det använda kärnbränslet placeras i ett djupförvar efter ca 30 års mellanlagring. Radioaktiviteten i bränslet har då avklingat så att någon procent av den aktivitet som fanns strax efter drift i reaktor återstår. Det radioaktiva sönderfallet fortgår sedan så att det använda bränslet efter ca 100 000 år har en radioaktivitet motsvarande den som finns i naturligt uran. Bränslets och de olika barriärernas troliga utveckling har därför studerats av SKB i detta tidsperspektiv /6-6/.

Radioaktiva ämnen

Under de inledande drygt hundra åren i djupförvaret domineras radioaktiviteten i bränslet av fissions- och aktiveringsprodukter (figur 6-2) /6-7/. Av dessa har Sr-90 och Cs-137 stor betydelse för förvarets säkerhet, eftersom de har hög löslighet i vatten och relativt korta transporttider genom bufferten om de skulle frigöras från det inkapslade bränslet. Efter ca 200 år har dock det radioaktiva sönderfallet medfört att endast 1 % av den ursprungliga mängden av dessa två nuklider återstår.



Figur 6-2 Radioaktivitet i ett bränsleelement av typen SVEA 96 efter deponering i djupförvaret.

På längre sikt domineras radioaktiviteten i det använda bränslet av aktinider och deras dotternuklider. Aktiniderna har mycket låg löslighet i vatten och deras transporttider genom bufferten och berget är mycket lång. Å andra sidan har några av aktiniderna mycket långa halveringstider, vilket gör att det är dessa som långsiktigt har störst betydelse för omgivningens säkerhet vid ett djupförvar.

Bränslet

Bränslet består av keramen urandioxid (UO_2), där uran- och syreatomerna är bundna till varandra i ett gitter, den s k bränslematrisen. De flesta radioaktiva ämnen som bildas i bränslet sitter inbakade i bränslematrisen. För att dessa ska kunna spridas krävs att den omgivande urandioxiden först löses upp. Eftersom urandioxid är utomordentligt svår-lösligt i vatten bildar den en barriär för de inbakade radionukliderna. Fördelningen av radionuklider i bränslet påverkar möjligheten till spridning, t ex kan en mindre mängd fissionsprodukter i form av ädelgaser, jod och cesium, ha transporterats ut ur bränslematrisen till mellanrummet som finns mellan bränslet och kapslingsrören av zirkaloy. Jod och cesium transporteras förhållandevis lätt genom buffert och berg och har därför relativt stor betydelse för förvarets säkerhet. Flera fissionsprodukter kan vara ojämnt fördelade och föreligga i olika kemisk form i bränslet vilket kan göra dem mer eller mindre tillgängliga för upplösning och uttransport.

Kapseln

Kapseln, som utgörs av ett 5 cm tjockt kopparhölje med en insats av gjutjärn, förväntas bli intakt under mycket långa tidsperioder. Den kommer dock att utsättas för vissa korrosionsangrepp och mekaniska påfrestningar. Kapseln är utformad för att tåla dessa med en betydande säkerhetsmarginal.

Korrosion av koppar har studerats i flera analogier, bl a koppar i naturligt ren form (nativ koppar) och arkeologiska fynd. Sammanställning av data från ett antal sådana studier ger en korrosionshastighet på 0,000001 - 0,001 mm per år (1 mm på tusen till en miljon år). Under förvarets drift förs syre ner på förvarsdjup vilket leder till korrosion. På lång sikt, efter förvarets förslutning, är det emellertid endast sulfid som påverkar koppars korrosionshastighet, medan övriga tänkbara korrodanter som klorid, sulfat, nitrat eller bakterier inte får någon betydelse. Sulfid finns i buffert och återfyllnads-material och även i små mängder i grundvattnet. Resultat av korrosionsanalyser visar att en allmän korrosion under normala förhållanden inte ska leda till genomfrätning på 100 000 år.

De små mängderna vatten och luft som finns kvar i kapseln efter förslutning orsakar mycket begränsade korrosionsangrepp på den gjutna insatsen i kopparhöljet. Spänningskorrosion kan leda till lokal sprickbildning, men har ingen betydelse för insatsens hållfasthet.

Kapseln utsätts vid placering i djupförvaret för ett yttre tryck från grundvattnet och tryck från buffert och berg. Kapseln tål med god marginal dessa tryck. Vidare tar bufferten upp vatten och sväller efter förslutning av förvaret vilket leder till att ett svälltryck byggs upp. Detta svälltryck kan, vid ogynnsamma förhållanden bli ojämnt fördelat och orsaka snedbelastning på kapseln. Kapseln ska tåla sådan snedbelastning inom rimliga gränser. Att dessa gränser inte överskrids säkerställs genom krav på buffert och inplacering av deponeringshål i berget.

Bufferten

Buffertmaterialet i djupförvaret utgörs av bentonitlera. Leror har låg vattengenomsläpplighet och deras konsistens förändras med vatteninnehållet. Fuktiga leror är formbara, dvs de har plastisk konsistens. Bentonitlera har god svällförmåga vid tillförsel av vatten och är praktiskt taget vattentät.

Efter förslutning av förvaret stängs förvarstunnlarna och förvarsområdet återfylls med grundvatten. Vatten tränger in i deponeringshålen och tas upp av buffertens bentonitlera. Bentoniten sväller varvid utrymmet mellan kapsel och berg fylls. Hela vattenmättnadsförloppet beräknas ta tiotals år.

Naturliga förekomster av bentonitlera ger exempel på att denna är beständig över mycket långa tidsperioder. Två viktiga processer som kan påverka bentonitlerans egenskaper är illitisering och cementering. Illitisering innebär att leran omvandlas så att illiter med avsevärt sämre egenskaper vad gäller t ex svällning bildas. Studier har visat att en illitisering kräver temperaturer på minst 150 °C och tillgång på kalium. Detta har lett till slutsatsen att illitisering inte utgör något hot mot buffertens beständighet. En viss illitisering kan dock inte uteslutas under de förhållanden som råder i djupförvaret. Processen är dock så långsam att maximalt några procent av leran omvandlas till illit på 100 000 år.

Cementering är samlingsnamn på ett antal olika processer som leder till att bentonitens svällförmåga försämras och att den blir sprödare och mindre plastisk. Om en cementerad bentonit utsätts för mekaniska påfrestningar kan sprickor uppstå där vatten och kolloider kan passera. Buffertens sammansättning av mineraler kan dock väljas på ett sådant sätt att sådana sprickor självläker. Studier av naturliga analogier visar att bentonitlerans buffertegenskaper består under mycket lång tid även under svåra kemiska förhållanden.

Berget

Det svenska urberget består av bergarter som är 900 miljoner till 3 miljarder år gamla. Bergets stabilitet bygger på dess mekaniska, kemiska och hydrologiska egenskaper. Urberget består av massiva delar och ett spricksystem. Spricksystemet är viktigt för bergets mekaniska och hydrologiska egenskaper, medan dess kemiska egenskaper beror av grundvattenkemin och mineralogin. Grundvatten finns i bergets mikroporer och spricksystem. I mikroporerna magasineras största delen av vattenvolymen, medan huvuddelen av grundvattenrörelserna sker i spricksystemen. Viktiga kemiska komponenter i grundvattnet är: löst syre, salt och organiskt material.

I samband med byggandet av förvaret uppstår lokala förändringar av berget. Vattengenomsläppligheten ökar i en zon runt tunnlar, schakt och deponeringshål. För att undvika ett ökat vattenflöde längs tunnlar täts vattenförande sprickzoner. Förvaret placeras också in i berget så att påverkan blir så liten som möjligt. Vid förslutning av förvaret återfylls tunnlar och schakt.

Det använda bränslet avger fortfarande värme när det placeras i förvaret och förhöjda temperaturer kommer att råda i förvaret i tusentals år. För att undvika uttorkningsfenomen arrangeras kapslar och tunnlar så att temperaturen inte ska överstiga 100 °C vid någon kapselposition. Värmeavgivningen påverkar berget lokalt när det gäller sprickor och grundvattenflöden, men påverkar inte bergets funktion eller grundvattenflödet i stort.

Biosfären

Biosfären är den del av jorden där det förekommer biologiskt liv. Förändringarna i biosfären är stora och snabba i förhållande till de förlopp som sker i djupförvaret. Ett eventuellt läckage av radionuklider från ett djupförvar till en recipient i biosfären kan leda till att människan utsätts för strålning genom yttre exponering, inandning av radionuklider eller intag av kontaminerad föda eller dricksvatten. Hur stor stråldosen till människa blir beror dels på hur exponeringen sker, dels på hur radionuklider transporteras och omsätts i biosfären på väg fram till exponeringsplatsen.

6.3.3 Säkerhetsanalyser

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

Tidigare säkerhetsanalyser

KBS-3

I KBS-3-rapporten presenterades en säkerhetsanalys för det planerade slutförvarets långsiktiga säkerhet /6-2/. Slutsatserna från studien var att använt kärnbränsle från de svenska kärnkraftverken kan hanteras och slutförvaras på ett sätt, som tillgodoser mycket högt ställda krav på säkerhet och strålskydd. Vidare konstaterades i rapporten att hanteringen och slutförvaringen kan genomföras med känd och i Sverige tillgänglig teknik och att berggrunden i Sverige på flera ställen har den beskaffenhet som krävs för ett säkert slutförvar.

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

SKB 91

Syftet med SKB 91 var främst att belysa berggrundens betydelse för säkerheten hos ett djupförvar /6-3/. Slutsatsen från analysen var att ett förvar anlagt djupt ner i svenskt urberg och med långtidsstabila tekniska barriärer med god marginal uppfyllde de av myndigheterna föreslagna säkerhetskraven. Säkerhetsanalysen visar också att säkerheten hos förvaret endast i mindre utsträckning är beroende av det omgivande bergets förmåga att fördröja och sorbera utläckande radioaktiva ämnen. Bergets funktion är i första hand att under lång tid ge stabila mekaniska och kemiska förhållanden så att de tekniska barriärernas långtidsfunktion inte äventyras.

Pågående säkerhetsanalys

Den nu pågående säkerhetsanalysen, SR 97, baseras på den i kapitel 4 redovisade utformningen av djupförvaret och på platsdata från tre olika platser där SKB tidigare gjort geovetenskapliga undersökningar. Analysen syftar till att ge en förståelse för säkerhetsfrågorna och demonstrera tillgängliga metoder, dataunderlag och modeller inför valet av två platser för platsundersökningar.

SR 97 kommer att innehålla ett antal nya inslag jämfört med tidigare säkerhetsanalyser som t ex:

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

Flera av dessa områden kommer att utvärderas och vidareutvecklas även efter rapporteringen av SR 97.

Säkerhetsanalysen och den metodik och andra verktyg som använts för att genomföra den kommer att utvärderas både internt på SKB och av internationella experter.

Kommande säkerhetsanalyser

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

- Inför val av en plats för detaljerade geovetenskapliga undersökningar när stora platsspecifika datamängder finns tillgängliga från yt- och borrhålsundersökningar.

- Inför den inledande driften när data finns från de geovetenskapliga undersökningarna från schakt och tunnlar samt från faktiska deponeringspositioner.
- Inför den reguljära driften när data finns om faktiska bränslemängder och de tekniska barriärerna i varje deponeringshål och det finns erfarenhet från den inledande driften.
- Inför förslutning av förvaret när en full datauppsättning om avfallet, återfyllnad och deponeringshål finns tillgänglig.

På motsvarande sätt kommer säkerhetsrapporterna för driftskedet av olika anläggningar och verksamheter att revideras i takt med layout- och konstruktionsarbetet.

6.3.4 Slutsatser

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

Lokaliseringsprocessen (se avsnitt 9.4.2) ger efter hand tillgång till allt fler plats-specifika data som kan användas i säkerhetsanalysen och utgöra ett underlag för SKB:s bedömning av olika platsers lämplighet för lokalisering av ett djupförvar. Säkerhetsanalysen kommer därmed att utgöra ett viktigt beslutsunderlag för SKB och, i samband med tillståndsprövning, för myndigheterna vid lokalisering av djupförvaret till en bestämd plats.

6.4 Långsiktig säkerhet för deponerat långlivat låg- och medelaktivt avfall

6.4.1 Metoder för säkerhetsanalys

Säkerhetsanalysen för deponerat långlivat låg- och medelaktivt avfall skiljer sig inte principiellt från säkerhetsanalysen för deponerat bränsle vad gäller syfte eller metodik. Valideringen av säkerhetsanalysen för deponerat långlivat låg- och medelaktivt avfall görs också på samma sätt som den för deponerat bränsle.

6.4.2 Förvarets troliga utveckling

Långlivat låg- och medelaktivt avfall ska enligt nuvarande planer förvaras i ett separat deponeringsområde i djupförvaret med en utformning enligt beskrivningen i avsnitt 4.7. Innan avfallet deponeras har det placerats i avfallsbehållare av stål och/eller betong. Avfallsbehållarnas funktion är att skydda omgivningen från spridning av radionuklider

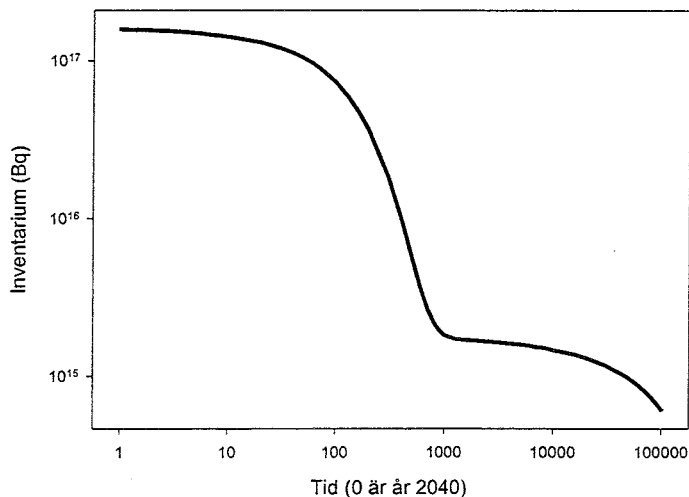
och att utgöra strålskärning vid hantering och lagring av avfallet. Däremot förutsätts inte behållarna ha någon långsiktigt isolerande funktion i förvaret efter dess förslutning.

Deponeringsområdet för långlivat låg- och medelaktivt avfall innehåller stora mängder betong i konstruktionsmaterial, avfallsbehållare och avfall. Betongen utgör en viktig barriär för fördröjning av radionuklidernas migration eftersom dess sorptionsegenskaper är mycket goda. Efter förslutning av förvaret kommer en urlakning av betongen att äga rum med det grundvatten som strömmar genom förvaret. Urlakningen leder till att vattnet i förvaret blir mycket alkaliskt med ett pH mellan 12 och 13,5. Studier som har gjorts /6-8/ visar att urlakningsprocessen är mycket långsam och att betongen därför kommer att bibehålla sina egenskaper vad gäller påverkan på grundvattenkemi och sorption av radionuklider under en väsentligt längre period än 100 000 år.

Deponeringsområdet för långlivat låg- och medelaktivt avfall är konstruerat som en hydraulisk bur, vilket innebär att huvuddelen av grundvattnet leds runt bergsalarna med avfall medan endast en mindre del av grundvattenströmmarna passerar avfallet. Detta åstadkoms genom förvarets konstruktion och genom återfyllnaden med bergkross efter avslutad deponering. Funktionen förväntas kvarstå under minst 100 000 år och leda till en fördröjning av transporten av radionuklider från förvaret. Det är också viktigt att denna förvarsdel inte placeras så att grundvattenförhållandena i förvaret för använt kärnbränsle påverkas.

En stor del av radioaktiviteten i avfallet utgörs av inducerad aktivitet som binds i metall (figur 6-3). Spridning av dessa nuklider förutsätter en upplösning av metallen i förvaret. Korrosionshastigheten för metall har i en förstudie om förvarets långsiktiga säkerhet /6-8/ beräknats till 1 µm per år för stål och 0,01 µm per år för zirkaloy.

Totalt inventarium i SFL 3-5



Figur 6-3 Radioaktivitet i långlivat låg- och medelaktivt avfall.

6.4.3 Säkerhetsanalyser

I en förstudie har ett referensscenario formulerats för att utvärdera förvarets långsiktiga säkerhet både med avseende på dess innehåll av radionuklider och på dess innehåll av

toxiska och komplexbildande ämnen /6-8/. De grundläggande förutsättningarna i detta scenario är följande:

- Förvaret är förslutet.
- Barriärerna fungerar som förväntat.
- Berggrundens egenskaper avseende hydrologi, grundvattenkemi, bergmekanik och termiska förhållanden speglar ett genomsnitt av den svenska berggrunden och antas inte genomgå någon förändring med tiden.

Referensscenariot har utgjort en grund för beräkningar av radionukliderna och kemotoxiska ämnens spridning från avfallsbehållarna och vidare ut genom barriärerna och närområdet i berget. Eftersom transporten på större avstånd i berggrunden liksom omsättningen av ämnen i biosfären inte inkluderats ska analysen enbart ses som en studie av de närliggande barriärernas funktion.

För närvarande pågår en studie om utformning och långsiktig säkerhet för förvaret för långlivat låg- och medelaktivt avfall. SKB planerar att redovisa den studien i anslutning till SR 97 under år 1999.

6.4.4 Slutsatser

Säkerhetsanalysen för deponerat långlivat låg- och medelaktivt avfall har hittills utgjorts av en preliminär studie av de närliggande barriärernas funktion. Ett viktigt syfte med analysen har varit att få en första karakterisering av avfallet och dess radiologiska och kemotoxiska egenskaper. Ytterligare analyser som ger en mer detaljerad beskrivning av processer i närområdet och som även inkluderar fjärrområdet kommer att genomföras för att säkerställa att förvaret som helhet uppfyller de ställda kraven.

6.5 Faktorer vid anläggningarnas drift som kan påverka den långsiktiga säkerheten

6.5.1 Tillverkning, hantering och förslutning av kapsel

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

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

tillåter. Dessa kriterier kan senare komma att justeras med hänsyn till förvarets slutliga utformning.

För att uppfylla de ovan ställda kraven utarbetas konstruktionsförutsättningar för tillverkning och hantering av kapslar. Dessa förutsättningar innebär bl a att:

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

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

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

6.5.2 Kvalitetssäkring i deponeringsskedet

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

Vid Äspölaboratoriet ska ett prototypförvar med sex fullstora kapslar byggas. Ett led i det arbetet är upprättandet av en plan för kvalitetssäkring av experimentet. Detta kommer, tillsammans med SKB:s generella kvalitetssystem, att utgöra en grund för det kommande kvalitetsarbetet vid driften av djupförvaret.

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

Uppskattningar har gjorts över vilka ämnen som kan förekomma i detta sammanhang och kvantiteterna av dessa. Sådana ämnen som kan ha en negativ påverkan på den långsiktiga säkerheten kan begränsas antingen genom förebyggande åtgärder mot spill,

eller genom ett val av annan teknik som begränsar mängderna dessa ämnen på ett sådant sätt att den långsiktiga säkerheten upprätthålls. Arbete pågår för närvarande med att identifiera, kvantifiera och analysera konsekvenserna av främmande material från förvaret och att vid behov planera för åtgärder som reducerar eller helt eliminerar icke önskvärda material.

6.5.3 Slutsatser

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

SKB har ett fungerande kvalitetssystem för de verksamheter som idag bedrivs inom företaget. Dessa kommer, tillsammans med bl a erfarenheter från experiment vid Äspölaboratoriet, att ligga till grund för ett detaljerat program för kvalitetssäkring och kontroll av verksamheten. Spårbarhet av dokumentation och en diskussion om under hur lång framtid dokumentationen ska finnas tillgänglig utgör en viktig del av detta arbete /6-9/.

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

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

6.6 Referenser

- 6-1 Program för forskning m m angående kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring.
Miljödepartementet - Regeringsbeslut 25. Stockholm, 1996-12-19.
- 6-2 Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle – KBS-3. Del IV.
SKBF/KBS, Stockholm, maj 1983.

- 6-3 SKB 91. Slutlig förvaring av använt kärnbränsle. Berggrundens betydelse för säkerheten.
SKB, Stockholm, maj 1992.
- 6-4 SKIs och SSIs synpunkter på SKBs kommande redovisning av system för slutförvaring av använt kärnbränsle.
SSI Dnr 6220/1994/97. SKI Dnr 5.8 971083
- 6-5 Systematic Approaches to Scenario Development.
A report of the NEA Working Group on the Identification and Selection of Scenarios for Performance Assessment of Radioactive Waste Disposal.
OECD/NEA, Paris, 1992.
- 6-6 Morén L
Använt kärnbränsle – Djupförvarets funktion och utveckling.
SKB rapport R-97-21, Stockholm, december 1997.
- 6-7 Hedin A
Använt kärnbränsle – Hur farligt är det? En delrapport från projektet ”Beskrivning av risk”.
SKB rapport R-97-02, Stockholm, mars 1997.
- 6-8 Wiborgh M (ed)
Prestudy of Final Disposal of Long-lived Low and Intermediate Level Waste.
SKB Technical Report TR 95-03, Stockholm, January 1995.
- 6-9 Eng T, Norberg E, Torbacke J, Jensen M
Information, Conservation and Retrieval.
SKB Technical Report TR 96-18, Stockholm, December 1996.

7 Safeguards vid inkapsling och deponering av använt kärnbränsle

7.1 Övergripande krav

Icke-spridningsavtalet

I det s k Icke-spridningsavtalet för kärnvapen (Nuclear Non-Proliferation Treaty, NPT) /7-1/ åtar sig de stater som inte har kärnvapen att inte heller utveckla sådana. De åtar sig vidare att acceptera internationell kontroll av allt material som kan användas för kärnvapentillverkning. Detta kontrollsystem för kärnämnen, som administreras av IAEA (International Atomic Energy Agency), kallas på engelska för safeguards. För enkelhetens skull används den engelska beteckningen ofta även på svenska, vilket är fallet i denna rapport. NPT trädde i kraft 1970, och förlängdes efter omprövning 1995 på obestämd tid. Över 140 medlemsstater har accepterat IAEA safeguards för sina kärnämnen.

Varje land som skrivit på Icke-spridningsavtalet har tecknat en överenskommelse med IAEA om hur kontrollen ska genomföras i landet och vilken rapportering som ska lämnas till IAEA. Sedan Sveriges inträde i EU omfattas Sverige av Euratom-avtalet, som bland annat klargör att EU är avtalspart mot IAEA vad gäller material i Sverige. Euratom bedriver därför också en egen inspektionsverksamhet gentemot de olika anläggningarna i medlemsländerna. Innan Sveriges inträde i EU hanterade SKI denna kontrollverksamhet. SKI har dock alltjämt ansvar att följa upp verksamheten för att förvissa sig om att Sverige lever upp till de åtaganden som gjorts i bilaterala avtal mellan Sverige och vissa länder som levererat kärnbränsle till Sverige.

Krav på safeguards

Safeguardssystemet syftar till att i tid upptäcka om ett land försöker avleda material för att kunna tillverka kärnvapen. Kontrollen omfattar bland annat uran, plutonium och torium, som är material som potentiellt skulle kunna användas till kärnvapen.

Använt kärnbränsle innehåller uran och plutonium och står således under safeguardskontroll. För att kunna avföra material från safeguardskontroll krävs att det har förbrukats, att det har späts ut så mycket att det inte längre är användbart, eller att det har blivit praktiskt taget omöjligt att återta ("practically irrecoverable"). Till kategorin utspätt kan till exempel räknas de små mängder av uran och plutonium som finns i avfall från olika steg i kärnbränslecykeln. IAEA har kommit fram till att inkapslat och deponerat kärnbränsle kan återtas även om det kräver mycket stora insatser. I det utkast till policy för safeguards för använt bränsle i djupförvar som diskuteras inom IAEA anges därför att safeguards ska upprätthållas även efter att förvaret har återfyllts och förslutits. Kontrollen ska vidmakthållas så länge safeguardskontroll sker på andra områden och ska ge en trovärdig garanti för att material inte har avletts.

Safeguardskontrollen syftar således till att IAEA **i tid ska upptäcka** om material avleds. Systemet ska därför byggas upp så att man inom en viss tid **och med hög sannolikhet** upptäcker om en viss kvantitet avletts. Då olika material är olika lättillgängliga för att användas till kärnvapen anges för varje typ av material en minsta kvantitet, som ska upptäckas (Significant quantity) och en längsta tid inom vilken upptäckten ska ske (Timeliness goal). För t ex plutonium som hanteras separerat i en MOX-bränslefabrik är "timeliness goal" mycket kortare än för använt bränsle som kräver upparbetning innan material för kärnvapen kan utvinnas. För lagrat använt kärnbränsle är "timeliness goal" tre månader. För inkapslat använt kärnbränsle i ett förslutet förvar har längre tider diskuterats. Orsaken är, som nämnts ovan, att eventuellt återtag av material från slutförvar är en både tids- och resurskrävande process.

Metoder för safeguards

Safeguardskontrollen upprätthålls dels genom att innehav av klyvbart material regelbundet rapporteras till IAEA, dels genom att innehållet verifieras genom regelbundna inspektioner. Verifikationen kan ske genom inventarietroll, eller genom icke-förstörande mätningar på utvalda enheter, t ex bränsleelement. En annan viktig komponent i kontrollsystemet är att IAEA har god kännedom om hur anläggningarna är utformade ("Design Information Verification", DIV), samt att övervakningsutrustning finns installerad på lämpliga ställen ("Containment and Surveillance", C/S).

Vid utformningen av safeguardssystemet söker man uppnå en balans mellan kraven på övervakning och möjligheterna att verifiera inventariet. Sålunda krävs ingen övervakning vid transporter till CLAB, eftersom det är möjligt att genom mätningar fastställa innehållet av klyvbbara ämnen i bränslet i CLAB. Efter inkapsling av bränslet blir det avsevärt svårare att åter mäta hur mycket klyvbart material som finns i kapseln. Här ökar således kraven på övervakning, så att man är säker på att man har en kontinuerlig kunskap om materialet och att övervakningen inte bryts under någon längre tid. Det kan ske genom TV-kameror, strålningsmätare, larm etc och genom att sätta sigill på transportbehållarna. Kraven på övervakning kan kompenseras genom att ha en unik märkning av kapseln, som kan verifieras på nytt, och som skulle ha förstörts om kapseln öppnats. Det formella kravet på safeguardskontroll av material som inte kan reverifieras är att det ska övervakas med dubbla, av varandra oberoende, system ("Dual C/S"), som bygger på olika fysikaliska principer.

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

Förstärkt Safeguardssystem

I syfte att öka effektiviteten i IAEA:s safeguardsarbete pågår sedan några år ett program att införa ett Förstärkt Safeguardssystem ("Strengthened Safeguards System"). Detta bygger på att man ska kunna använda andra metoder än konventionella inventariekontroller och övervakning för att bedöma risken för att kärnämnen kommer till otillbörlig användning. I första hand syftar arbetet till att ge ett bra underlag för att bedöma om någon upparbetning, som inte har angivits, förekommer.

De metoder som används inom Förstärkt Safeguards innefattar dels en omfattande rapportering från medlemsländerna om verksamheter som kan ha bäring på safeguards, dels andra kontrollåtgärder. Exempel på sådana åtgärder är fjärrstyrd övervakning, provtagning i naturen, analys av satellitbilder, oannonserade slumpvisa inspektioner, och tillgång till extra information och ökat tillträde till anläggningar.

Kan man på detta sätt förvissa sig om att det inte försiggår någon upparbetning i landet, som inte är tidigare känd, kan man troligen ge avkall på omfattningen av traditionella safeguardskontroller vid mellanlager, inkapslingsanläggningar och djupförvar. Detta kommer inte minst att ha bäring på behovet av direkt kontroll av ett förslutet djupförvar.

Koppling säkerhet — safeguards

Huvudsyftet med djupförvaring av använt kärnbränsle är att skydda människor och miljö från de risker som är förknippade med de radioaktiva ämnena i bränslet. Detta ska ske utan behov av aktiva åtgärder från människor i framtiden. Säkerheten ska således bygga på att bränslet omges av en serie passiva säkerhetsbarriärer. Man kan därvid inte acceptera några åtgärder efter förslutning av förvaret som skulle kunna reducera det skydd förvaret ger. Vid utformningen av systemet för safeguardskontroll av ett förslutet djupförvar ska hänsyn tas till detta.

Safeguardskontrollen bedöms kunna genomföras utan att det ger en negativ inverkan på säkerheten /7-2/. Det primära villkoret är att utformningen av safeguardsprocedurer måste beakta säkerheten i det isolerande systemet. Integriteten får inte äventyras genom övervakningsåtgärder och kontroll som kan skada barriärerna efter förslutning av förvaret.

Kvalitetssäkring

Eftersom bränslet inte kan verifieras på nytt efter att det har placerats i förvaret är det särskilt angeläget att upprätthålla en kontinuerlig kunskap från den slutliga verifieringen av materialet fram till deponering i slutförvaret. Ett fungerande kvalitetssäkringssystem är därför viktigt, t ex i linje med internationella standarder såsom ISO 9000-serien.

7.2 Pågående arbete inom IAEA och Euratom

Inom IAEA har frågor i anslutning till safeguards för djupförvar för radioaktivt avfall och använt bränsle diskuterats sedan slutet av 1980-talet. Ett första rådgivande möte hölls 1988 /7-3/, varvid det konstaterades:

- Att kärnämnen i det mesta avfallet (utöver använt bränsle) som erhålls under normal drift av kärntekniska anläggningar kan beskrivas som praktiskt taget oåtertagbart, och att IAEA borde ta fram kriterier för när man ska kunna avsluta safeguardskontrollen av detta material.
- Att använt bränsle inte kan betraktas som praktiskt taget oåtertagbart och att safeguardskontrollen på det därför skulle bestå.

Beträffande kärnämnen i avfall föreligger nu ett förslag till kriterier för hur och när safeguardskontrollen kan avslutas.

För använt bränsle har arbetet med att definiera safeguardssystemet fortsatt. Konsultmöten arrangerades 1991 och 1995 /7-4, 7-5/, och ett nytt möte med en rådgivande grupp hölls i december 1997 /7-6/. Parallellt har en omfattande och detaljerad teknisk studie genomförts av hur safeguards för djupförvarssystemet kan utformas. Denna studie som benämns SAGOR /7-7/ har genomförts inom IAEA:s stödprogram med deltagare från flera länder. Resultatet från SAGOR kommer att slutrapporteras under 1998. Dessutom har IAEA tillsammans med Tyskland genomfört en separat studie.

Forskning och utveckling

Inom SAGOR har ett antal viktiga områden för forskning och utveckling identifierats, däribland sådana som berör instrumentering, monitorer, möjligheter att göra icke-förstörande provning av kapslar, geofysiska metoder, samt olika verifieringsmetoder. Kraven innebär i några fall att ny teknologi utvecklas. Forskning och utveckling bedrivs också för att förbättra effektiviteten och tillförlitligheten hos safeguardssystemet, och koordineras så att det ligger i takt med utvecklingen av slutförvar. Vissa resultat krävs först på lång sikt, medan andra krävs redan i konstruktionsfasen.

Sammanfattningsvis har man i detta arbete konstaterat att:

- Mängden klyvbart material i ett djupförvar kommer att vara stor.
- Svårigheten att komma åt detta inventarium för kontroll leder till några för safeguards unika frågeställningar.
- Existerande metoder för safeguards, inklusive de som hänger ihop med det Förstärkta Safeguardssystemet, är tillämpbara för många av aktiviteterna i samband med djupförvaring av använt bränsle. Det gäller speciellt i samband med inkapsling.
- Dessa metoder kan också anpassas så att de kan ta hand om de unika förhållandena för djupförvar. Viss forskning och utveckling krävs för att optimera safeguardssystemet för de relevanta anläggningarna.

Även inom Euratom pågår arbete för att definiera safeguardssystemet för djupförvaring. Detta arbete görs inom en arbetsgrupp, ESARDA Working Group on the Back-end of the Fuel Cycle.

7.3 Principiell utformning av safeguardskontroll för slutförvarssystemet

Ur safeguardssynpunkt karakteriseras det svenska systemet för hantering och djupförvaring av använt kärnbränsle av att den minsta enhet som kan kontrolleras stegvis förändras.

- Vid transport till och mellanlagring i CLAB och vid överföring till inkapsling hanteras bränsleelementen som enheter. Under denna tid kan varje element identifieras och det är i princip möjligt att detektera om några stavar saknas, samt att bestämma innehållet av klyvbart material i bränslet.
- Efter inkapsling är kapseln redovisningsenhet. Från denna tidpunkt är det mycket svårt att mäta om det saknas stavar i bränslet, samt att fastställa det klyvbara innehållet. Däremot bör det vara möjligt att använda strålningen från det inkapslade bränslet som ett "fingeravtryck" för kapseln, som senare kan identifieras. Även möjligheten att använda locksvetsen i kapseln som "fingeravtryck" har diskuterats /7-8/.
- När kapseln har förts ned och deponerats i djupförvaret försvinner i praktiken möjligheten att identifiera den eller att verifiera dess innehåll. Från denna tidpunkt kan redovisningsenheten ses som hela djupförvaret.

Med denna bakgrund kan följande principiella uppbyggnad av safeguardssystemet förutses:

Dokumentation

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

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

Mätningar

Safeguardskontrollerna i CLAB fortsätter som tidigare med regelbundna inventeringar.

Så sent som möjligt innan bränslet placeras i en kapsel görs en verifierande mätning av bränsleelementen. Denna syftar till att visa att signifikanta kvantiteter av bränsle inte har avletts. Ifall man kan ge en trovärdig försäkran om att bränslet inte har demonterats

sedan det togs ur reaktorn bör det räcka med en grov mätning, t ex av neutroner och gammastrålning någonstans utefter bränslets längd. Denna mätning görs lämpligen i inkapslingsanläggningen i samband med att bränslet sätts ner i kapseln eller i samband med att bränsle lastas om i hanteringsbassängen. Om bränslet har demonterats kan en noggrannare mätning krävas för att verifiera att endast uppgivet antal stavar har tagits bort.

Övervakning

Efter att denna mätning gjorts krävs det att kontinuiteten bevaras beträffande kunskapen om vad som händer med bränslet eller kapslarna. Detta sker genom att all hantering övervakas med TV-kameror, samt att förflyttningar övervakas med t ex strålningsmätare. Vidare monteras övervakningsutrustning på alla troliga vägar som man skulle kunna ta ut bränsle ur anläggningen.

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

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

Märkning

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

Verifiering av anläggningens utformning

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

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

Övervakning av ett förslutet djupförvar

Under driften av djupförvaret är kontrollen av flödet till och från anläggningen, samt möjligheten att verifiera anläggningens utformning de viktigaste komponenterna i safeguardssystemet. Efter att djupförvaret har förslutits sker övervakningen i första hand

från ytan eller från luften. Detta kan ske genom satellit eller flygfotografering, geofysiska metoder och genom besök på platsen av inspektörer från tid till annan.

Safeguards vid återtag av deponerat bränsle

Ett eventuellt återtag av deponerat bränsle efter det första demonstrationssteget ställer vissa nya krav på safeguardssystemet. Främst gäller det möjligheten att åter otvetydigt kunna fastställa identiteten på de kapslar som tas upp. I övrigt bör samma principer kunna tillämpas vid återtag, transport och mellanlagring, som gäller vid deponering.

7.4 Sammanfattning

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

Safeguardskontrollen upprätthålls dels genom att allt innehav av klyvbart material regelbundet rapporteras till IAEA, dels genom att innehållet verifieras genom regelbundna inspektioner. En annan viktig komponent i kontrollsystemet är att IAEA har god kännedom om anläggningarna samt att övervakningsutrustning finns installerad på lämpliga ställen.

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

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

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

7.5 Referenser

- 7-1 Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons.
INFCIRC/140, IAEA, Vienna, 22 April 1970.
- 7-2 Model Protocol Additional to the Agreement(s) Between State(s) and the International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguards.
INFCIRC/540, IAEA, Vienna, September 1997.
- 7-3 Advisory Group Meeting on Safeguards Related to Final Disposal of Nuclear Material in Waste and Spent Fuel (AGM-660).
STR-243 (Revised), IAEA, Vienna, December 1988.
- 7-4 Consultants Report on Safeguards for Final Disposal of Spent Fuel in Geological Repositories.
STR-274, IAEA, Vienna, August 1991.
- 7-5 Report of the Consultants Group Meeting for the Direct Final Disposal of Spent Fuel in Geological Repositories.
STR-305, IAEA, Vienna, November 1995.
- 7-6 Report of the Advisory Group Meeting on Safeguards for Final Disposal of Spent Fuel in Geological Repositories (AGM-995).
STR-(to be defined), IAEA, Vienna, December 1997.
- 7-7 Safeguards for Final Disposal of Spent Fuel in Geological Repositories (SAGOR).
IAEA Member State Support Programme, 1995 -1998
- 7-8 Rudolf K, Noll R, Richter B
Verification of Pollux Cask Seals by Laser Techniques.
JOPAG/05.97-PRG-277, Forschungszentrum Jülich, Germany, May 1997.

8 Andra miljökonsekvenser i olika steg i systemet

8.1 Icke radiologisk miljöpåverkan från KBS-3-systemet

8.1.1 Inledning

De olika delarna av KBS-3-systemet ger, förutom de radiologiska aspekterna på hanteringen, också upphov till en icke radiologisk miljöpåverkan och förbrukning av naturresurser under byggande och drift av de olika anläggningarna och vid transporter, vilket beskrivs mycket kortfattat i detta kapitel /8-1/.

Miljökonsekvenserna på grund av uppförande och drift av de olika anläggningarna i systemet beror på lokala förhållanden och på vilka hänsynskrävande arter och objekt som finns i det aktuella området. CLAB är förlagt till Simpevarpshalvön vid Oskarshamns kärnkraftverk och inkapslingsanläggningen är enligt huvudalternativet planerat till samma område. Djupförvarets lokalisering är däremot en öppen fråga. Markbehov och generell miljöpåverkan från såväl djupförvaret som eventuell utbyggnad av infrastrukturen i anslutning till det är faktorer som beaktas vid val av lämplig plats för ett djupförvar (se vidare avsnitt 9.3.1). Den miljöpåverkan som ett djupförvar kan ge upphov till utreds också i de förstudier som genomförts och pågår i olika kommuner /8-2 – 8-5/.

8.1.2 Markanvändning och landskapsbild

De anläggningar inom systemet som ligger ovan jord ger en påverkan på landskapsbilden och markanvändningen vid den aktuella anläggningen. Detta gäller CLAB:s ovanjordsanläggning, kapselabrik, inkapslingsanläggningen och djupförvarets ovanjordsanläggning. CLAB ligger vid Oskarshamns kärnkraftverk på Simpevarpshalvön, dit inkapslingsanläggningen enligt huvudalternativet också planeras. Kapselabriken lokaliseras troligen till ett befintligt industriområde. Detta gör att samtliga dessa anläggningar lokaliseras till områden med befintlig industriell verksamhet och därför ger en liten påverkan på markanvändning och landskapsbild.

När det gäller djupförvaret är dess lokalisering inte känd. Totalt beräknas arealbehovet uppgå till ca 0,3 km² inkluderande upplag för bergmassor som beräknas uppta ca hälften av denna yta. Djupförvaret kan också medföra ett behov av nyanlagda vägar och/eller järnvägar där nya markområden tas i anspråk.

8.1.3 Luft och vatten

Brytning och förädling av koppar till kapslarna är sannolikt den verksamhet i samband med djupförvarssystemet som förorsakar den största miljöpåverkan i form av utsläpp till

vatten och luft. I kapselfabriken sker endast en slutbearbetning av metaller, vilket gör att utsläpp till vatten och luft blir små från denna anläggning.

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

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

Vid CLAB och i högre grad vid djupförvaret sker en lokal avsänkning av grundvatten under byggande och drift av anläggningarna. Avsänkningen vid CLAB påverkar inte närliggande fastigheter. Avsänkningen vid djupförvaret kan medföra att vattentillgången i brunnar på någon eller några kilometers avstånd från förvaret påverkas. Inom ett mindre område kring djupförvaret kan vatteninnehållet i ovanliggande jordar, och därmed känslig växtlighet, komma att påverkas.

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

8.1.4 Förbrukning av naturresurser

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

Bentonitlera och eventuellt också kvartssand kommer till användning som återfyllnads-material vid djupförvaret (se avsnitt 10.6.4). Ca 15 000 ton bentonitlera förbrukas per år under djupförvarets reguljära drift. Denna kan importeras från bland annat medelhavsområdet och USA. Kwartssand utgör inte något huvudalternativ som återfyllnads-material, men kan vid behov hämtas från t ex södra Östersjön.

8.1.5 Annan miljöpåverkan

Buller uppkommer från anläggningarnas ventilationssystem. Ljuddämpning används för att minimera ljudnivåerna från ventilationsbyggnaderna. Bullernivåerna hålls under gällande riktvärden för industribuller.

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

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

8.1.6 Sammanfattning

Den icke radiologiska miljöpåverkan från de anläggningar som ingår i djupförvarssystemet har begränsad omfattning. Brytning och förädling av koppar för framställning av kopparkapslar är sannolikt den enstaka företeelse som förorsakar den största miljöpåverkan. I övrigt ger djupförvaret viss påverkan i form av grundvattenavsänkning och hantering av bergmassor. Även CLAB förorsakar en viss grundvattenavsänkning i närområdet.

CLAB, inkapslingsanläggning och troligen också kapselfabrik lokaliseras till befintliga industriområden vilket gör att anläggningarnas påverkan på landskapsbild och markanvändning blir liten.

Konsekvenserna för miljön på grund av de olika anläggningarna i systemet redovisas i detalj i de miljökonsekvensbeskrivningar som upprättas i anslutning till ansökan om tillstånd att uppföra anläggningar på en bestämd plats.

8.2 Referenser

- 8-1 Aggeryd I, Aquilonius K
Systemanalys – Icke radiologisk miljöpåverkan.
SKB rapport R-98-07 Stockholm, juni 1998.
- 8-2 Kjellbert N, Johansson S
Förstudie Storuman. Miljöaspekter på förläggning av ett djupförvar för använt kärnbränsle och annat långlivat avfall till Storumans kommun.
SKB Djupförvar Projektrapport PR 44-94-017, Stockholm, juni 1994.
- 8-3 Kjellbert N
Förstudie Malå. Miljöaspekter på förläggning av ett djupförvar för använt kärnbränsle och annat långlivat avfall till Malå kommun.
SKB Djupförvar Projektrapport PR D-95-006, Stockholm, april 1995.

- 8-4 Birgersson L, Hallberg B, Sidenvall J
Förstudie Nyköping. Markanvändning och miljöaspekter.
SKB Djupförvar Projektrapport PR D-96-010, Stockholm, juli 1996.
- 8-5 Birgersson L, Sidenvall J
Förstudie Östhammar. Markanvändning och miljöaspekter.
SKB Djupförvar Projektrapport PR D-96-011, augusti 1996.

9 Handlingsfrihet i lokalisering och tidsplaner

9.1 Inledning

I kapitel 4 har SKB:s huvudmetod för hanteringen av det använda kärnbränslet beskrivits. Denna metod bygger på erfarenheterna från mer än 20 års utvecklingsarbete. Parallellt har även alternativa utformningar av systemet studerats. Studier av alternativa handlingsvägar kommer att fortsätta fram till dess att ett första steg av deponering i djupförvaret genomförts och utvärderats, och kanske även därefter. Handlingsfriheten är fortfarande betydande såväl vad gäller övergripande strategier som detaljutformning av olika komponenter i systemet. Efterhand som arbetet fortskrider kommer detaljerna att successivt bli mer och mer låsta. Med den valda utformningen av systemet kommer det dock att vara möjligt att ändra inriktning både i stort och i detaljer under lång tid framöver. Kostnaderna för förändringar ökar dock allteftersom anläggningar börjar att byggas och inkapsling och deponering påbörjas.

Det studerade systemet ger handlingsfrihet i lokaliseringen av inkapslingsanläggningen och djupförvaret. Det finns också en möjlighet att lokalisera förvaret för långlivat låg- och medelaktivt avfall till en annan plats än djupförvaret för använt bränsle. Arbetet planeras så att deponeringen kan påbörjas så snart det är teknisk och opinionsmässigt möjligt. Detta bedöms ta ca 15 år. Eftersom bränslet lagras säkert i CLAB och detta kan fortsätta under lång tid finns det också handlingsfrihet vad gäller tidpunkten när djupförvaret tas i drift, och i vilken takt deponeringen ska ske. Det finns också en handlingsfrihet när det gäller tidpunkten för förslutning av förvaret efter avslutad deponering. Om man väljer att hålla förvaret öppet under en längre tid finns det en större möjlighet till kontroll av avfallet och ett eventuellt återtag av kapslar från förvaret underlättas. Säkerheten för ett förvar som hålls öppet under en längre tid efter avslutad deponering behöver utredas vidare, både med avseende på den normala utvecklingen och med avseende på onormala händelser och missöden som skulle kunna inträffa.

I detta kapitel diskuteras olika alternativ för lokalisering av inkapslingsanläggning och djupförvar utifrån övergripande utgångspunkter. I slutet av kapitlet tas även olika aspekter på tidsplanerna upp.

9.2 Lokalisering av inkapslingsanläggningen

9.2.1 Faktorer som påverkar lokaliseringen

Fyra principiellt olika lokaliseringar av inkapslingsanläggningen har diskuterats /9-1/:

- Vid CLAB
- Vid djupförvaret

- Vid annan kärnteknisk anläggning
- På annan plats.

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

- Möjlighet till samordning med befintlig verksamhet.
- Tillgång till kompetens och erfarenhet av radiologisk verksamhet.
- Transporter av använt kärnbränsle.
- Resursutnyttjande.
- Miljöpåverkan.
- Samhällsaspekter.

9.2.2 Lokalisering vid CLAB

Lokalisering av inkapslingsanläggningen vid CLAB innebär att en anläggning, sådan den beskrivs i avsnitt 4.3., förläggs i omedelbar anslutning till CLAB:s mottagningsbyggnad. Anläggningen utgörs då huvudsakligen av en inkapslingsbyggnad och förråd för transportbehållare med kapslar.

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

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

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

9.2.3 Lokalisering vid djupförvaret

En lokalisering av inkapslingsanläggningen vid djupförvaret innebär att bränslet lastas i transportbehållare i CLAB. Denna process är i princip den omvända mot urlastningen vid mottagning av bränsle i CLAB. Urlastning av bränsle vid inkapslingsanläggningen sker i en mottagningsbyggnad. Denna kan utformas som den befintliga mottagningsbyggnaden i CLAB eller som ett utrymme med torr urlastning. Utformningen av själva inkapslingsbyggnaden blir till stora delar den samma som i fallet med en lokalisering

vid CLAB. Behovet av mellanlager för inkapslat bränsle blir mindre vid en lokalisering i anslutning till djupförvaret, eftersom kapslarna med använt bränsle kan föras från inkapslingsanläggningen direkt ner i djupförvaret. Liksom vid en lokalisering i anslutning till CLAB kan personalresurserna samordnas.

9.2.4 Lokalisering vid annan kärnteknisk anläggning

Lokalisering vid en annan kärnteknisk anläggning medför, liksom en lokalisering till djupförvaret, transporter av använt kärnbränsle från CLAB till inkapslingsanläggningen. Efter mottagning och inkapsling krävs sedan ytterligare transporter för att föra det inkapslade bränslet till djupförvaret. Därmed behövs både en mottagningsbyggnad eller utrustning för torr mottagning, och ett förråd för inkapslat bränsle vid anläggningen.

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

9.2.5 Lokalisering på en helt ny plats

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

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

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

9.2.6 Påverkan på systemet – säkerhets- och miljöaspekter

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

En lokalisering skild från CLAB medför andra rutiner för utförelse av bränsle från CLAB. Processen för lastning av bränsle i transportbehållare i CLAB är i princip den omvända jämfört med den hantering som sker idag vid mottagning av bränsle från kärnkraftverken. Den leder därför inte till någon principiell förändring av säkerheten i

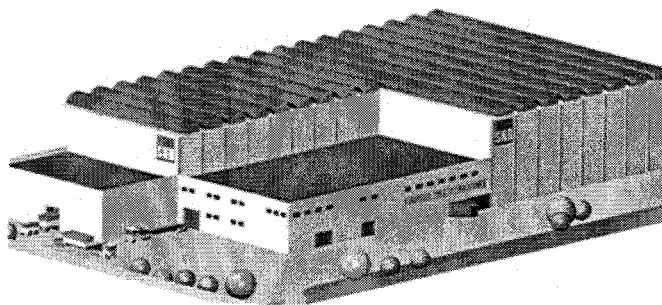
anläggningen. Vid en lokalisering till djupförvaret blir behovet av förrådsutrymme för inkapslat bränsle mindre än vid en lokalisering vid CLAB. Vid våt hantering tillkommer system för kylning, vattenrening och el vid en anläggning skild från CLAB.

Anläggningens säkerhet påverkas marginellt av en lokalisering skild från CLAB. Den utökade hanteringen kan leda till något större stråldoser till personal vid normal drift. Möjliga störningar och missöden vid den utvidgade hanteringen i samband med lastning av bränsle i transportbehållare i CLAB och urlastning vid inkapslingsanläggningen är av samma typ som vid mottagning av bränsle vid CLAB (se avsnitt 5.2). En skillnad är dock att bränslet lagrats i ca 30 år i CLAB och att radioaktiviteten i bränslet därför är lägre än när använt bränsle mottas vid CLAB. Konsekvenserna i form av stråldoser till personal och allmänhet vid eventuella störningar och missöden blir därmed lägre än vid mottagning av använt bränsle vid CLAB.

Transportbehovet påverkas av vald lokalisering. Vid en lokalisering till djupförvaret sker transporter av använt bränsle på samma sätt som transporter av använt bränsle från kärnkraftverken till CLAB. Dessa behållare rymmer fler bränsleelement än kapseln, vilket gör att antalet transporter blir mindre vid en lokalisering av inkapslingsanläggningen till djupförvaret än vid en lokalisering till CLAB. Det totala transportarbetet är dock litet, ca 200 behållare per år för CLAB-alternativet och ca 150 behållare per år för djupförvarsalternativet. Vid lokalisering av inkapslingsanläggningen vid en annan kärnteknisk anläggning eller på annan ort ökar transportbehovet till totalt ca 350 behållare per år, eftersom transporter av såväl oinkapslat som inkapslat bränsle då ska ske.

9.2.7 Lokalisering av kapselfabrik

Kapslarna tillverkas i en fabrik som byggs speciellt för detta ändamål (figur 9-1). Tillverkningen av kapslar är en icke-radiologisk verksamhet och det finns därför inget behov av att lokalisera en sådan anläggning till ett område med kärnteknisk verksamhet. Tillverkningen av kapslar sker som slutbearbetning av i förväg gjutna, smidda eller valsade ämnen. Störningarna från en sådan anläggning blir därför mycket små. Råmaterial till kapselfabriken levereras troligen från Europa när det gäller kopparhöljet, och från Skandinavien när det gäller insatsen. Transporter av råmaterial har därmed ingen avgörande betydelse när det gäller lokalisering av kapselfabriken.



Figur 9-1 Fabrik för tillverkning av kapslar.

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

9.2.8 Sammanfattning

I detta avsnitt redovisas fyra principiellt olika lokaliseringalternativ för inkapslingsanläggningen: vid CLAB, vid djupförvaret, vid annan kärnteknisk anläggning eller på annan ort. Av dessa ses en lokalisering vid CLAB som ett huvudalternativ, med ett antal fördelar jämfört med en annan lokalisering:

- Befintliga system och anläggningsdelar i CLAB kan till en del användas i inkapslingsprocessen.
- Tillgången till erfarenhet av bränslehantering, samt drift och underhåll av servicesystem är stor hos personalen vid CLAB.
- Tillgången till annan kärnteknisk infrastruktur är god vid CLAB.
- Transporterna till djupförvaret kan genomföras med ett enklare behållarsystem eftersom bränslet är inkapslat. Antalet transporter ökar dock, eftersom antalet bränsleelement per behållare blir färre i en kapsel än i en bränsletransport-behållare.
- Inkapslingsanläggningen får plats inom SKB:s fastighet för CLAB. Ny mark behöver inte tas i anspråk och det krävs inga nya vägar eller kylvattenanläggningar.

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

En lokalisering av inkapslingsanläggningen i anslutning till djupförvaret medför att djupförvarets lokalisering bestäms när beslut tas om inkapslingsanläggningens lokalisering. Detta leder troligen till att tillståndsprocesser etc samordnas fullt ut för de två anläggningarna och att byggandet av en inkapslingsanläggning senareläggs i förhållande till övriga lokaliseringalternativ (se vidare avsnitt 9.4 angående tidsplaner för lokalisering).

9.3 Lokalisering av djupförvaret

9.3.1 Faktorer som påverkar lokaliseringen

De faktorer som påverkar lokaliseringen av ett djupförvar har beskrivits i den kompletterande redovisningen till FUD-program 92 /9-2/. Lokaliseringsfaktorerna indelas i fyra huvudgrupper:

Säkerhet	Lokaliseringsfaktorer av betydelse för djupförvarets långsiktiga säkerhet.
Teknik	Lokaliseringsfaktorer av betydelse för byggnation, funktion och säker drift av djupförvaret.
Mark och miljö	Lokaliseringsfaktorer av betydelse för markutnyttjande och generell miljöpåverkan.
Samhälls- aspekter	Lokaliseringsfaktorer kopplade till samhällsförutsättningar och samhällspåverkan.

En helhetsbedömning av framför allt den långsiktiga säkerheten kräver tillgång till platsspecifika data om berggrundsförhållanden. Sådana data kan bara erhållas genom att omfattande undersökningar genomförs på platser som måste väljas på delvis ofullständigt underlag. Detta förhållande särskiljer lokalisering av undermarksanläggningar i allmänhet och ett djupförvar i synnerhet från andra industrilokaliseringar (ovanjordsanläggningar) där kunskap om alla viktiga faktorer är förhållandevis lättillgängliga.

Strukturen med lokaliseringsfaktorer kommer till användning när underlagsmaterial ska utvärderas inför valet av områden för platsundersökningar. Sedan resultaten från samtliga förstudier sammanställts enligt denna struktur värderas intressanta områden från förstudierna med angivande av de viktigaste för- och nackdelarna med avseende på respektive lokaliseringsfaktor. Valet av områden för platsundersökningar görs utifrån en samlad bedömning av alla lokaliseringsfaktorer.

Nedan redovisas de viktigaste lokaliseringsfaktorerna uppdelat på de fyra huvudgrupperna.

Säkerhet

Med hänsyn till den långsiktiga säkerheten måste följande förhållanden beaktas vid valet av plats:

- Kemisk miljö i berget för kapsel, bentonit och bränsle.
- Mekanisk stabilitet hos berget.
- Förutsättningar för transport av korroderande och radionuklider i berget.
- Risken för framtida intrång, d v s i första hand tänkbart utnyttjande av naturresurser i berggrunden.
- Grundvattenrecipienter och biosfärsförhållanden.

Den kemiska miljön i berget ska vara sådan att där råder långtidsstabilt reducerande förhållanden. ”Normala” förhållanden i djupt grundvatten ses som gynnsamma förhållanden, d v s pH 6 - 9 och rimliga halter av salter, humus- och fulvosyror. Däremot ses närvaro av fritt syre, extrema pH-värden och salthalter samt höga halter av humus- och fulvosyror, sulfatreducerande bakterier, organiskt material och kväveföreningar som ogynnsamma förhållanden.

Den mekaniska stabiliteten säkerställs genom att förvaret förläggs i delar av berget som inte utgörs av zoner av uppsprucket berg i vilka framtida förkastningsrörelser av betydelse skulle kunna utlösas. Exempel på gynnsamma förhållanden är att det på platsen råder för svensk berggrund normala bergspänningar. Vidare är det gynnsamt om berggrunden är homogen och lättolkad, och om det finns tillgång till stora bergvolymer med få stora sprickzoner.

Berget ska ha en förmåga att begränsa transporter av korrodanter och radionuklider, och därvid utgöra en säkerhetsbarriär genom att ta upp och kvarhålla eventuella frigjorda radioaktiva ämnen så att den grundvattenburna transporten av dessa blir långsam. Gynnsamma förhållanden vid lokalisering är låg grundvattenföring och långa flödesvägar till biosfären. Stark kemisk sorptionsförmåga längs grundvattnets transportvägar i berget ses också som gynnsamt.

Risken för ett framtida intrång i förvaret ska begränsas genom att det inte placeras så nära värdefulla eller potentiellt värdefulla naturresurser att en eventuell framtida exploatering av dessa skulle medföra att förvarets barriärsystem skadas.

Biosfärsförhållandena i möjliga utströmningsområden av djupt grundvatten bör beaktas vid en helhetsbedömning och avvägning mellan olika platser. Generellt sett är det önskvärt att utspädningen av grundvatten blir så stor som möjligt, vilket skulle uppnås vid en förläggning vid kust eller under havet. Faktorer som bidrar till inneslutning av radionuklider i förvaret har dock större vikt än sådana som gynnar utspädning.

Teknik

Vid lokalisering av djupförvaret måste de tekniska lösningar som står till buds för transporter och utformning av anläggningarna beaktas. Tekniken är i regel flexibel och kan anpassas efter varierande platsförhållanden och berggrundsegenskaper. Grundläggande krav som måste tillgodoses vid lokalisering är att berggrundsförhållandena tillåter konstruktion av stabila schakt, tunnlar och bergtrum så att säkerhetskraven under byggande och drift uppfylls. Vidare ska det finnas goda möjligheter att på ett säkert sätt utföra alla transporter till platsen och all verksamhet i djupförvaret.

Alla transporter till platsen ska kunna ske så att aktuella regler och föreskrifter uppfylls. Gynnsamma förhållanden vid en lokalisering är om huvudsakligen befintlig infrastruktur för transporter till havs och på land kan utnyttjas. Däremot ses det som ogynnsamt om omfattande nyinvesteringar krävs och om nya hamnar, vägar eller järnvägar kommer i konflikt med andra intressen för markanvändning.

Förhållandena ovan jord ska vara sådana att ovanjordsanläggningarna kan utformas och utrustas så att kraven på säkerhet, arbetarskydd, strålskydd och miljöskydd uppfylls. Industriområdet ovan jord omfattar en area på ca 300 m x 600 m. Till detta kommer eventuellt ett deponeringsområde för bergmassor på ca 300 m x 400 m.

Berggrunden där djupförvaret förläggs ska ha sådana egenskaper att där schakt, tillfartstunnlar, transporttunnlar, deponeringstunnlar m m planeras, kan dessa byggas på ett säkert sätt med känd teknik. Viktiga faktorer är bergart, sprickfrekvens, lägen och

karaktärer på sprickzoner, vattenföring samt de belastningar (bergspänningar) som råder i berggrunden. Vidare ska drift och underhållsarbeten under jord kunna genomföras med upprätthållande av säkerhet, arbetarskydd och strålskydd.

Mark och miljö

Platsen för djupförvaret ska väljas på ett sådant sätt att:

- Få motstående intressen finns för markanvändning.
- Goda möjligheter finns att uppföra och driva anläggningarna med uppfyllande av alla miljöskyddskrav.

Platsval och utformning av anläggningarna ska göras så att konflikter med motstående intressen minimeras. Hänsyn ska därvid tas till natur, kulturminnen, rekreation och friluftsliv, viktiga naturtillgångar, jord- och skogsbruk, befintlig och planerad markanvändning. Anläggningsdelar och kommunikationsleder ska inpassas i terrängen på ett skonsamt sätt.

Samhällsaspekter

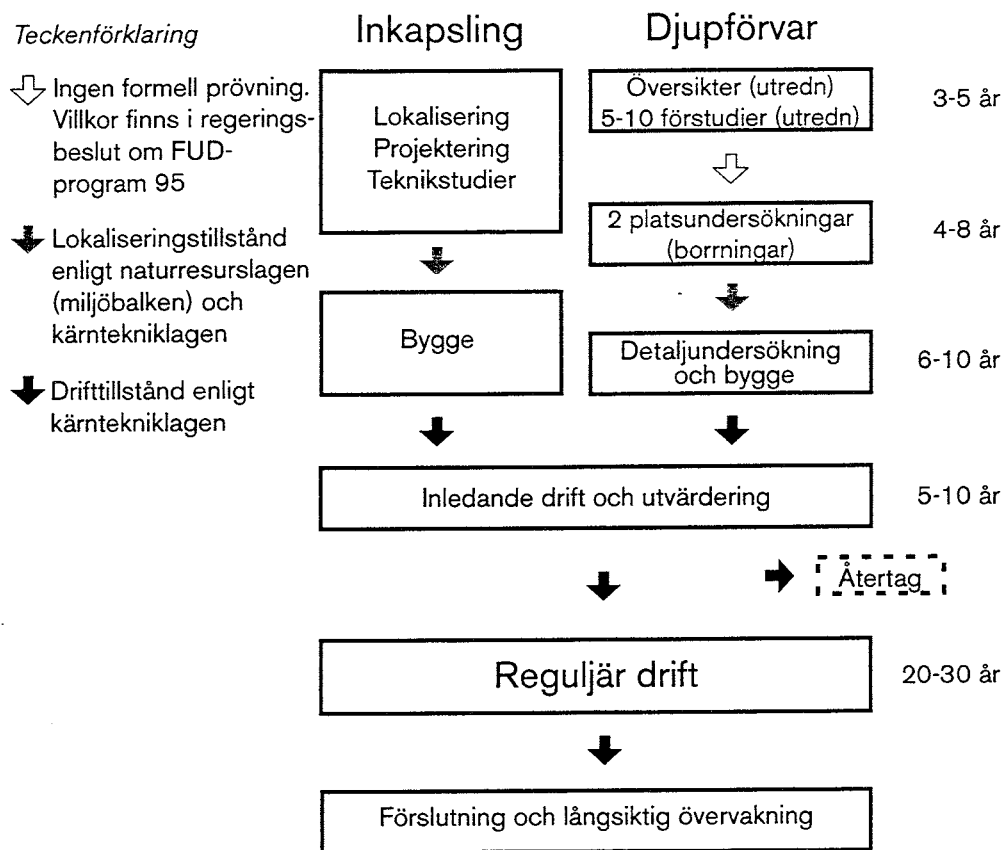
Lokaliseringen av djupförvaret ska genomföras så att:

- Undersökningsverksamhet i olika etapper, bygge, idrifttagande och drift sker med förankring i en demokratisk beslutsprocess.
- Sociala och samhällsekonomiska konsekvenser beaktas.

Samhällsförutsättningarna är viktiga vid såväl platsvalet som vid utformningen av anläggningen på vald plats. Etablering och drift av ett djupförvar kommer att påverka orten och regionen på olika sätt. Politiskt och opinionsmässigt är lokaliseringen en känslig fråga. Erfarenheter både i Sverige och andra länder visar att starka känslor och opinioner kan aktiveras.

9.3.2 Stegvis lokalisering och utbyggnad

Arbetet med att välja en plats för ett djupförvar sker genom en stegvis lokaliseringsprocess som syftar till att ta fram det underlag som behövs för att få tillstånd till att påbörja detaljundersökningar. När en lämplig plats valts för djupförvaret görs en stegvis utbyggnad av anläggningen på platsen. De delar som ingår i processen framgår av figur 9-2.



Figur 9-2 Stegvis lokalisering och utbyggnad av djupförvaret och inkapslingsanläggningen.

Typområdesstudier

Under slutet av 1970-talet till början av 1980-talet genomfördes ett antal typområdesstudier på olika platser i Sverige. Syftet med dessa var inte att finna en lämplig plats för lokalisering av ett djupförvar utan att erhålla geologiska data från stort djup i olika områden av Sverige. På många platser gjordes borrningar i berggrunden ner till 700 - 800 m djup. Slutsatserna från dessa studier var att det finns många områden i Sverige som från en geologisk synvinkel kan vara lämpliga för ett djupförvar. Man konstaterar också att förekomsten av lämpliga eller mindre lämpliga områden inte kan hänföras till någon speciell del av landet, utan är beroende av lokala förhållanden /9-3/.

Översiktsstudier

SKB genomförde 1995 en översiktsstudie rörande de nationella förutsättningarna för lokalisering av ett djupförvar (Översiktsstudie 95 /9-4/). I översiktsstudien sammanställs databaser i nationell skala över faktorer som på olika sätt är intressanta ur lokaliseringssynpunkt.

Mot bakgrund av resultaten från Översiktsstudie 95, påpekanden i regeringens beslut och synpunkter som framkom i den bakomliggande remissgranskningen har SKB särskilt utrett för- och nackdelar med att lokalisera djupförvaret till norra respektive södra Sverige, samt aspekter på förläggning till kust respektive i inlandet /9-5/. Syftet med studien är att beskriva skillnader av generell natur mellan de principiellt olika lokaliseringalternativen nord-syd/kust-inland.

För närvarande kompletteras översiktsstudierna med mera detaljerade översikter över lokaliseringsförutsättningar i samtliga län i Sverige, med undantag av Gotland. Syftet med de länsvisa översiktsstudierna är att:

- Översiktligt bedöma var det kan finnas potentiellt lämpliga respektive olämpliga områden inom respektive län. Resultaten ska användas för att identifiera kommuner som är lämpliga för förstudier.
- Ta fram ett underlag som kan användas som ett jämförelseunderlag inför val av områden för platsundersökningar.
- Ta fram ett underlag för att sätta in undersökta områden i sitt regionala sammanhang.

Den långsiktiga säkerheten är den centrala frågan i de länsvisa översiktsstudierna som därför fokuserar studierna på geovetenskapliga förhållanden. Resultat från tio av länen presenterades under 1998 /9-6 – 9-15/.

Förstudier

I förstudierna utreds förutsättningarna i potentiellt lämpliga och intresserade kommuner. Vidare klarläggs de generella mark- och miljöförhållandena samt samhällsaspekterna relativt ingående. Bedömningar av lokaliseringsfaktorer för säkerhet och teknik baseras på generell kunskap och översiktligt material. En förstudie resulterar i en bedömning om och var det finns områden med goda potentiella möjligheter från såväl geovetenskaplig synpunkt som planeringsmässigt. Den ger också underlag för bedömningar av inverkan på lokalt näringsliv och samhälle.

Dagsläget är att förstudier har genomförts och avrapporterats i Storumans och Malå kommuner /9-16, 9-17/. Folkomröstningar vars resultat motsatte sig fortsatta undersökningar i kommunerna har emellertid inneburit att dessa kommuner inte är aktuella i det framtida lokaliseringsarbetet. I Östhammars och Nyköpings kommuner har förstudier genomförts och preliminära slutrapporter föreligger för granskning /9-18, 9-19/. I Oskarshamns kommun pågår förstudien sedan hösten 1997. Kommunfullmäktige i Tierps kommun fattade i juni 1998 beslut om att medverka i en förstudie. SKB planerar att göra förstudier i 5 - 10 kommuner.

Platsundersökningar

SKB planerar att göra platsundersökningar på minst två platser omfattande i första hand geovetenskapliga undersökningar. De säkerhetsmässiga och tekniska lokaliserings-

faktorerna klarläggs så långt det är möjligt. Vissa kompletteringar från förstudierna av lokala mark- och miljöfaktorer görs också.

Val av områden för platsundersökningar kommer att ske inom ramen för MKB-processen och i nära samråd med myndigheter, kommuner och andra berörda. Urvalet baseras på underlag från bl a förstudier och översiktsstudier. Platserna ska enligt den utvärdering som görs av tillgängliga data ha goda utsikter att uppfylla de krav som ställs för lokalisering av ett djupförvar. Vidare ska de ligga i kommuner som är positiva till att medverka i lokaliseringsprocessen.

Detaljundersökning, byggnadsetapp 1

När platsundersökningarna genomförts och utvärderats fattas beslut om lokalisering av djupförvaret till en av de undersökta platserna och en ansökan lämnas in om att få påbörja detaljundersökningen. I den ansökan som då upprättas redovisas underlagsmaterial liksom motiv för valet av plats. Detaljundersökningen innebär att vissa byggnadsarbeten i berget påbörjas och därmed inleds även byggnadsetapp 1. Byggnadsetapp 1 avser en anläggning för deponering av ca 400 kapslar med använt kärnbränsle.

Inledande drift och utvärdering

En ansökan inlämnas om tillstånd för inledande drift av anläggningen. Under den inledande driften deponeras ca 10 % av det använda kärnbränslet samtidigt som deponeringsutrymmet successivt byggs ut. Därefter görs en utvärdering under flera år. Om denna utvärdering utfaller till förmån för fortsatt deponering ansöks om erforderliga tillstånd för utbyggnad och reguljär drift.

Reguljär drift och förslutning

Den reguljära driften omfattar deponering av allt återstående använt kärnbränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall. Deponeringsutrymmen byggs ut successivt i den takt de behöver tas i anspråk. Erfarenheter från inledande drift och utvärdering av denna tillvaratas och eventuella modifieringar görs med utgångspunkt från detta. Övervakning av det öppna förvaret kan ske under så lång tid som man önskar. Efter förslutning av förvaret kan området kring detta övervakas.

9.3.3 Resultat från översiktsstudier

Översiktsstudie 95

Översiktsstudie 95 /9-4/ ger en allmän bedömning, baserad på studier i nationell skala, av områden som kan vara intressanta för vidare studier. Översiktsstudien ger också möjligheten att peka ut områden som är mindre lämpliga eller mindre intressanta. En utvärdering av de olika lokaliseringsfaktorerna säkerhet, teknik, mark och miljö samt samhällsaspekter visar att stora delar av landet är potentiellt intressanta för vidare studier av lokalisering av ett djupförvar, dock med vissa begränsningar. Det är dock

viktigt att poängtera att lämpligheten av en lokalisering inte kan fastslås förrän studier i mer lokal skala genomförts i samband med förstudier och platsundersökningar.

Säkerhet

För att värdera om förhållandena i berggrunden på 400 – 700 m djup är sådana att den långsiktiga säkerheten uppfylls krävs ett omfattande underlag med platsspecifika data, något som inte är möjligt att utföra i nationell skala. Några generella slutsatser är dock att stora delar av Sveriges urberg är intressanta för vidare lokalisering. Undantag från detta är fjällkedjan, Gotland och delar av Skåne som består av sedimentär berggrund och som därför inte ses som intressanta för lokalisering av ett djupförvar.

Teknik

Vid lokalisering av djupförvaret är det fördelaktigt att välja en plats där den tekniska genomförbarheten är relativt enkel. Det finns i allmänhet heller ingen konflikt mellan de faktorer som gynnar dels den långsiktiga säkerheten, dels ett enkelt genomförande av tekniken. Det kristallina urberg som omfattar merparten av Sverige har hög hållfasthet som tillåter konstruktion av stabila berggrum.

Om det blir aktuellt med långa transporter av kärnavfall är det en fördel om befintliga hamnar och befintligt järnvägsnät kan utnyttjas utan stora kompletterande investeringar.

Mark och miljö

I Sverige är ca 6 % av all mark avsatt som naturskyddade områden där ingen exploatering får ske. Till detta kommer områden som idag anses riksintressanta för naturvård (ca 22 % av all mark) och utpräglade jordbruksområden. I båda dessa fall krävs särskilda skäl för en lokalisering av ett djupförvar. Länens naturvårdsplaner och kommunernas översiktsplaner kommer att vara viktiga vid lokalisering. Områden med planerad industrimark kan vara särskilt intressanta.

Samhällsaspekter

Utredningar om samhällsekonomi, näringslivs- och arbetsmarknadsfrågor genomförs i förstudierna av olika kommuner och fördjupas och uppdateras under lokaliseringsarbetets gång på aktuella orter. Åtgärder som kan förstärka positiva effekter och förebygga negativa effekter av en djupförvarslokalisering identifieras och analyseras. Områden i omedelbar närhet av administrativa gränser kan kräva särskilda överväganden, särskilt vad avser riksgränser.

Nord-syd/kust-inland

I studien över en lokalisering av ett djupförvar till kust eller inland respektive till norra eller södra Sverige redovisas faktorer som kan medföra skillnader i förutsättningarna för dessa principiellt olika lokaliseringalternativ. Liksom i Översiktsstudie 95 görs en översiktlig bedömning av generella förhållanden med utgångspunkt från viktiga

lokaliseringsfaktorer /9-5/. Lämpligheten av en lokalisering till en viss ort kräver en detaljerad kännedom om förhållandena på den aktuella platsen.

Säkerhet

Den värdering som tidigare gjorts i Översiktsstudie 95 angående berggrundsförhållanden på de djup som är aktuella för ett djupförvar har inte förändrats i och med studien ur perspektivet ”nord – syd” respektive ”kust – inland”. Detta innebär att slutsatsen kvarstår att områden som kan uteslutas på grund av att berggrunden radikalt skiljer sig från den i övriga delar av landet är fjällkedjan, Gotland och delar av Skåne.

Klimatet och dess framtida utveckling i norra respektive södra delen av landet utgör en skillnad som kan påverka förutsättningarna för djupförvarets långsiktiga säkerhet. Prognoser över framtida klimatförändringar pekar mot att de norra delarna av Sverige kan komma att täckas av is inom några tusen år, medan de södra delarna av landet kan komma att bli istäckta först efter flera tiotusentals år. En inlandsis utgör en effektiv extra skyddsbarriär som skärmar av berggrunden från biosfären och som därmed skulle tala för en lokalisering till norra delen av landet. Å andra sidan orsakar nedisning stora förändringar av mekaniska och hydrauliska förhållanden i berggrunden. Mycket tyder på att de snabba belastningsändringar som sker när en inlandsis smälter kan orsaka rörelser i berggrunden.

När det gäller förhållanden nära kusten jämfört med i inlandet som kan ha påverkan på förvarets långsiktiga säkerhet är det i första hand skillnader kopplade till grundvatten som är potentiellt betydelsefulla. Faktorer som talar till fördel för en kustnära lokalisering är recipientförhållanden med hög utspädning i havet och salthalter som gör att vattnet inte används direkt för konsumtion. En annan fördel är de ofta lägre hydrauliska gradienterna vid kusterna.

Faktorer som generellt sett är till nackdel för förvarets långsiktiga säkerhet vid en kustnära lokalisering är dominansen av utströmningsområden vid kusterna och de pågående förändringarna av grundvattnets sammansättning och strömning, framförallt beroende på förskjutningar av strandlinjer.

Den generellt sett högre salthalten i grundvatten i kustområdena kan både utgöra en fördel och nackdel för den långsiktiga säkerheten. Salt grundvatten nära ytan kan utgöra en indikation på att grundvattencirkulationen är låg, vilket är positivt för den långsiktiga säkerheten. En annan fördel är att risken för framtida djupborrade brunnar är mindre på platser med salt grundvatten. Däremot kan måttliga salthalter ha negativa effekter på återfyllnaden i förvaringstunnlarna, och mycket höga salthalter kan skada funktionen hos bentonitbufferten.

Teknik

När det gäller tekniska förutsättningar är det främst transporterna som skiljer de principiellt olika lokaliseringalternativen från varandra. En lokalisering till norra Sverige medför ett behov av långväga transporter av använt bränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall till djupförvaret. En lokalisering av djupförvaret till inlandet

innebär att transportererna måste göras på landsväg och/eller järnväg, eventuellt i kombination med sjötransport och omlastning vid lämplig hamn.

Den radiologiska säkerheten kan som framgår av avsnitt 5.4 hållas på en hög nivå oavsett transportavstånd och transportmedel. Däremot medför alla typer av tunga transporter olycksrisker och en viss miljöbelastning som ökar med ökande transportsträcka. Sett ur ett större perspektiv är det antal transporter som uppkommer till följd av djupförvaret mycket måttligt, även om de ur ett lokalt perspektiv kan leda till en signifikant ökning av trafikbelastningen. Vidare visar erfarenheten att transporter av radioaktivt material av många upplevs som farliga eller olämpliga eller åtminstone onödiga. Vare sig denna oro är välgrundad eller ej i teknisk och säkerhetsmässig mening är det en realitet som måste beaktas vid en lokalisering.

En parameter som förutom transportererna kan leda till skilda förutsättningar för byggande och drift av ett djupförvar vid lokalisering till norra eller södra Sverige är temperaturen i berggrunden, som är lägre i norr än i söder. Höga temperaturer medför glesare deponering av kapslar. Detta kan påverka kostnaderna för förvaret, men leder inte till några avgörande konsekvenser i övrigt.

Grundvattnen med höga salthalter är som tidigare nämnts vanligare förekommande vid kusten än i inlandet. Detta kan medföra ett ökat behov av underhållsarbeten under den tid förvaret är i drift.

Mark och miljö

Begränsningarna i möjligheterna att lokalisera ett djupförvar beroende på bl a naturskyddsaspekter är i allmänhet betydligt större i kustregionen än i inlandet. Dessutom är större landområden i fjällkedjan avsatta som riksintresse för naturvård.

De olika lokaliseringalternativen nord-syd/kust-inland medför inte, förutom transportererna, någon generell skillnad i påverkan på miljön, utan detta beror helt på lokala förhållanden.

Översiktsstudier av län

De länsvisa översiktsstudierna beaktar faktorer relaterade till den långsiktiga säkerheten, d v s främst berggrundsförhållanden. Förutom geologiska faktorer har även natur- och kulturskyddade områden i länen inventerats översiktligt, liksom tekniska förutsättningar i form av industriområden, möjliga hamnar och vägar/järnvägar.

Studierna grundar sig på befintliga geologiska data. Det faktum att modernt geologiskt underlag saknas i stora delar av landet innebär därför att kvaliteten på underlaget varierar avsevärt. Faktorer som har beaktats vid värdering av lokaliseringspotential ur geovetenskaplig synpunkt är bergarter, malmpotential, deformationszoner, jordarter, bergets stabilitet och hydrogeologi. Vid de samlade bedömningarna av länens förutsättningar för ett djupförvar har störst vikt lagts på berggrundens sammansättning, framtida prospekteringsintresse och tolkade deformationszoner.

Generellt sett kan man konstatera att hittills genomförda länsöversikter visar att det ur ett översiktligt geologiskt perspektiv finns lämpliga områden för vidare studier i samtliga studerade län /9-6—9-15/. Större sammanhängande områden finns i mellersta Norrland, Mälardalen och sydöstra delen av Småland samt Blekinge.

9.3.4 Resultat från förstudier

Förstudier har hittills genomförts och avrapporterats i två kommuner, Storuman och Malå /9-16, 9-17/. För närvarande pågår förstudier i tre kommuner, Östhammar, Nyköping och Oskarshamn. I Tierps kommun planerar SKB att inleda en förstudie under hösten 1998.

Storuman

En slutrapport från förstudien i Storuman publicerades i februari 1995 /9-16/. Förstudien visar att det finns områden som kan ha bra förutsättningar för lokalisering av ett djupförvar, varav ett område prioriteras för vidare studier. Förutsättningarna för transporter i anslutning till djupförvaret bedöms vara goda eftersom befintlig infrastruktur kan utnyttjas. Resultatet från en folkomröstning om vidare studier i kommunen innebar emellertid att SKB avslutade sitt arbete i Storumans kommun.

Malå

Förstudien i Malå slutredovisades i mars 1996 /9-17/. Slutsatsen från denna förstudie var att det i kommunen finns två stora områden som kan ha bra förutsättningar för ett djupförvar. Utredningarna visade också på goda möjligheter för transporter till dessa områden under förutsättning att infrastrukturen byggs ut. Liksom för Storumans kommun ledde resultatet från en folkomröstning i Malå kommun till att SKB avslutade sitt arbete i kommunen.

Nyköping

Förstudien i Nyköping redovisades i en preliminär slutrapport i maj 1997 /9-19/. För närvarande pågår en granskning av förstudien i kommunens regi och slutrapporten beräknas bli färdig under 1999.

I Nyköpings kommun finns redan en kärnteknisk anläggning i Studsvik. Detta har särskilt beaktats i förstudien. Studien visar att det finns tre intressanta områden inom 10 km radie från Studsvik. Vid Studsvik finns dessutom såväl infrastruktur som kärnteknisk kompetens och tradition kopplat till de befintliga anläggningarna. Utöver dessa områden kring Studsvik finns två potentiellt intressanta områden i kommunens norra del och ett i dess nordvästra. En anläggning i kommunens norra del skulle dock kräva en utbyggd infrastruktur med ny järnväg alternativt omfattande förstärkningar eller nybyggnad av vägnätet.

Östhammar

Förstudien i Östhammar redovisades i en preliminär slutrapport i september 1997 /9-18/. För närvarande pågår en granskning av förstudien i kommunens regi som förväntas bli klar omkring årsskiftet 98/99. Slutrapporten planeras bli färdig under 1999.

Forsmarks kärnkraftverk är beläget i Östhammars kommun vilket har beaktats särskilt i förstudien eftersom det där finns tillgång till en utbyggd infrastruktur och kärnteknisk kompetens. En preliminär sammanfattande bedömning av förstudien är att det finns ett potentiellt intressant område nära Forsmarks kärnkraftverk. Djupförvarets ovanjordsanläggning kan vid detta lokaliseringsalternativ lämpligen förläggas i anslutning till den befintliga SFR-anläggningen för att skydda områdets känsliga naturvärden. Förutom det ovan nämnda området vid Forsmark finns det tre områden i kommunens södra del där berggrunden är potentiellt gynnsam och där det inte finns i lag skyddade områden. Samtliga dessa tre områden ligger utmed järnvägen vilket gör att man har goda möjligheter att utnyttja befintlig infrastruktur.

Oskarshamn

I Oskarshamns kommun inleddes det tekniska utredningsarbetet med förstudien efter sommaren 1997. Detta sedan kommunfullmäktige i oktober 1996 fattat beslut om att medverka i en förstudie. En preliminär slutrapport beräknas bli klar under våren 1999.

Tierp

I juni 1998 beslutade kommunfullmäktige i Tierps kommun att medverka i en förstudie. Utredningarna beräknas starta under hösten 1998 och en preliminär slutrapport bör kunna presenteras till årsskiftet 1999/2000. Förstudien bör kunna vara avslutad under år 2000.

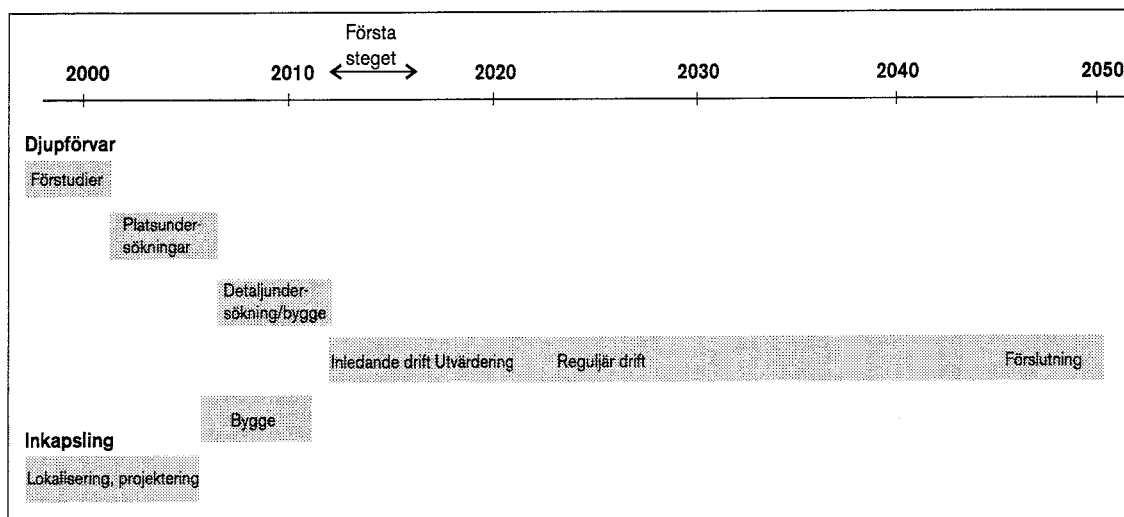
9.4 Tidsplaner

9.4.1 Faktorer som påverkar tidsplanen för arbetet

Tidsplanen för lokalisering, byggande och drifttagande av ett djupförvar är beroende av flera faktorer. Grundläggande utgångspunkter för uppläggningsprogrammet ges av den vetenskapliga och tekniska kunskapsbasen, lagstiftningen samt övriga samhällsförutsättningar. Generellt gäller att ju längre tid som tas i anspråk för ett projekt desto noggrannare förberedelser och mer omfattande utredningar kan göras. Tiden för granskning och insyn kan därmed också öka. Detta ska emellertid vägas mot de risker som uppkommer om ett projekt drar ut på tiden allt för mycket, t ex med förlorad kontinuitet och kompetens. Vidare kan i ett sådant läge en situation uppkomma då allting avstannar och det planerade projektet inte blir av. Den vinst som kan göras kunskapsmässigt m m med en förlängd tidsplan måste också vägas mot de ökade resurser som då måste ställas till förfogande.

Delbeslut som fattas kan innebära olika grader av bindning beroende på de tekniska och ekonomiska konsekvenserna av en omprövning av det aktuella beslutet. Det innebär att vissa beslut kan fattas i ett tidigt skede med en stor öppenhet för omprövning, eftersom besluten inte medför några större tekniska eller ekonomiska konsekvenser. Andra beslut kräver däremot ett omfattande beslutsunderlag i form av data, säkerhetsanalyser, etc innan ett genomförande kan bli aktuellt. Tidsplanen för när olika beslut fattas i processen är i viss mån beroende av möjligheten att ompröva besluten och av det fattade beslutets påverkan på systemets säkerhet. Olika beslut i processen kräver också olika grad av förankring i samhället. Exempel på viktiga beslut i detta sammanhang är lokalisering av såväl inkapslingsanläggning som djupförvar. Höga krav på acceptans leder i sin tur till ett omfattande behov av information och diskussion.

SKB:s tidsplan för lokalisering och byggande av inkapslingsanläggning och djupförvar framgår av figur 9-3. Enligt den bedöms det ta ca 15 år innan deponering av kapslar i ett djupförvar kan påbörjas.



Figur 9-3 Tidsplan för lokalisering och byggande av inkapslingsanläggning och djupförvar.

Teknik

Teknisk utveckling och forskning rörande frågor kring djupförvarssystemet bedrivs bl a vid Kapsellaboratoriet i Oskarshamn och vid Äspölaboratoriet. Detta arbete bedrivs parallellt med lokaliseringsprocessen. SKB:s program för forskning, utveckling och demonstration under de kommande åren beskrivs i FUD-program 98 /9-20/. En bedömning är att såväl inkapslingsanläggning som djupförvar kan uppföras inom ramen för gällande tidsplaner. Teknikutvecklingen bedöms inte vara den tidsbegränsande faktorn för uppförandet av anläggningarna.

Offentlig insyn

Regeringen har bland andra vid flera tillfällen uttryckt att en ”god offentlig insyn” är önskvärd i lokaliseringsarbetet. En uppfattning som delas av SKB. Kontakter med myndigheter, berörda kommuner och allmänheten ingår därför som en viktig del i lokaliseringsarbetet. Regelbundna möten hålls med berörda myndigheter och utred-

ningsresultaten publiceras efter hand som de kommer fram. Fortlöpande information lämnas också till vetenskapssamhället med särskilda intressen på kärnavfallsområdet.

Förstudierna innebär en omfattande verksamhet för samverkan och information som förutom kommun, länsstyrelse och myndigheter också omfattar kommuninnevånare, intresseorganisationer, berörda grannkommuner och den intresserade allmänheten. En del i detta arbete utgörs av de informationskontor som etablerats av SKB i förstudiekommunerna.

Den enskilda människans synpunkter och föreställningar i samband med hantering och förvaring av radioaktivt avfall präglas ofta av oro. Det är därför betydelsefullt att i en öppen dialog ta upp alla frågor och genomföra undersökningar och etablering med så bred samverkan som möjligt.

Den tid det tar att sprida information och ge möjlighet för allmänheten att framföra sina synpunkter kan variera mycket från en kommun till en annan. Sättet att hantera frågorna kan också variera vad gäller t ex genomförande av eventuella folkomröstningar för att besluta om fortsatta lokaliseringsstudier.

Tillståndsprövning

De nu pågående förstudierna för lokalisering av djupförvaret ska leda fram till att minst två platser väljs ut för mer omfattande platsundersökningar. Beslut om platsundersökningar är i formell mening huvudsakligen en fråga för SKB och markägaren. I konsekvens med den linje med öppenhet och krav på lokal acceptans som valts för lokaliseringsprocessen kommer SKB emellertid bara att göra en platsundersökning och kommunen inte motsätter sig detta. Starten av platsundersökningar är ett viktigt steg i lokaliseringsprocessen och regeringen har därför i sitt beslut över FUD-program 95 satt upp villkor för SKB:s redovisning inför detta steg /9-21/.

När två kompletta platsundersökningar föreligger görs en utvärdering av dessa som leder fram till ett val av plats för detaljundersökning och lokalisering av djupförvaret och en miljökonsekvensbeskrivning upprättas. För att tillstånd ska ges för uppförande och drift av anläggningen krävs i första hand tillstånd från regeringen enligt naturresurslagen och kärntekniklagen. Ett tillstånd enligt naturresurslagen är bindande i kommande prövningar, men för att faktiskt kunna påbörja verksamheten krävs beslut enligt flera andra lagar. Exempel på tillämpliga lagar i detta sammanhang är miljöskyddslagen, vattenlagen, plan- och bygglagen och naturvårdslagen. Den kommande miljöbalken kan ha viss inverkan på prövningsförfarandet och den tid som detta beräknas ta, men troligen inte i någon större utsträckning. Tiden som åtgår för tillståndsprövningen kan bli mycket lång, dels beroende på frågans vikt, dels beroende på att prövning enligt olika lagar många gånger inte kan ske parallellt. Det väsentliga i sammanhanget är emellertid att tillståndsprövningen sker på ett så effektivt sätt som möjligt, något som underlättas av att ärendet förbereds genom en väl fungerande MKB-process.

9.4.2 Påverkan på driftsäkerhet

Tidsplanen för lokalisering, byggande och drifttagande av inkapslingsanläggning och djupförvar är beroende av ett stort antal faktorer som inte har något direkt samband med anläggningarnas driftsäkerhet. Detta gäller frågor som djupförvarets långsiktiga säkerhet, lokaliseringsprocessens uppläggning med offentlig insyn och diskussion, samt tillståndsprovningarna för de två anläggningarna. Eftersom en senareläggning av inkapslingsanläggning och djupförvar innebär en förlängning av mellanlagringen i CLAB måste driftsäkerheten för dessa två alternativ ställas i relation till varandra.

Funktion och säkerhet i den planerade inkapslingsanläggningen verifieras vid Kapsellaboratoriet. Laboratoriet ska också användas för driftprov av utrustning samt för utbildning av drifts- och underhållspersonal. Dessa aktiviteter bedöms dock inte vara begränsande för den totala tidsåtgången för lokalisering och byggande av en inkapslingsanläggning.

Arbetsuppgifter som motsvarar de som blir aktuella vid drift av djupförvaret finns redan idag i olika industriella sammanhang. Optimering av verksamheterna med avseende på strålskydd och konventionellt skydd, inte minst vad gäller anläggningsarbeten under jord kommer att göras kontinuerligt såväl under projekteringskedet som när anläggningarna tagits i drift. Både inkapslingsanläggning och djupförvar kan uppföras inom ramen för gällande tidsplaner med fullgod driftsäkerhet. Säkerheten vid anläggningarnas drift kommer att redovisas detaljerat i de preliminära säkerhetsrapporter som upprättas i samband med tillståndsprovningar för anläggningarna. En översiktlig redovisning av anläggningarnas säkerhet vid drift ges i kapitel 5.

En senareläggning av projektet i förhållande till nuvarande tidsplaner innebär en förlängd drift av CLAB. Längre tids lagring av bränsle i CLAB är som framgår av avsnitten 4.2.4 och 5.2.4 fullt möjlig att genomföra med uppfyllt säkerhet så länge driften av anläggningen sker under kontrollerade former. Lagringen i CLAB kan utsträckas till minst 100 år förutsatt att regelbundet underhåll och utbyte av komponenter sker. För längre tids lagring i CLAB krävs också uppföljningsprogram för att säkerställa bergförstärkningarnas funktion och behov av reparationer och förnyelse av vissa delar av byggnadskonstruktionerna.

9.4.3 Påverkan på långsiktig säkerhet

Den långsiktiga säkerheten i djupförvaret påverkas inte av ett eventuellt senareläggande av inkapsling och deponering. Radioaktiviteten i det använda bränslet avklingar allt långsammare med tiden, vilket innebär att vinsterna i form av minskad radioaktivitet och värmeutveckling är små vid ett senareläggande av deponeringen. Säkerhetsanalysen för djupförvaret ska vid förvarets byggande, drift och förslutning visa att den långsiktiga säkerheten hos förvaret säkerställs.

Om det i något skede av deponering eller efter förslutning av förvaret skulle ifrågasättas att den långsiktiga säkerheten kan säkerställas är återtag en reell möjlighet. Ett återtag av deponerat bränsle från djupförvaret ses främst som en möjlighet för de 10 % av

bränslet som deponeras under djupförvarets inledande driftskede. Återtag ska emellertid vara möjligt också under senare skeden av förvarets drift och även efter förslutning (se vidare avsnitt 4.6). Möjligheten till återtag finns vid varje tidpunkt, men såväl tekniska som ekonomiska åtaganden blir mer omfattande ju längre tid driften av djupförvaret pågått och förslutning och avetablering av olika delar genomförts.

9.5 Referenser

- 9-1 Planeringsrapport för miljökonsekvensbeskrivning.
SKB Projekt Inkapsling, Projekt PM 95-3410-01, Stockholm, december 1995.
- 9-2 FUD-program 92. Kompletterande redovisning. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Komplettering till 1992 års program sammanställd med anledning av regeringsbeslut 1993-12-16.
SKB, Stockholm, augusti 1994.
- 9-3 Underlagsrapport till FUD-program 92. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Lokalisering av ett djupförvar.
SKB, Stockholm, september 1992.
- 9-4 Översiktsstudie 95. Lokalisering av djupförvar för använt kärnbränsle.
SKB, Stockholm, November 1995.
- 9-5 Leijon B
Nord-syd/kust-inland. Generella skillnader i förutsättningar för lokalisering av djupförvar mellan olika delar av Sverige.
SKB rapport R-98-16, Stockholm, september 1998.
- 9-6 Översiktsstudie av Blekinge län: Geologiska förutsättningar
SKB rapport R-98-22, Stockholm, september 1998.
- 9-7 Översiktsstudie av Kalmar län: Geologiska förutsättningar
SKB rapport R-98-24, Stockholm, september 1998.
- 9-8 Översiktsstudie av Östergötlands län: Geologiska förutsättningar
SKB rapport R-98-26, Stockholm, september 1998.
- 9-9 Översiktsstudie av Södermanlands län: Geologiska förutsättningar
SKB rapport R-98-28, Stockholm, september 1998.
- 9-10 Översiktsstudie av Stockholms län: Geologiska förutsättningar
SKB rapport R-98-30, Stockholm, september 1998.
- 9-11 Översiktsstudie av Uppsala län: Geologiska förutsättningar
SKB rapport R-98-32, Stockholm, september 1998.

- 9-12 Översiktsstudie av Gävleborgs län: Geologiska förutsättningar
SKB rapport R-98-34, Stockholm, september 1998.
- 9-13 Översiktsstudie av Västernorrlands län: Geologiska förutsättningar
SKB rapport R-98-36, Stockholm, september 1998.
- 9-14 Översiktsstudie av Västerbottens län: Geologiska förutsättningar
SKB rapport R-98-38, Stockholm, september 1998.
- 9-15 Översiktsstudie av Norrbottens län: Geologiska förutsättningar
SKB rapport R-98-40, Stockholm, september 1998.
- 9-16 Förstudie Storuman. Slutrapport.
SKB, Djupförvar Lokalisering. Stockholm, januari 1995.
- 9-17 Förstudie Malå. Slutrapport.
SKB, Djupförvar Lokalisering. Stockholm, mars 1996.
- 9-18 Förstudie Östhammar. Preliminär slutrapport.
SKB, Djupförvar Lokalisering. Stockholm, september 1997.
- 9-19 Förstudie Nyköping Preliminär slutrapport.
SKB, Djupförvar Lokalisering. Stockholm, maj 1997.
- 9-20 FUD-program 98. Kärnavfallets behandling och slutförvaring. Program för
forskning samt utveckling och demonstration av inkapsling och geologisk
djupförvaring.
SKB, Stockholm, september 1998.
- 9-21 Program för forskning m m angående kärnkraftavfallets behandling och
slutförvaring.
Miljödepartementet - Regeringsbeslut 25. Stockholm, 1996-12-19.

10 Handlingsfrihet i teknisk utformning av systemet

10.1 Inledning

I föregående kapitel (kapitel 9) diskuterades handlingsfrihet inom KBS-3-systemet vad gäller lokalisering och tidsplaner. Det finns handlingsfrihet även när det gäller den tekniska utformningen av de olika delarna inom KBS-3-systemet. Det slutliga valet av teknisk utformning baseras på den anpassning som måste göras till förutsättningar på platsen för djupförvaret och på resultat från den forskning och utveckling som bedrivs inom olika områden. Till exempel kommer resultat från Äspölaboratoriet och Kapsellaboratoriet att utgöra underlag för den tekniska utformningen av systemet, liksom den information som inhämtas från detaljundersökningar på platsen för ett djupförvar.

Områden där olika tekniska lösningar och variationer studeras är:

- Mellanlagring.
- Förvarets layout.
- Förvarets djup.
- Kapselutformning.
- Val av material för buffert och återfyllnad.
- Teknik för drivning av tunnlar och borring av hål.
- Teknik för deponering.

Ett val av teknisk utformning på ett område kan också under vissa omständigheter påverka teknikvalet för ett annat område. Exempel på detta är att det valda förvarsdjupet kan ha en påverkan på val av horisontell eller vertikal deponering av kapslar.

10.2 Olika typer av mellanlagring

10.2.1 Inledning

I samband med tillståndsansökan för den planerade utbyggnaden av CLAB har frågor kring olika typer av mellanlagring av använt kärnbränsle tagits upp. Med anledning av detta har en utredning gjorts kring principerna för torr och våt mellanlagring. Den belyser de tekniska, säkerhetsmässiga, miljömässiga och ekonomiska skillnaderna mellan de två metoderna. /10-1/.

Mellanlagring av använt bränsle görs idag som våt lagring i CLAB. Ifall man i framtiden väljer att fortsätta mellanlagringen under längre tid än vad som nu planeras bör alternativ med torr lagring i behållare eller strålskärmande byggnader utredas vidare. Ett

sådant alternativ ger förmodligen lägre driftskostnader men kräver stora investeringar i behållare och nya anläggningsdelar.

Våt mellanlagring var den ursprungliga metoden som användes för mellanlagring av använt bränsle, eftersom kärnkraftverken från början försågs med bassänger med kapacitet för lagring av bränsle från åtminstone fem års drift. Detta innebar att metoden med våt lagring var väl beprövad och därför utgjorde ett naturligt val när det centrala mellanlagret CLAB planerades. Däremot fanns det vid den tiden inte några principiellt annorlunda metoder som var tillräckligt utvecklade för en licensiering. Den lagringsmetod som därför valdes för CLAB är i väsentliga delar samma som den som redan tillämpades för använt bränsle i bassänger vid kärnkraftverken.

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

Inom KBS-3-systemet kan en mycket lång tids mellanlagring av använt kärnbränsle, eller ett återtag av deponerat, inkapslat bränsle leda till att torr mellanlagring av använt bränsle blir ekonomiskt intressant om detta kan göras med upprätthållen säkerhet.

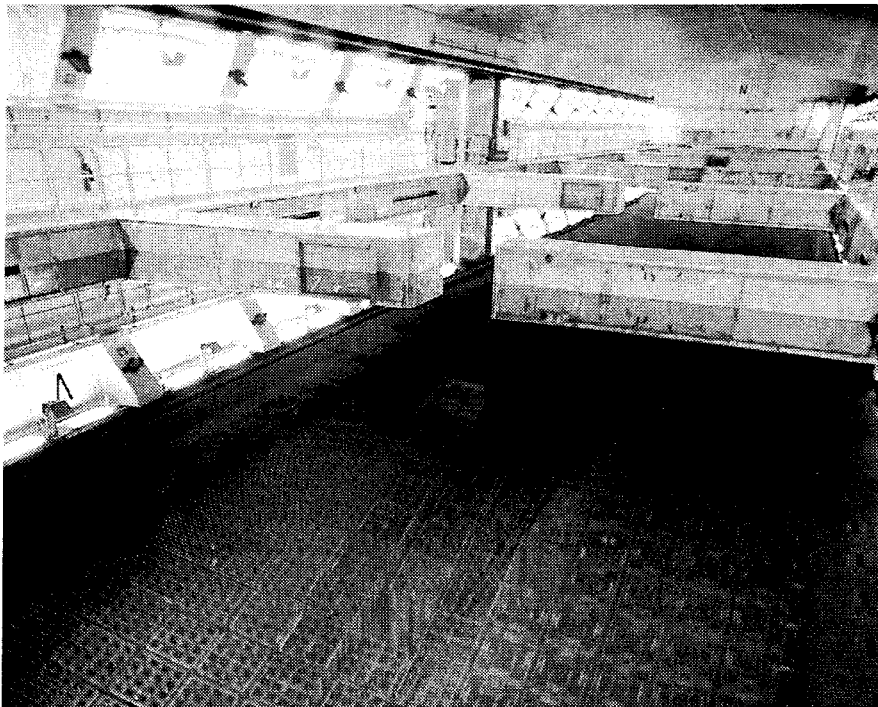
10.2.2 Våt mellanlagring

Använt kärnbränsle som ska lagras i ett centralt vått mellanlager överförs efter uttag ur reaktorerna till bassänger vid kärnkraftverken för lagring. Under den tiden avtar radioaktiviteten och därmed också resteffekten till ca en tiondel av den ursprungliga, vilket gör att transporterna av det använda bränslet underlättas.

Våt mellanlagring (figur 10-1) innebär att vatten utgör såväl kylmedel som strålskärm för bränslet. Vattnet är ett effektivt kylmedel som gör att bränslet kan hållas vid rumstemperatur. En hög vattenkvalitet gör att bränslet kan lagras i denna miljö under mycket lång tid utan att påverkas av korrosion. Detta innebär dock att vattnet måste cirkuleras genom renings- och jonbytesfilter och att vattnet också måste kylas. Detta ställer i sin tur krav på aktiva system med personal och elektricitet för att upprätthålla anläggningens funktioner.

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

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



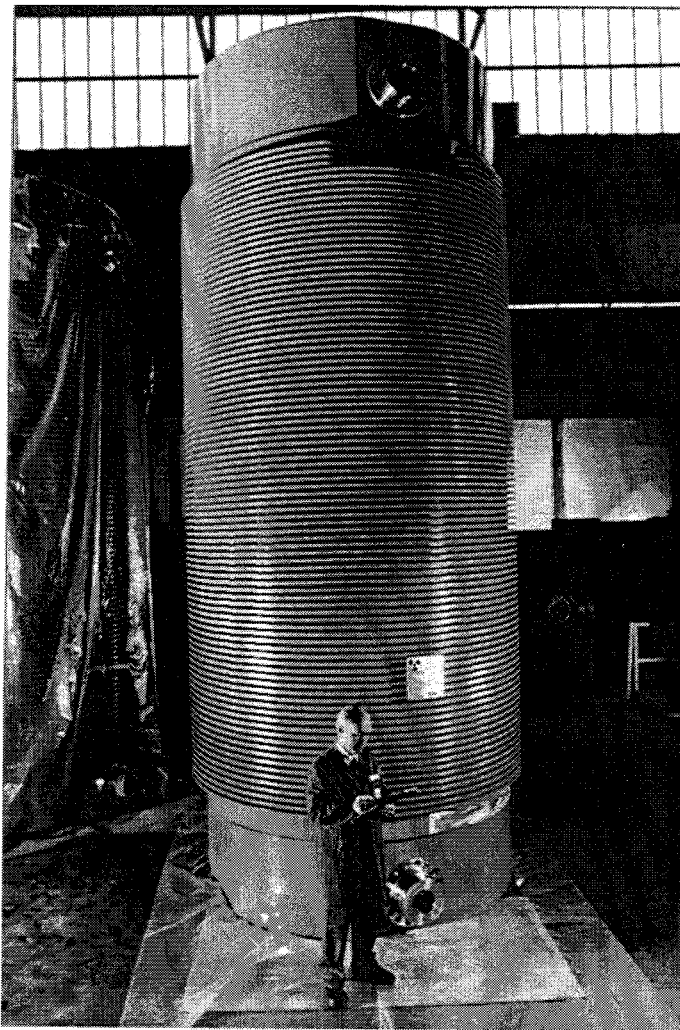
Figur 10-1 Våt mellanlagring av använt kärnbränsle i CLAB.

10.2.3 Torr mellanlagring

Torr mellanlagring innebär att det använda bränslet förvaras i luft- eller gasatmosfär (figur 10-2). För använt bränsle från lättvattenreaktorer är torrlagring möjlig efter ca fem års lagring i vatten vid kärnkraftverken. Efter denna tid har resteffekten reducerats så att temperaturen för det torrlagrade bränslet inte stiger allt för högt. Temperaturgränsen bestäms dels av risken för korrosion i luft, dels av risken för att kapslingen på bränslet skadas.

Tre principiellt olika metoder för lagring av använt bränsle i torrt tillstånd har utvecklats internationellt:

- Gastäta, strålskärmande stålbehållare som även används som transportbehållare.
- Betongbehållare där bränslet kyls med luft genom självcirkulation.
- Strålskärmande betongmoduler där bränslet kyls med luft genom självcirkulation.



Figur 10-2 Torr mellanlagring av använt kärnbränsle i behållare.

Strålskärmande stålbehållare är i princip utformade på samma sätt som transportbehållare för använt bränsle. Stålbehållarna är tätsvetsade och fyllda med helium eller någon annan täckgas. Gasen leder värme från bränslet till behållarens väggar som i sin tur kyls av den omgivande luften. Behållarna fylls med bränsleelement, vakuumtorkas och försluts med dubbla tätningar vid kärnkraftverken. Lagringen kan sedan ske i en enklare byggnad eller utomhus vid det aktuella kärnkraftverket. Bränslets resteffekt gör att temperaturen i behållaren uppgår till 250 – 400 °C.

Betongbehållare, invändigt klädda med rostfritt stål och kyllda med luft genom själv-cirkulation utgör den dominerande metoden för torrlagring av bränsle från kanadensiska CANDU-reaktorer.

På senare tid har även betongmoduler utvecklats för torr mellanlagring. Lagret utgörs av strålskärmande betongmoduler, konstruerade så att luftgenomströmning kylar bränslet. I varje modul placeras upp till 20 lagringsbehållare av stål innehållande det använda bränslet. Systemet med moduler möjliggör en stegvis utbyggnad av lagret.

Torr mellanlagring används internationellt främst i Kanada för bränsle från CANDU-reaktorer och i Storbritannien för bränsle från gaskylda reaktorer. Gemensamt för dessa typer av bränsle är att de har betydlig lägre utbränningsgrad och därmed också lägre resteffekt än bränsle från lättvattenreaktorer. Torrlagring har också börjat tillämpas när bassängerna för använt bränsle i kärnkraftverken börjat bli fyllda. Det senare gäller t ex lättvattenreaktorer i Tyskland och USA.

Större torrlager som hanteringsmässigt liknar centrala våtlager är fullt möjliga att bygga, men har hittills inte kommit till användning.

10.2.4 Påverkan på säkerheten

Våt lagring

Lagring under vatten medför att bränslet hålls väl kylt och strålskärmad. Den låga temperaturen gör att bränslets kapsling inte löper risk att skadas på grund av temperaturpåverkan. Vidare är bränslet hela tiden tillgängligt för inspektion och tillsyn. En förutsättning för bibehållen säkerhet i en anläggning för våt lagring är att den övervakas så att vattnets nivå, kylning och kvalitet upprätthålls. Konsekvenser av att dessa funktioner inte upprätthålls redovisas i avsnitt 5.2.

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

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

Torr lagring

De behållare som används vid torr lagring utgör ett skydd för omgivningen mot såväl strålning som utläckage av radionuklider. Dessutom ger behållarna ett betydande mekaniskt skydd för bränslet.

Kylningen genom självcirkulerande luft eller genom ventilation av lagringsutrymmet för behållare innebär att behovet av tillsyn är minimalt sedan behållarna med bränsle har tillslutits. Likaså innebär metoden att det inte uppkommer något radioaktivt avfall vid lagring. Däremot försvåras möjligheterna till inspektion och övervakning av bränslet när detta ligger inneslutet i täta behållare.

Den relativt höga temperaturen i bränslets omgivning medför ökade påfrestningar på bränslets kapsling med ökad risk för skador dels på grund av ökande korrosions-hastighet vid höga temperaturer, dels på grund av ett ökat inre tryck i bränslestavarna.

10.2.5 Sammanfattning

Använt kärnbränsle från de svenska kärnkraftverken överförs idag till bassänger i CLAB efter minst nio månaders lagring vid kärnkraftverken. En mycket lång tids mellanlagring av bränslet eller ett återtag av inkapslat bränsle kan aktualisera frågan om torr mellanlagring som alternativ till den nuvarande lösningen. Såväl torr som våt mellanlagring har använts internationellt under många år, och erfarenheterna är goda för båda metoderna. Någon generell rekommendation av någon av metoderna som säkerhetsmässigt eller miljömässigt mer fördelaktig än den andra är svår att ge. Omständigheter som lagrets storlek, resteffekten hos bränslet som ska lagras, möjligheter till övervakning, behov av inspektion av bränslet, etc är faktorer som måste vägas in vid ett ställningstagande om lagringsmetod. Drifts- och anläggningskostnaderna vid nyanläggning är i allmänhet lägre för ett torrlager än för nyetablering av en anläggning med våt lagring i bassänger.

10.3 Layout för djupförvaret

10.3.1 Inledning

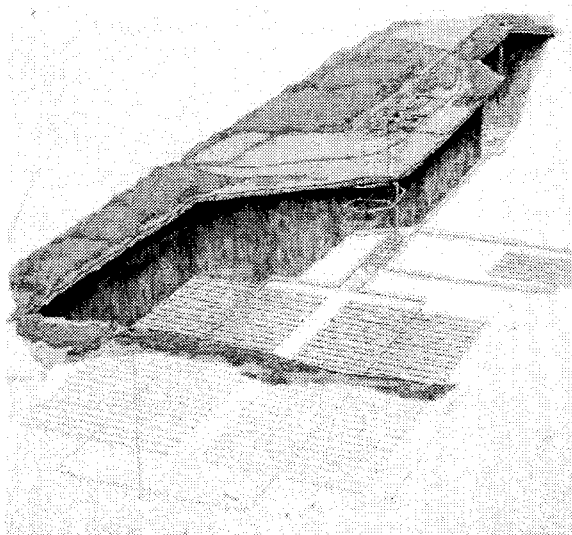
Ett djupförvar för använt kärnbränsle kan utformas på flera olika sätt. Ett antal principiellt olika utformningar har studerats av SKB, t ex KBS-3, WP-Cave, djupa borrhål, långa tunnlar och medellånga tunnlar. I FUD-program 92 /10-2/, som ger en sammanfattande redovisning av dessa studier, drogs slutsatsen att ”utformning enligt KBS-3 behålls som huvudalternativ för det fortsatta arbetet.”

Det finns emellertid möjlighet till optimering och tekniskt närliggande varianter av utformning inom KBS-3-konceptet. Slutligt val av olika lösningar som t ex schakt eller ramp liksom placering av de olika förvarsdelarna i förhållande till varandra och till ovanjordsdelen är beroende av förutsättningarna på den valda platsen. Inplacering av deponeringstunnlar i deponeringsområdena och av deponeringshål i tunnlar bestäms i detalj med utgångspunkt från bergets egenskaper på platsen, vilket gör att den detaljerade utformningen av förvaret bestäms när ingående kunskaper finns från detaljundersökning och pågående utbyggnad. Den relativt långa tid som deponering och byggande av förvaret pågår, ca 40 år, gör också att den tekniska utvecklingen kan leda till förändringar i utformning under drifttiden.

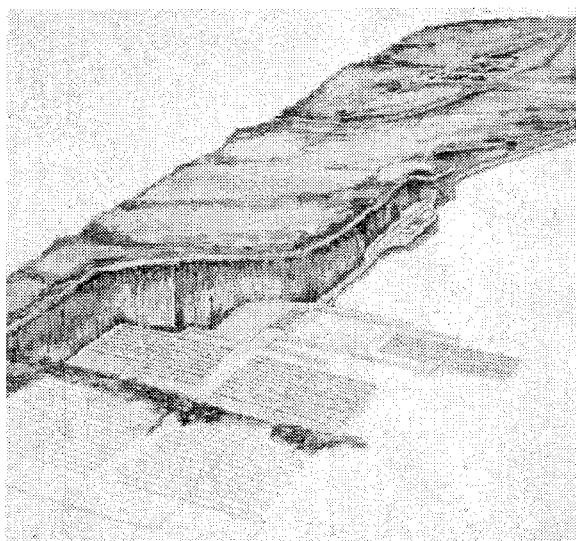
10.3.2 Schakt kontra ramp

Tre principiellt olika nerfartssystem till djupförvarets underjordsanläggning har studerats (figur 10-3):

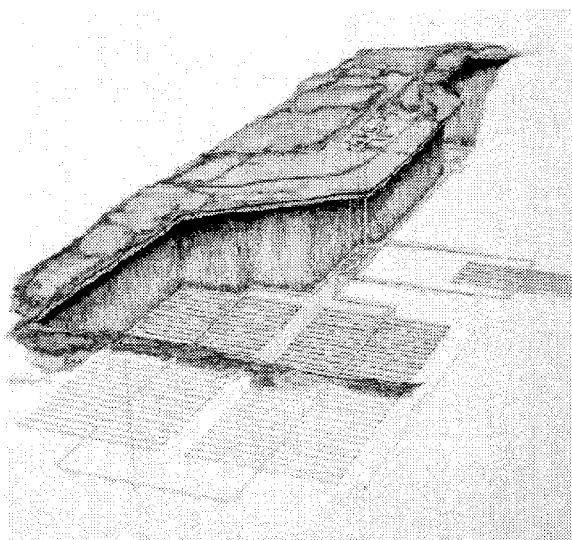
- Spiralramp.
- Rak ramp.
- Schakt.



a



b



c

*Figur 10-3 Olika nerfartssystem till djupförvaret.
a) spiralramp
b) rak ramp
c) schakt.*

Vilket nedfartssystem som är lämpligast beror på tekniska faktorer men också på lokala förhållanden. Det finns exempelvis goda möjligheter att lokalisera ovanjordsanläggningen så att hänsyn tas till tekniska krav på markförhållanden och till konkurrerande markanvändning, samtidigt som underjordsdelen förläggs optimalt ur säkerhetssynpunkt. Detta kan ske genom en separering i sidled av ovanjordsanläggningen från underjordsanläggningen med hjälp av en sluttande ramp.

Spiralramp

Spiralramp utgör huvudalternativ som förbindelse mellan djupförvarets ovanjords- och underjordsanläggningar. Rampen anpassas för att kunna utnyttjas för alla tunga och skrymmande transporter mellan industriområdet och förvarsnivån, d v s för bergmassor, transportbehållare, buffertmaterial, återfyllnadsmaterial och maskiner. Till detta kommer ett schakt för snabba personaltransporter och service. Dessutom utnyttjas schakt för försörjning av ventilationsluft etc. Detta alternativ kräver att industriområdet ovan jord ligger rakt över centralområdet under jord.

Rak ramp

I detta alternativ sker alla transporter och mediaförsörjning i rampen. Schakt finns vid denna utformning endast för frånluften från förvarsområdet. Inga styrande samband finns mellan industriområdet ovan jord och förvarsområdet under jord. Sidoförflyttningen mellan de två områdena kan uppgå till åtskilliga kilometer. Vid en lutning på 1:7 i en rak ramp blir sidoförflyttningen 3,5 km ner till 500 m nivå.

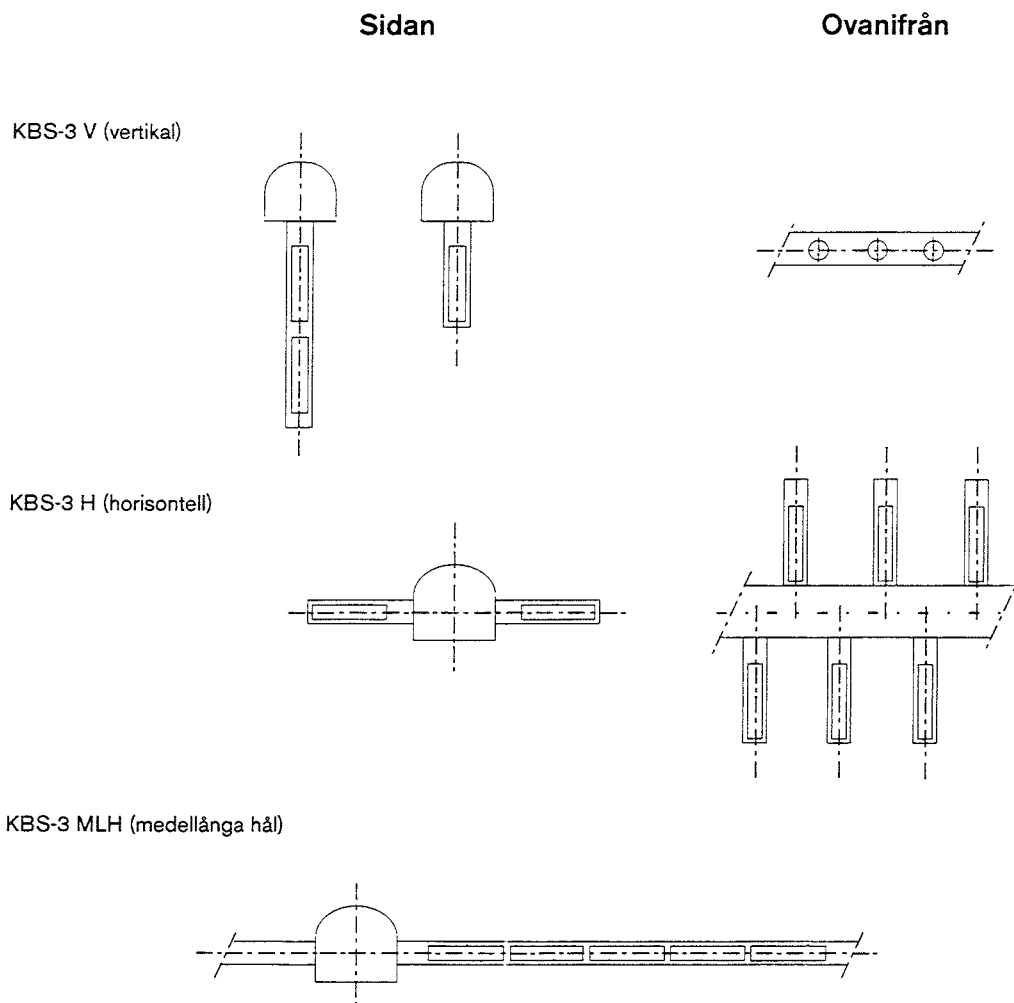
Schakt

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

10.3.3 Varianter av deponering

Deponering av kapslar kan utföras på några principiellt olika sätt (se figur 10-4):

- Vertikalt med en eller flera kapslar.
- Horisontellt med en kapsel.
- I medellånga tunnlar.



Figur 10-4 Deponering av kapslar
a) vertikalt med en eller flera kapslar
b) horisontellt
c) medellånga tunnlar

Vertikal deponering med en eller flera kapslar

Huvudalternativet för deponering är att kapslarna deponeras en och en i vertikalt borrhade deponeringshål. Deponeringshålen är ca 1,75 m i diameter och ca 8 m djupa. Bentonitblocken pressas till en tjocklek på ca 0,29 m, så att toleransen mellan bentonit och bergvägg blir ca 50 mm vid deponering. Den inre spalten mellan kapselvägg och bentonit är ca 10 mm.

En variation till huvudalternativet är att deponera flera kapslar vertikalt på varandra i samma deponeringshål. Bentoniten i deponeringshålets botten kan bära lasten av minst två kapslar.

Horisontell deponering med en kapsel

En möjlighet är att deponera kapslar i horisontellt borrarade hål i deponeringstunnelns väggar. Båda väggarna i deponeringstunneln kan då komma till användning, vilket gör att den totala längden på deponeringstunnlar i förvaret i princip kan halveras med en sådan lösning jämfört med vertikal deponering med en kapsel. I de studier som gjorts kring horisontell deponering förutsätts samma typ av kapsel komma till användning som vid vertikal deponering. Eftersom mängden kompakterad bentonit avgör den homogenerade och svällande buffertens egenskaper, förutsätts att samma toleranser, som kan tillåtas vid vertikal deponering även kan tillåtas vid horisontell deponering. Deponeringshållets storlek blir därmed också det samma vid horisontell deponering som vid vertikal deponering med en kapsel.

Några tekniska lösningar för deponering redovisas i avsnitt 10.8. Övriga delar av anläggningen, såväl ovan som under jord, förändras inte principiellt jämfört med huvudalternativet vid horisontell deponering av kapslar.

Deponering i medellånga tunnlar

Medellånga tunnlar studerades av SKB inom Projekt AlternativStudier för Slutförvar (PASS) /10-3/. Deponeringsområdet utgörs, liksom i huvudalternativet, av ett antal parallella deponeringstunnlar på ca 500 m djup. Tunnelarna har en diameter på 1,75 m, d v s samma som deponeringshålen i huvudalternativet. Deponering av kapslar sker horisontellt i rad i tunnelarna. Kapslarnas väggar omges med 0,35 m bentonit (i utsvällt tillstånd) och utrymmet mellan kapslarna i tunneln fylls också med bentonit. Metoden är jämfört med huvudalternativet baserad på mer oprövade tekniska lösningar och ett flertal system och tekniska detaljlösningar behöver studeras vidare.

10.3.4 Påverkan på driftsäkerheten

Schakt kontra ramp

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

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

Varianter på deponering

Hittills genomförda studier visar att driftsäkerheten går att upprätthålla vid såväl horisontell som vertikal deponering av kapslar. Tekniken för vertikal deponering är för närvarande mer utvecklad och utgör också huvudalternativ för deponering. Teknikval vid olika typer av deponering diskuteras i avsnitt 10.8.

Horisontell deponering förenklar dräneringen av deponeringshål. En horisontell tunnel har också gynnsammare form ur spänningssynpunkt än en tunnel med hål neråt, vilket kan ge fördelar vid höga initiala bergspänningar.

För medellånga tunnlar bör deponeringen i varje tunnel ske i en sekvens utan avbrott, med hänsyn till att bentoniten börjar svälla när den kommer i kontakt med vatten. Placering av bentonitbufferten bygger i detta alternativ på fjärmanövrerad teknik med små utrymmen mellan utrustning och bergvägg. Kapselplacering sker horisontellt i mitten på bentonitbufferten genom att kapseln skjuts in i det förberedda hålet. I huvudalternativet kan bentonitblocken placeras in med enklare teknik och kapselns position i deponeringshålet är lättare att justera. Deponeringen av varje kapsel är vid vertikal deponering en avslutad operation, vilket ger flexibilitet i frågan om avbrott och planerade uppehåll. Det är dock väsentligt att deponeringstunneln återfylls innan bentoniten i deponeringshålen tagit upp så mycket vatten att det kan leda till uppsvällning ur hålen.

10.3.5 Påverkan på långsiktig säkerhet

Schakt kontra ramp

Schakt skapar färre kanaler till berget än en ramp eftersom färre grundvattenförande sprickzoner passeras i ett sådant alternativ. Detta kan möjligen ses som en fördel för den långsiktiga säkerheten. Såväl spiralramp som schakt innebär att ett mindre område i berget blir stört än vad som är fallet med en sluttande ramp som kan ha en utsträckning på över 10 km och därmed ge upphov till ett större område av stört berg. En anpassning efter lokala förhållanden gör dock att sådana skillnader kan begränsas.

Varianter av deponering

När det gäller långsiktig funktion och säkerhet har såväl kvalitativa som kvantitativa analyser tidigare demonstrerat att medellånga tunnlar är likvärdigt med huvudalternativet /10-3/. Utredningar pågår för närvarande för att granska påverkan på den långsiktiga säkerheten av horisontell och vertikal deponering, men det finns inget som för närvarande tyder på att den långsiktiga säkerheten inte skulle gå att upprätthålla i båda fallen, eller att något av alternativen har markant bättre säkerhet.

10.4 Djup för förvaret

10.4.1 Faktorer som påverkar valet av djup

Ett djupförvar ska vara placerat på ett sådant djup att bergets funktion som barriär långsiktigt säkerställs samtidigt som de övriga barriärernas funktion inte påverkas negativt. Vidare ska byggande och drift av förvaret kunna utföras på ett tillfredsställande sätt. Faktorer som man därvid måste ta hänsyn till är att förvaret läggs på ett tillräckligt djup för att /10-4/:

- Inte långsiktig erosion, inklusive glaciationer, och händelser på markytan (explosioner, undermarksbyggande, brunnsborring) ska äventyra förvarets funktion.
- Bergets hydrauliska konduktivitet ska vara låg.
- Reducerande kemiska förhållanden ska råda.

Å andra sidan bör försvarsdjupet inte väljas så stort att:

- Höga bergspänningar äventyrar bergrummens stabilitet under bygg- och deponeringsskedet.
- Den naturliga temperaturen på försvarsnivå blir så hög att arbetsmiljöfrågorna inte kan bemästras på ett tillfredsställande sätt eller att uppställda krav på maximitemperatur under förvaringsskedet inte kan uppfyllas.
- Undersökningar från markytan inte försvåras onödigt.
- Driften försvåras onödigt på grund av t ex mycket långa transporter.

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

10.4.2 Påverkan på driftsäkerheten

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

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

Bergets kvalitet ändras inte generellt med djupet. Däremot ökar bergspänningarna. Detta försämrar förutsättningarna för bergbyggnad, och medför högre krav på bergförstärkningar. Det kan också leda till ett behov av modifierad teknik för berggutttag och förstärkning, och till begränsningar av tunnarnas storlek och geometri. Vidare kan det ökade grundvattentrycket leda till ökad risk för ras och större okontrollerade vattengenombrott.

Riskerna för oväntade händelser ökar vid större förvarsdjup bl a på grund av bristande erfarenhet av arbeten på stora djup (ca 1 500 m) vid gruvverksamhet i Sverige. Tiderna för utrymning av förvaret vid t ex en större brand blir också längre.

10.4.3 Påverkan på långsiktig säkerhet

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

- Längre transporttid för radionuklider genom berget på grund av låg hydraulisk konduktivitet, längre transportväg, lägre hydraulisk gradient och lägre grundvattenflöde genom förvaret.
- Större utspädningseffekt i utströmningsområdet på grund av dess större utsträckning.
- Mindre grundvattencirkulation på grund av grundvattnets högre salthalt.
- Minskad förekomst av korrodanter som kan angripa kapseln.
- Mindre påverkan av glaciation och permafrost.
- Minskad risk för mänskligt intrång.

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

- Att radionuklidernas fördröjning på grund av sorption på sprickytor och diffusion i bergmatrisen minskar till följd av att skadezonen i berget runt tunnlar och deponeringshål sträcker sig längre ut i berget.
- Större andel främmande material på förvarsdjup på grund av större mängd kvarlämnade bergförstärkningar och cementbaserade injekteringsmedel.
- Negativ påverkan på bentonitleran av grundvattnets högre salthalt vad gäller svällningsegenskaper och illitisering (se avsnitt 6.3.2).

10.5 Kapselutformning

10.5.1 Faktorer som påverkar kapselutformningen

Den grundläggande funktionen för kapseln är att isolera det använda bränslet i djupförvaret. Isoleringen ska bestå under lång tid. Kapseln ska dessutom inte skada de

övriga barriärerna i förvaret. Samtidigt ska man vid utformningen av kapseln ta hänsyn till att den ska kunna tillverkas, fyllas och förslutas på ett tillförlitligt sätt, samt att den ska kunna transporteras och deponeras så att det inkapslade bränslet eller kapseln inte skadas.

Den grundläggande isolerande funktionen uppnås genom att kapseln:

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

För att kapseln inte ska skada de övriga barriärerna ska:

- Materialet i kapseln inte påverka buffert och berg negativt.
- Värmeavgivningen och stråldosen från kapseln vara tillräckligt låg.
- Kapseln utformas så att kriticitet inte uppstår även om vatten tränger in i kapseln.
- Bottentrycket från kapseln mot bentoniten inte leder till att bentonit under kapselns botten trycks upp vid dess väggar.

För att kapseln ska kunna hanteras säkert, ska den:

- Kunna hanteras så att de missöden som kan förutses inte leder till att personalen utsätts för oacceptabla stråldoser eller till utsläpp av radioaktivt material.
- Kunna transporteras till djupförvaret och deponeras på ett säkert sätt.
- Om så erfordras kunna återtogs från djupförvaret på ett säkert sätt.

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

En detaljerad genomgång av konstruktionsförutsättningarna för kapseln ges i /10-5/. Utifrån dessa konstruktionsförutsättningar kan man bestämma:

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

I det pågående arbetet har SKB valt att koncentrera sina insatser på en referenskapsel bestående av en inre kärna i gjutjärn med kanaler för bränsleelementen och en yttre

behållare av 5 cm tjock koppar. Kapseln rymmer tolv BWR-element eller fyra PWR-element. Kapseln försluts med elektronstrålesvetsning.

I det fortsatta arbetet kommer andra utformningar av kapseln att studeras. Handlingsfriheten är alltså betydande och den slutliga utformningen av kapseln behöver inte fastläggas förrän en ansökan lämnas om att få bygga en inkapslingsanläggning. Med hänsyn till den långa tid som inkapsling av bränsle kommer att pågå är det dessutom möjligt att kapselns utformning kommer att förändras innan den sista kapseln har deponerats.

10.5.2 Kapselstorlek

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

I de svenska studierna har kapslar som tar mellan 4 och 24 BWR-element studerats. De mindre kapslarna var avsedda för deponering i djupa borrhål, medan de större avsåg deponering i tunnlar /10-3/. För deponering enligt huvudalternativet KBS-3 har kapslar med mellan 9 och 16 BWR-element studerats. Med den planerade tidsplanen för deponering bedöms den största effektiviteten erhållas om kapslar med tolv BWR-element (eller fyra PWR-element) används. Senareläggs deponeringen avsevärt kan det bli aktuellt att använda större kapslar.

10.5.3 Material och materialtjocklek i kapseln

Yttre kapsel

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

Korrosionsegenskaperna hos koppar är väl utredda. En sammanfattande bedömning av kunskapsläget ges i /10-6/. Slutsatserna är att det är mycket osannolikt att allmän eller lokal korrosion ska vara begränsande för kapselns livslängd i djupförvaret. För inga andra av de alternativa materialen, med undantag för keramer, kan motsvarande långtidsbedömningar göras med samma grad av tillförlitlighet. Utifrån korrosionsegenskaper har därför koppar rankats högst som material i den yttre kapseln.

Från korrosionssynpunkt bör ren syrefri koppar användas. Samtidigt ställer funktionen i djupförvaret krav på att materialet har tillräcklig duktilitet. För att uppnå detta har en

kopparkvalitet med 40 - 60 ppm fosfor valts som referensmaterial. Andra kopparkvaliteter kan också bli aktuella.

Väggjockleken för kopparkapseln väljs i första hand med hänsyn till korrosionstiden. I referenskapseln är väggjockleken 50 mm. Detta innebär en stor säkerhetsmarginal, varför koppertjockleken troligen kommer att kunna minskas. Med en tunnare kopparvägg är det troligt att en enklare teknik kan användas för att svetsa på locket, och för att kontrollera svetsen. Samtidigt kan inte kopparväggen göras så tunn att den inte ger tillräcklig hållfasthet vid tillverkning och hantering. För närvarande studeras även 30 mm väggjocklek.

Väggjockleken påverkar även strålningsnivån utanför kapseln. Ifall kopparkapseln görs tunnare måste det kompenseras med att insatsen görs tjockare.

Inre kapsel

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

10.5.4 Tillverkningsteknik för kapsel

Flera olika metoder för tillverkning av kopparkapseln har identifierats. Under senare år har provtillverkning gjorts, dels genom valsning av kopparplåt som bockas till rörhalvor och därefter svetsas ihop med elektronstrålesvetsning, dels via extrudering och dompressning av kopparrör i ett stycke. Botten har svetsats fast med samma teknik som använts för locksvetsning, d v s med elektronstrålesvetsning /10-7/. Andra metoder som het isostatisk pressning, elektrodeponering och spray-forming har också övervägts.

En viktig del i det fortsatta arbetet med olika metoder är att utvärdera vilken materialkvalitet som kan uppnås, t ex beträffande renhet, duktilitet och kornstorlek. Vidare kommer metoderna och systemet för kvalitetssäkring av kapseln att utvecklas.

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

För tillverkning av insatsen testas för närvarande olika gjuttekniker.

10.5.5 Förslutningsteknik för kapsel

Stora krav ställs på förslutningen av kopparkapseln. Svetsen ska vara tät och inte ha ytnära eller ytbrytande defekter, samt ha ett begränsat antal interna defekter. Svetsen ska vidare kunna kontrolleras med oförstörande provning.

För referenskapseln har tekniken för förslutning av kopparlock med elektronstrålesvetsning utvecklats vid TWI i Cambridge /10-8/. Denna svetssteknik prövas nu i industriell tillämpning i Kapsellaboratoriet i Oskarshamn. Parallellt testas ultraljuds- och röntgenmetoder för oförstörande provning.

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

10.5.6 Påverkan på driftsäkerheten

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

Elektronstrålesvetsning är i sig en stark strålkälla som kräver omfattande strålskärning, samt god kontroll på styrningen av elektronstrålen. Erfarenhetsmässigt leder förenklad utrustning till ökad säkerhet och inte minst ökad tillgänglighet.

Förändringar i kapselns utförande och främst i dess väggjocklek kommer att påverka strålningsnivån kring kapseln. Ur driftsäkerhetssynpunkt har detta en begränsad inverkan, eftersom strålskärnarna får anpassas efter strålningsnivån.

10.5.7 Påverkan på långsiktig säkerhet

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

En övergång till en tunnare kopparvägg, t ex 30 mm, ger mindre säkerhetsmarginaler för korrosion. Genomförda studier visar dock att säkerhetsmarginalerna är mycket stora även vid 30 mm /10-5/. Med en tunnare kopparkapsel är det möjligt att kontrollmöjligheterna med oförstörande provning förbättras, vilket minskar risken för outhärliga defekter i kapseln och kapselsvetsen. Då en kapsel med initial kapselskada

säkerhetsmässigt ger de största konsekvenserna, finns det potential för att öka säkerhetsmarginalerna med minskad väggjocklek.

10.6 Buffert- och återfyllnadsmaterial

10.6.1 Faktorer som påverkar val av buffert- och återfyllnadsmaterial

Buffertmaterial

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

- Helt omsluta och skydda kapseln under lång tid.
- Hålla kapseln centrerad i deponeringshålet.
- Hindra strömning av grundvatten genom bufferten och därmed hindra att korrosiva ämnen transporteras till kapseln på annat sätt än genom diffusion.

Dessa krav ställer i sin tur krav på att bentonitbufferten stannar kvar i deponeringshålet och att den är kemiskt stabil under lång tid. Ett annat krav som ställs är att bentoniten, tillräckligt effektivt leder bort värmen från kapseln.

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

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

Återfyllnad

Materialet som är tänkt att användas vid återfyllning av tunnlar, berggrum och schakt ska väljas så att det:

- Motverkar utsvällning av bentonit från deponeringshålen.
- Motstår kemisk omvandling under lång tid.
- Inte medför betydelsefull kemisk omvandling av bufferten runt kapseln.
- Grundvattenströmningen genom återfyllnadsmaterialet begränsas.

10.6.2 Tjocklek och täthet för bentonitbuffert

Buffertens tjocklek under kapseln bestäms till viss del av tjocklek och material hos bottenavjämningen i deponeringshålen. Detta gäller i hög grad om betong används till bottenavjämning, eftersom detta förväntas påverka ovanliggande bentonit. Dessutom ska buffertens botten-tjocklek vara tillräcklig för att bära kapseln och för att fördröja transport av radionuklider vid ett eventuellt läckage från kapseln.

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

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

10.6.3 Buffertmaterial

De krav som ställs på buffertmaterial leder till att en svällande lera med hög smektithalt är lämpligast. Därmed begränsas valet av buffert till bentonitlera, som dock kan vara av olika kvalitet beroende på ursprung. Huvudalternativet baseras på en natriumrik bentonit från Wyoming i USA. Tillgången på bentonit är mycket stor på platsen, men det kan förekomma variationer i bentonitens kvalitet. I Europa finns bentonit att tillgå från t ex Tyskland, Grekland och Italien. Dessa bentonitleror innehåller kalcium istället för natrium, men kan konverteras till natriumform. Denna process tillämpades bl a för den bentonit som användes i SFR:s silo.

10.6.4 Återfyllnadsmaterial

Återfyllnadsmaterial kan utgöras av enbart bergkross eller kvartssand, eller av en blandning av endera av dessa med bentonitlera. Mängden bentonitlera som behöver blandas in beror på grundvattnets salthalt. Vid höga salthalter krävs en större inblandning av bentonit för att samma hydrauliska konduktivitet ska fås som vid låg salthalt.

10.6.5 Påverkan på driftsäkerheten

Buffert

Val av typ och tjocklek på bufferten påverkar inte säkerheten vid drift av förvaret. Tillverkning och inplacering av bentonitblock med större tjocklek än 30 cm medför inte heller några ökade svårigheter. Ett val av leverantör av buffertmaterial från USA kan bli ett problem vid t ex en avspärringssituation. I övrigt finns inga säkerhetsmässiga för- eller nackdelar med de typer av bentonit som finns i USA eller Europa.

Återfyllnad

Återfyllnadsmaterialet i deponeringstunnlarna ska under förvarets drift utgöra ett motstånd mot uppsvällning av bentonitlera från deponeringshålen. De återfyllnadsmaterial som diskuteras ovan uppfyller det kravet. Dammning i underjordsmiljö kan utgöra ett arbetsmiljöproblem, inte minst när det gäller små kvartspartiklar som kan förorsaka silikos. Det är därför väsentligt att man vid en eventuell användning av kvartssand inte har med allt för fina fraktioner av materialet utan avskiljer dessa före hanteringen i förvaret. Den påtänkta kvaliteten ”Bornholmssand” är gynnsam i detta hänseende.

10.6.6 Påverkan på långsiktig säkerhet

Buffert

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

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

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

Återfyllnad

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

10.7 Teknik för tunneldrivning och hålborrning

10.7.1 Faktorer som påverkar teknikvalet

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

Drivning av deponeringstunnlar och deponeringshål kommer att ske parallellt med deponering av kapslar i andra områden av förvaret. Detta innebär att stabiliteten i de delar av förvaret där deponering pågår inte får äventyras av pågående sprängning/borrning i andra delar av förvaret.

10.7.2 Tillredning av tunnlar

Deponeringstunnlarna har enligt huvudalternativet en höjd på ca 5 m, bredd på ca 5 m och en längd på ca 250 m. Totalt ska ca 120 sådana tunnlar drivas för de ca 4 000 kapslar som ska deponeras. Drivning av tunnlar kan göras genom konventionell sprängning eller genom borrning med tunnelborrningsmaskin (TBM). Båda metoderna användes med gott resultat vid drivning av tunneln vid Äspölaboratoriet.

Borrning med TBM innebär att hela tunnelprofilen borrar ut med en stor maskin. Principen bygger på att ståldiskar med hårdmetallskär monterade på ett borrhuvud trycks mot berget med högt tryck, vilket leder till att bitar av berget bryts loss. Maskiner för borrning av tunnlar av varierande storlek finns på marknaden. Det kan dock krävas en viss anpassning av befintlig teknik, speciellt för förflyttning av borrarutrustningen mellan olika deponeringstunnlar. Generellt gäller att sprängning ger större flexibilitet vid byggande av tunnlar, medan TBM i viss mån begränsar möjligheterna till val av utformning.

10.7.3 Borrning av deponeringshål

Deponeringshålen för kapslar är ca 1,75 m i diameter och ca 8 m djupa. Tre olika metoder för borrning av dessa hål är:

- Kärnborrning.
- Fullborrnings (TBM teknik).
- Hammarborrnings.

Kärnborrning innebär att en ringformad borkrona försedd med diamanter roteras under tryck. En cirkulär slits uppkommer därvid runt deponeringshålets periferi, varefter den

centrala delen som frigjorts kan avlägsnas från hålet. Kärnbörning resulterar i ett borrhål med mycket släta väggar utan nämnvärd sprickbildning.

Fullbörning sker på samma sätt som TBM-tekniken (se ovan). En fullstor borrhkrona försedd med roterande diskar eller kuttrar används. Genom tryck fragmenteras berget och bildar skärvor. Påverkansområdet i det omgivande berget är mindre än 10 cm. Vid Äspölaboratoriet kommer möjligheter att ges att prova fullbörning av deponeringshål i full skala.

Vid hammarbörning används en borr som med slagverk och under rotation slår sönder berget i fragment. Bildat borrhkax kan sedan avlägsnas med vatten eller tryckluft. Påverkansområdet i berget blir ca 5 – 10 cm vid denna typ av börning.

Deponeringshålens kvalitet måste uppfylla vissa krav på raket och riktning för att deponeringen ska kunna genomföras som planerat. Börningar med beprövad teknik kommer att göras vid Äspölaboratoriet för att visa att dessa krav är möjliga att uppfylla. Krav på vatteninflöde och förekommande diskontinuiteter i berget för godkända respektive icke godkända deponeringshål hör också till frågor som studeras och som är föremål för kommande tester vid Äspölaboratoriet.

10.7.4 Påverkan på driftsäkerheten

Tunneldrivning med sprängning ger betydligt större påverkan på zonen närmast tunneln än drivning med TBM-metoden. Försök vid Äspölaboratoriet visade att den störda zonen blev i storleksordningen 2 – 3 cm vid börning med TBM-metoden, medan den vid sprängning i samma typ av berg blev ca 0,3 – 0,8 m i väggar respektive sula /10-9/. Ju mindre skador som drivningen ger på omgivande berg, desto bättre blir normalt stabilitetsförhållandena i tunneln. I undantagsfall, med mycket höga bergspänningar, kan dock en viss uppsprickning vara att föredra eftersom det kan reducera risken för sk smällberg.

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

10.7.5 Påverkan på långsiktig säkerhet

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

Vid tillredning av borrhål misstänks kärnbörning ge upphov till så liten sprickbildning och låga grundvattenflöden att det kan försvåra en jämn vattenmättnad av bentoniten i deponeringshålet. Å andra sidan leder ett lågt vattenflöde till långa transporttider för

radionuklider som eventuellt läckt ut från en defekt kapsel. Fullborrning ger en större sprickbildning i det omgivande berget än vad kärnborrning gör. Däremot är sprickbildningen inte lika stor som vid användning av hammarborrning. Fullborrning bedöms dock ge tillräcklig sprickbildning i berget för att grundvattnet ska spridas tillräckligt jämnt runt bufferten och på så sätt säkerställa en jämn vätning av bentoniten. Vätning av bentonit kan till viss del åstadkommas genom att vatten tillförs utifrån. För fullständig vattenmättnad krävs emellertid även en vätning via grundvattnet.

10.8 Deponeringsteknik

10.8.1 Faktorer som påverkar teknikvalet

Vilken deponeringsteknik som är att föredra är i hög grad kopplad till förvarets layout (avsnitt 10.3). Deponeringen ska göras på ett sådant sätt att säkerheten vid drift säkerställs. Samtidigt ska den långsiktiga säkerheten upprätthållas och så långt det är möjligt verifieras, t ex att det inte uppkommer hålrum mellan de staplade bentonitblocken i deponeringshålen.

10.8.2 Deponeringsteknik vid olika layout

Enligt huvudalternativet deponeras kapslarna en och en i vertikala deponeringshåll. Bentoniten som omger kapseln placeras enligt detta alternativ i form av ”ananasringar” i deponeringshålet. När bentoniten är på plats körs kapseln fram till deponeringshålet med en deponeringsmaskin och sänks ner i det inre utrymmet i bentoniten. När kapseln är på plats läggs bentonitblock över kapseln och hålet fylls ut med en blandning av sand eller bergkross och bentonit. All hantering sker strålskärmat och personal kan hela tiden vara närvarande under deponeringen.

För att prova och demonstrera tekniken för deponering av kapslar i djupförvaret tillverkar SKB en prototyp av en deponeringsmaskin i full skala. Syftet är att skaffa erfarenheter från konstruktion, bygge och drift av en sådan maskin. Projektets huvudmål är att utveckla och prova metodik och utrustning för deponering av kapslar. Vidare ger det möjlighet att demonstrera de olika momenten vid deponering och återtag av kapslar för såväl specialister som allmänhet.

Ett antal metoder finns för horisontell deponering av kapslar. Av dessa bedöms deponering av kapslar och bentonit i ett paket och en metod med separat deponering av buffert och kapsel vara mest intressanta. Vid separat hantering av buffert och kapsel sker deponeringen fjärrstyrt. Vid deponering av kapslar och bentonit i ett paket sker först en montering av bentonitblock runt avfallskapseln. Det färdiga paketet monteras i en strålskyddscylinde som tillsammans med bentonitblocken skärmar av från den strålning som kapseln avger. Hela paketet placeras därefter i det horisontella deponeringshålet.

I de utredningar som gjorts av medellånga tunnlar /10-3/ antas deponeringen ske i två steg, varvid hela bentonitbufferten placeras i ett moment och kapseln skjuts in i det

centrala hålet i bufferten i ett andra moment. När kapseln finns på plats i bufferten placeras en bentonitplugg i den yttre delen.

10.8.3 Påverkan på driftsäkerheten

De olika teknikerna för deponering av kapslar skiljer sig dels genom att kapsel och buffert antingen kan deponeras separat eller som ett paket, dels genom att hanteringen kan ske fjärrstyrt och/eller strålskärmad. Fjärrstyrd verksamhet innebär att deponeringen kan manövreras från ett kontrollrum som är beläget på stort avstånd från deponeringshålet, t ex i berganläggningens centralområde eller ovan jord. Vid såväl fjärrstyrd som strålskärmad hantering är det av vikt att eventuella felfunktioner i systemet under pågående deponering kan åtgärdas utan att personalen utsätts för oacceptabla stråldoser. Detta kan säkerställas genom möjligheten att återföra kapseln till transportbehållaren och/eller genom användning av dubblerade system för de moment som så kräver.

10.8.4 Påverkan på långsiktig säkerhet

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

10.9 Sammanfattning

I denna rapport redovisas KBS-3-metoden för omhändertagande av använt kärnbränsle och långlivat låg- och medelaktivt avfall. Som framgår av detta kapitel är handlingsfriheten stor vad gäller utformning och teknikval inom detta system.

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

Nerfartssystemet till djupförvarets underjordsanläggning kan utgöras av spiralramp, rak ramp eller schakt. Spiralramp utgör huvudalternativ i denna rapport men för detta alternativ krävs att industriområdet ovan jord är förlagt rakt över underjordsanläggningen, något som också är önskvärt om nedfarten utgörs av schakt. En sluttande ramp ger handlingsfrihet att lokalisera anläggningarna ovan och under jord på ett större avstånd från varandra. Beslut om nerfartssystem tas när de lokala förhållandena på

platsen för djupförvaret är kända och när lokalisering av såväl ovanjordsanläggning som underjordsanläggning är bestämd.

Deponeringen av kapslar kan ske vertikalt, horisontellt eller i medellånga tunnlar med bibehållen grundläggande utformning av förvaret. Detta gör att man kan byta från en metod till en annan under förvarets drifttid. Vilken metod som är att föredra är bl a beroende på deponeringsteknik. I dagens läge är tekniken för vertikal deponering mest utvecklad, vilket gör att detta för närvarande utgör huvudalternativ. Djupförvaret är planerat att drivas under en lång tid och det kan därför bli aktuellt med förändring av deponeringstekniken, och därmed också av deponeringsmetod under drifttiden.

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

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

Det buffertmaterial som är aktuellt utgörs av bentonitlera. Några andra naturligt förekommande material som uppfyller de krav som ställs på bufferten finns för närvarande inte. Bentonitlerans tjocklek och täthet bestäms av de krav som ställs på buffertens barriärfunktion och dess funktion att stabilisera kapseln vid rörelser i berget. Buffertens tjocklek begränsas av buffertens egenskaper som värmeisolator. Valet av bränsleelement till en kapsel och den värme som därmed avges är därför avgörande för hur tjock bufferten kan göras.

Återfyllnadsmaterial väljs beroende på vilken hydraulisk konduktivitet som eftersträvas och med hänsyn till lokala förhållanden i förvaret. Vid höga salthalter krävs en större inblandning av bentonit i återfyllnadsmaterialet än om salthalterna är låga. Återfyllnadsmaterialet måste således anpassas efter de lokala förhållanden som råder vid förvaret.

Olika tekniker för drivning av deponeringstunnlar och deponeringshål studeras, bl a med avseende på hur närzonen kring tunnlar och hål påverkas. Mängden sprickor i närområdet är en optimeringsfråga. Det är betydelsefullt att vattenflödet i deponeringshålen är tillräckligt stort för att säkerställa bentonitens vattenmättnad. Vätning av bentoniten kan till viss del ske genom tillförsel av vatten utifrån, men för fullständig vattenmättnad krävs en tillförsel av grundvatten. Handlingsfriheten vad gäller metod för drivning av deponeringstunnlar och deponeringshål kvarstår även efter påbörjad deponering och valet kan omprövas under pågående drift.

Studier och utredningar pågår kontinuerligt kring de olika handlingsalternativ som beskrivits ovan. Vid Äspölaboratoriet pågår undersökningar som bl a inkluderar ett prototypförvar för sex fullstora kapslar. Erfarenheter från detta och uppföljning av den

pågående teknikutvecklingen leder till att teknikvalet inte kommer att låsas förrän i samband med ansökan om att bygga anläggningarna. Även efter det att anläggningarna tagits i drift kommer ett utvecklingsarbete att ske som i flera fall kan leda till byte av teknik under anläggningarnas driftstid.

10.10 Referenser

- 10-1 Söderman E
Jämförelse mellan våt och torr lagring av använt kärnbränsle.
SKB rapport R-98-19, Stockholm, juni 1998.
- 10-2 FUD-program 92. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling och övriga åtgärder.
SKB, Stockholm, september 1992.
- 10-3 Projekt AlternativStudier för Slutförvar (PASS). Slutrapport.
SKB, Stockholm, september 1992.
- 10-4 Winberg A
Förläggning av ett förvar för använt kärnbränsle på 700-2 000 m djup.
Sammanställning av för- och nackdelar.
SKB Djupförvar, Projektrapport PR D-96-002, Stockholm, mars 1996.
- 10-5 Werme L
Konstruktionsförutsättningar för kapsel för använt kärnbränsle.
SKB rapport R-98-08, Stockholm, juli 1998.
- 10-6 Wersin P, Spahiu K, Bruno J
Kinetic Modelling of Bentonite-Canister Interaction. Long Term Predictions of Copper Canister Corrosion under Oxidic and Anoxic Conditions.
SKB Technical Report TR 94-25, Stockholm, September 1994.
- 10-7 Andersson C-G
Prov tillverkning av kopparkapslar med gjutna insatser under 1996 och 1997.
SKB rapport R-98-09, Stockholm, augusti 1998.
- 10-8 Sanderson A, Szluha T F, Ribton C N, Dance B G I, Day A B
The Application of High Power Non-vacuum EB Welding for Encapsulation of Nuclear Waste at Reduced Pressure - Summary Report.
SKB Projekt Inkapsling, Projektrapport PR 94-01, Stockholm, 1994.
- 10-9 Emsley S, Olsson O, Stenberg L, Alheid H-J, Falls S
ZEDEX – A Study of Damage and Disturbance from Tunnel Excavation by Blasting and Tunnel Boring.
SKB Technical Report 97-30, Stockholm, December 1997.