

**Underlag för samråd enligt miljö-
balken, kapitel 6, för prövningen
enligt miljöbalken, kapitel 9 och 11
samt enligt kärntekniklagen**

**Mellanlagring, inkapsling och
slutförvaring av använt kärnbränsle**

Säkerhet och strålskydd

Svensk Kärnbränslehantering AB

Maj 2007

Svensk Kärnbränslehantering AB
Box 5864
102 40 Stockholm Sweden
Tel 08-459 84 00
Fax 08-661 57 19



Innehåll

1	Inledning	5
1.1	Använt kärnbränsle	5
1.2	Ansökningar och prövning	5
1.3	Samråd	6
2	Övergripande krav och utgångspunkter	7
3	Säkerhetsarbete med olika tidsperspektiv och syfte	9
3.1	Övergripande om begrepp och redovisningar	9
3.2	KBS-3 och långsiktig säkerhet	11
4	Säkerhetsredovisningar för drifttiden	15
4.1	SAR Clab	15
4.2	PSAR för inkapslingsanläggning	15
4.3	PSAR för Clab och inkapslingsanläggningen	18
4.4	PSAR för slutförvaret	18
5	Långsiktig säkerhet	19
6	Transporter av använt kärnbränsle	21
6.1	Transporter av oinkapslat bränsle	22
6.2	Transporter av inkapslat bränsle	23
7	Säkerhetsskydd	25
7.1	Fysiskt skydd för Clab och inkapslingsanläggningen	25
7.2	Fysiskt skydd för slutförvaret	25
7.3	Fysiskt skydd för transportsystemet	25
8	Miljöriskanalys	27
9	Arbetsmiljö	29
10	Referenser	31
Bilaga 1	Sammanfattning av säkerhetsanalysen SR-Can	33
Bilaga 2	Fakta om strålning	51

Läsanvisning

Detta är ett underlag inför samråd, enligt 6 kap miljöbalken, i maj/juni 2007. Samråden är en del av förberedelserna inför ansökan om tillstånd enligt miljöbalken, kapitel 9 och 11, om att få driva mellanlager för använt kärnbränsle samt om att få uppföra och driva anläggningar för inkapsling och slutförvaring av använt kärnbränsle. Samrådet ingår också i förberedelserna för att ansöka om tillstånd enligt kärntekniklagen för slutförvaring av använt kärnbränsle.

Underlaget innehåller en översiktlig beskrivning av SKB:s arbete med säkerhet och strålskydd. I bilaga 1 finns en sammanfattning av den nyligen publicerade säkerhetsanalysen SR-Can. Bilaga 2 innehåller fakta om strålning som kan underlätta förståelsen av kapitel 4.

Materialet är framtaget under våren 2007 och speglar kunskapsläget vid den tidpunkten. Det baseras på såväl tidigare utfört arbete som pågående, ännu ej publicerat arbete.

Underlaget kommer att presenteras i anslutning till allmänna samrådsmöten i Oskarshamn (28 maj) och Forsmark (31 maj). Det görs tillgängligt på SKB:s webbplats, www.skb.se – cirka tre veckor före dessa möten. Vidare skickas det för skriftligt samråd till länsstyrelserna i Kalmar och Uppsala län, övriga berörda statliga myndigheter och verk, Oskarshamns och Östhammars kommuner samt de organisationer som erhåller medel ur Kärnavfallsfonden för att delta i samråden.

1 Inledning

SKB har i uppdrag att ta hand om det radioaktiva avfallet från de svenska kärnkraftverken. Vi har utvecklat en metod för slutförvaring av det använda kärnbränslet, den så kallade KBS-3-metoden (KBS står för Kärnbränslesäkerhet). Metoden innebär att det använda kärnbränslet placeras i kopparkapslar med insatser av gjutjärn och sedan deponeras, inbäddade i bentonitlera, på cirka 500 meters djup i berggrunden. KBS-3-metoden kräver dels en inkapslingsanläggning, där det använda kärnbränslet kapslas in, dels en berganläggning (ett slutförvar) där kapslarna deponeras.

I dag mellanlagras det använda kärnbränslet i Clab (Centralt mellanlager för använt kärnbränsle), som ligger på Simpevarpshalvön i Oskarshamns kommun. SKB:s förslag är att placera inkapslingsanläggningen intill Clab. Platsundersökningar inför lokalisering av slutförvaret pågår i Oskarshamns och Östhammars kommuner.

1.1 Använt kärnbränsle

Kärnbränsle framställs av naturligt radioaktivt uranmineral. Vid driften i en kärnreaktor ökar bränslets radioaktivitet kraftigt. Efter ungefär fem års användning tas bränslet ur reaktorn och är då som farligast. Aktiviteten och därmed farligheten avtar med tiden, i takt med att de radioaktiva ämnena sönderfaller. Efter cirka 30 års mellanlagring i Clab återstår någon procent av radioaktiviteten.

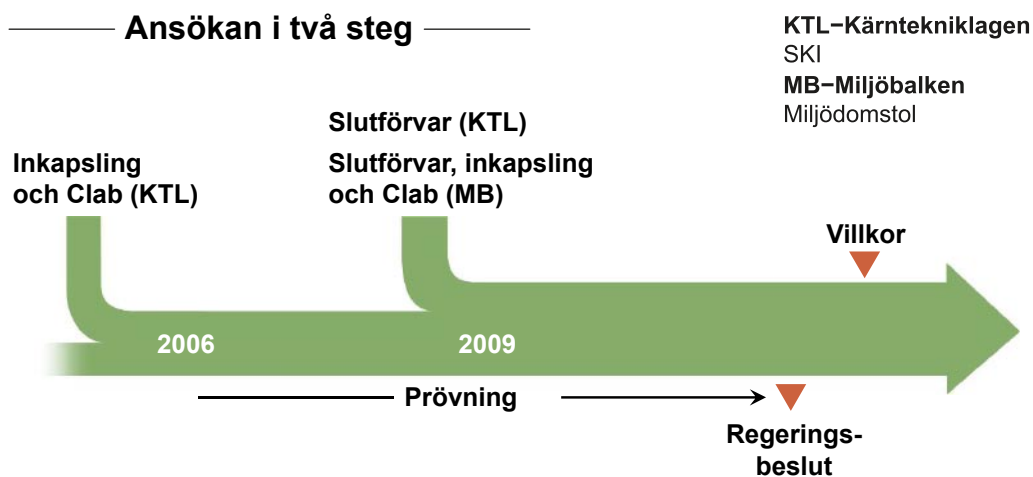
Riskerna med använt kärnbränsle kan beskrivas i termer av farlighet och tillgänglighet. Farligheten beskriver den skada joniserande strålning kan åstadkomma om människor exponeras för den. Tillgängligheten beskriver i vilken grad människan kan utsättas för strålning i olika situationer, till exempel vid transporter, mellanlagring eller slutförvaring.

De allra flesta radioaktiva ämnena i använt kärnbränsle sönderfaller inom loppet av några hundra år. Därefter dominerar farligheten av ämnen som kommer att finnas kvar under mycket lång tid. Efter drygt 100 000 år har det använda bränslets farlighet avtagit till en nivå som motsvarar farligheten hos den mängd naturligt uranmineral som det framställts av.

1.2 Ansökningar och prövning

Inkapslingsanläggningen, Clab och slutförvaret kräver tillstånd enligt miljöbalken och kärntekniklagen. I november 2006 lämnade SKB in en ansökan enligt kärntekniklagen om att få uppföra och inneha en inkapslingsanläggning för använt kärnbränsle och att få driva denna gemensamt med Clab.

Eftersom inkapslingsanläggningen kommer att byggas ihop med Clab påverkas Clabs befintliga tillstånd enligt kärntekniklagen och miljöbalken. I slutet av år 2009 planerar SKB att ansöka om tillstånd enligt miljöbalken för inkapslingsanläggningen, Clab och slutförvaret. Samtidigt ansöker SKB om tillstånd enligt kärntekniklagen för att få uppföra och driva slutförvaret, se figur 1-1. Detta förfarande gör att allt underlag kommer att ha presenterats innan något beslut ska tas. Regeringen får möjlighet att vid ett och samma tillfälle fatta beslut om både tillstånd enligt kärntekniklagen och tillåtlighet enligt miljöbalken.



Figur 1-1. Schematisk plan för ansökningar, prövningar och beslut.

1.3 Samråd

Till ansökningarna enligt miljöbalken och kärntekniklagen ska det bifogas en miljökonsekvensbeskrivning (MKB) enligt 6:e kapitlet i miljöbalken. Förutom att ställa samman MKB-dokumentet, ingår både utredningsarbete och samråd i MKB-arbetet.

Samrådet ska enligt bestämmelser i miljöbalken (6 kap 4 §) avse verksamhetens lokalisering, omfattning, utformning och miljöpåverkan samt innehåll och utformning av miljökonsekvensbeskrivningen. Ett annat viktigt syfte är att ta tillvara den lokalkännedom som personer och organisationer har. SKB:s målsättning för samråden är att alla som vill engagera sig ska ges tillfälle till detta. Detta gäller såväl allmänhet och organisationer som kommuner och statliga myndigheter.

Samrådsprocessen inför ansökan om tillstånd för slutförvaret respektive inkapslingsanläggningen påbörjades under 2002 och 2003, i både Oskarshamns och Östhammars kommuner. Tidiga samråd är genomförda. I enlighet med beslut av Länsstyrelsen i Kalmar län och Länsstyrelsen i Uppsala län, påbörjade SKB också utökade samråd. Samråden fortsätter tills ansökningarna för inkapslingsanläggningen, Clab och slutförvaret lämnas in.

Under år 2005 genomfördes förändringar i miljöbalken. Begreppen tidigt respektive utökade samråd togs då bort. Numera används endast begreppet samråd.

Omhändertagandet av det använda kärnbränslet är ett omfattande projekt som genererar mycket material att behandla i samråden. Utredningar, platsundersökningar, projekteringsarbete med mera har pågått under många år och kommer att fortsätta några år till. Det är inte möjligt att samråda om allt som rör projektet vid några enstaka tillfällen. SKB har därför försökt att engagera till samråd kring olika teman, allt eftersom olika utredningar varit klara. Tema för det här samrådet är säkerhet och strålskydd. Frågor och diskussioner vid samrådsmötet är inte begränsade till detta tema, utan fokuserar på deltagarnas frågor och synpunkter. Alla frågor som rör mellanlagring, inkapsling och slutförvaring av använt kärnbränsle kan tas upp.

Fortsättningsvis planerar vi att arrangera 1–2 allmänna samrådsmöten per år i Oskarshamn respektive i Forsmark, fram tills att ansökningarna lämnas in. När det finns fler resultat som behandlar säkerhet och strålskydd, kommer vi att ha ytterligare ett samråd med detta tema. Aktuell samrådsplan finns på SKB:s webbplats, www.skb.se.

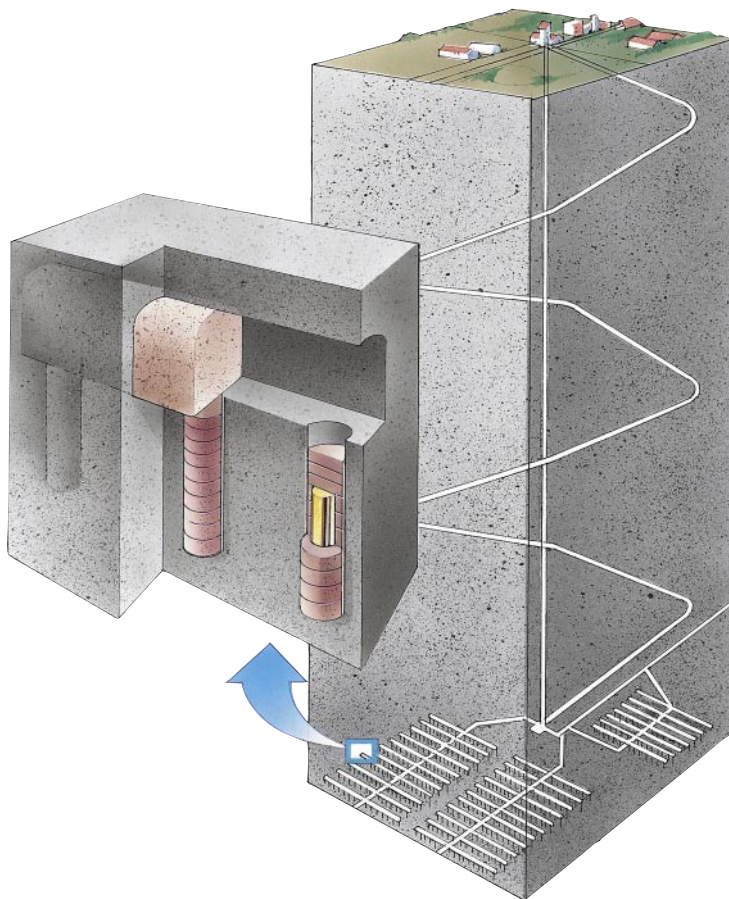
2 Övergripande krav och utgångspunkter

De övergripande kraven och utgångspunkterna på hantering och slutförvaring av använt kärnbränsle finns i svensk lagstiftning och internationella överenskommelser.

Miljöbalken (SFS 1998:808) syftar till att tillförsäkra nuvarande och kommande generationer en hälsosam och god miljö.

Enligt lagen om kärnteknisk verksamhet (SFS 1984:3), kärntekniklagen, med tillhörande föreskrifter, framgår att den som har tillstånd att bedriva kärnteknisk verksamhet ska se till att uppkommet använt kärnbränsle slutförvaras på ett säkert sätt. Säkerheten efter förslutning av slutförvaret ska bygga på ett system av passiva barriärer och slutförvaret ska inte kräva övervakning eller underhåll.

Enligt strålskyddslagen (SFS 1988:220), med tillhörande föreskrifter, ska radioaktivt avfall hanteras så att en acceptabel skyddsnivå för människans hälsa och miljön säkras.



Figur 2-1. Slutförvar enligt KBS-3-metoden.

Utöver den svenska lagstiftningen finns internationella överenskommelser och konventioner som Sverige förbundit sig att följa, till exempel:

I FN-organet IAEA:s (International Atomic Energy Agency) avfallskonvention framgår att man ska sträva mot att undvika att lägga otillbörliga bördor på kommande generationer. Det innebär att avfallsfrågan till alla väsentliga delar ska lösas av den generation som har haft nytta av elproduktionen från kärnkraften. Dessutom framgår att avfallet bör förvaras i det land där det uppstod.

Sverige undertecknade det så kallade icke-spridningsavtalet år 1968, vilket innebär att vi förbundit oss att använda kärnenergi enbart för fredliga syften och att svenskt kärnämne får kontrolleras av IAEA. Enligt avtalet ska systemet för omhändertagande av använt kärnbränsle vara utformat så att olovlig befattning förhindras.

Huvudsakligen utgående från dessa krav och utgångspunkter har SKB definierat syftet med arbetet med att omhänderta det använda kärnbränslet:

SKB:s syfte är att bygga, driva och försluta ett slutförvar med fokus på säkerhet, strålskydd och miljöhänsyn. Slutförvaret utformas så att olovlig befattning med kärnbränsle förhindras, både före och efter förslutning. Den långsiktiga säkerheten ska baseras på ett system av passiva barriärer.

Slutförvaret är avsett för använt kärnbränsle från de svenska kärnreaktorerna och ska skapas inom Sveriges gränser med frivillig medverkan av berörda kommuner.

Slutförvaret ska etableras av de generationer som dragit nytta av de svenska kärnreaktorerna och utformas så att det, efter förslutning förblir säkert utan underhåll eller övervakning.

3 Säkerhetsarbete med olika tidsperspektiv och syfte

3.1 Övergripande om begrepp och redovisningar

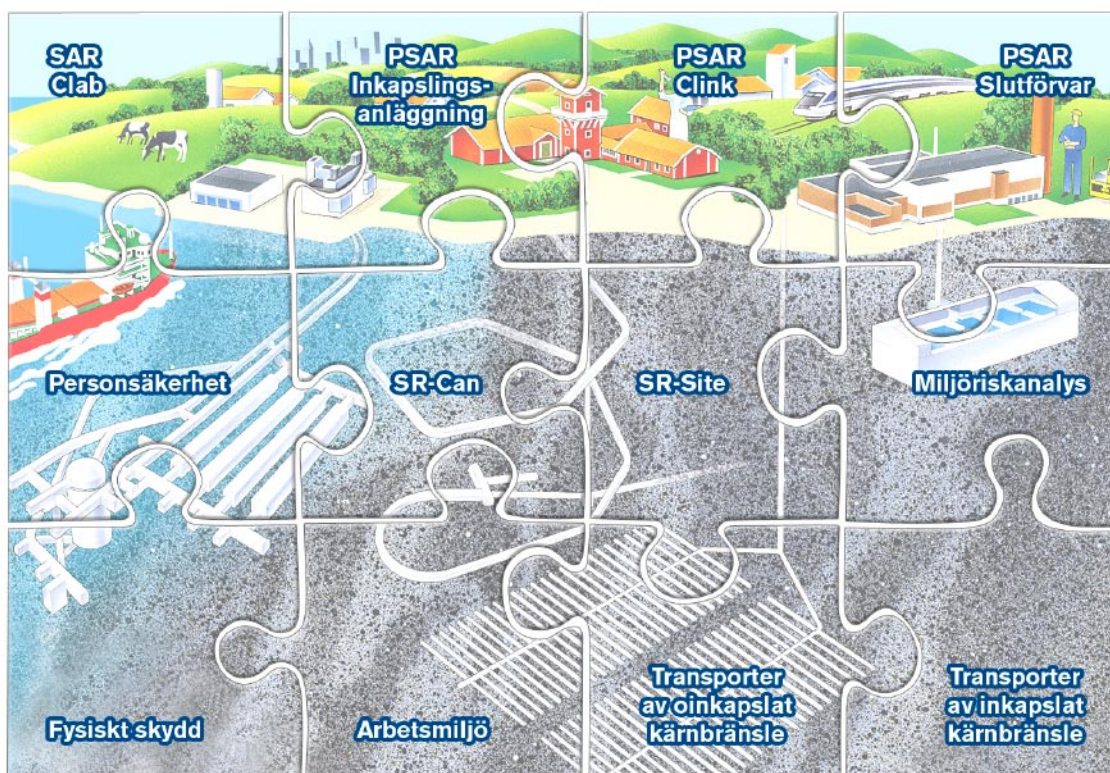
Säkerhetsarbetet för SKB:s kärntekniska anläggningar bygger på lagstiftning och myndighetsföreskrifter. SKB:s högsta organ för säkerhetsfrågor är säkerhetskommittén som leds av vd. Säkerhetskommittén hanterar säkerhetsfrågor av principiell och strategisk art. SKB har också en särskild avdelning – Kärnteknisk säkerhet – som bland annat utvecklar och övervakar säkerhetsfrågor. Det dagliga ansvaret för anläggningarnas säkerhet ingår i driften.

SKB genomför flera olika typer av analyser och redovisningar av säkerheten och strålskyddet för inkapslingsanläggningen, Clab, slutförvaret och transportsystemet. De hanterar olika tidsperspektiv och har olika syften.

Anläggningarnas säkerhetsredovisningar

Hur säkerheten och strålskyddet i en kärnteknisk anläggning är anordnad för att skydda människors hälsa och miljön beskrivs i anläggningens säkerhetsredovisning. Den tas fram i följande steg:

1. Preliminär säkerhetsredovisning.
2. Förnyad säkerhetsredovisning inför provdrift.
3. Komplettering av säkerhetsredovisning inför rutinmässig drift.
4. Ständigt aktuell säkerhetsredovisning.



Figur 3-1. Översiktlig bild av begrepp och redovisningar som SKB använder i arbetet med risk- och säkerhetsfrågor.

Säkerhetsredovisningarna tas fram enligt punkt 1–4 och genomgår granskning, som utförs i två steg. Det första steget görs av de avdelningar inom SKB som ansvarar för den aktuella sakfrågan. Det andra steget görs av avdelning Kärnteknisk säkerhet, som har en fristående ställning i förhållande till de sakansvariga. Avdelningen rapporterar direkt till högsta ledning på SKB. Detta förfarande styrs av Statens kärnkraftinspektions (SKI) föreskrift SKIFS 2004:1, som behandlar säkerhet i kärntekniska anläggningar. Utöver SKB:s granskningar tillkommer granskning och godkännande av SKI och Statens strålskyddsinstitut (SSI).

Syftet med den *preliminära säkerhetsredovisningen* är att redovisa säkerhet och strålskydd under normal drift samt att utvärdera risker för störningar och missöden i och kring en anläggning samt konsekvenser av sådana. Redovisningen ska visa att anläggningen uppfyller de svenska myndigheternas krav. Den ska lämnas in tillsammans med ansökningar enligt kärntekniklagen. Hösten 2006 lämnade SKB in en preliminär säkerhetsredovisning för inkapslingsanläggningen, PSAR inkapslingsanläggning (efter engelskans Preliminary Safety Analysis Report). År 2008 kommer den att kompletteras med en gemensam redovisning för inkapslingsanläggningen och Clab, PSAR Clink (**Clab/inkapslingsanläggning**).

När ansökan enligt kärntekniklagen för slutförvaret lämnas in kommer en preliminär säkerhetsredovisning för slutförvaret att bifogas. Förutom en redovisning av slutförvarets säkerhet under driftperioden (driftsäkerhet) ingår även en redovisning av slutförvarets säkerhet efter förslutning (långsiktig säkerhet). SKB har valt att separera redovisningarna för driften och för den långsiktiga säkerheten. Redovisningen för driftsäkerheten kallas PSAR slutförvar. Den preliminära säkerhetsredovisningen för den långsiktiga säkerheten, det vill säga efter förslutning av förvaret, redovisas enligt kraven i SKIFS 2002:1 och SSI FS 1998:1. Den benämns SR-Site (efter engelskans site – plats).

Den förnyade säkerhetsredovisningen beskriver den driftklara anläggningen och redovisas inför tillstånd till provdrift. Den är av naturliga skäl mer detaljerad än den preliminära. Ändringar som skett under tiden, jämfört med PSAR, redovisas med motiveringar.

Innan anläggningen därefter får tas i rutinmässig drift ska säkerhetsredovisningen kompletteras. *Den kompletterade säkerhetsredovisningen*, SAR (efter engelskans Safety Analysis Report) är ett levande dokument som beskriver den verkliga anläggningen och uppdateras när ändringar sker.

Transport av använt kärnbränsle

Eftersom transport av använt kärnbränsle klassas som kärnteknisk verksamhet, krävs särskilda tillstånd från SKI och SSI enligt kärntekniklagen. Det finns också andra bestämmelser som reglerar transporter av radioaktivt material. Det är framför allt lagen om transport av farligt gods (SFS 2006:263) samt ett antal nationella och internationella regelverk. SKI:s och SSI:s tillsyn av kärntekniska transporter gäller även certifiering av de behållare som ska användas. Vidare gäller också till exempel Statens räddningsverks föreskrifter om säkerhetsrådgivare för transport av farligt gods (SRVFS 2006:9).

I SKB:s senaste säkerhetsrapport för transportsystemet /SKB 2005/ finns en del av den samlade säkerhetsredovisningen för det befintliga transportsystemet. Rapporten innehåller en beskrivning av transportsystemet i sin helhet med kravbild, funktionsbeskrivning, beskrivning av ingående tekniska komponenter samt en beskrivning av genomförda säkerhetsanalyser. Den är formellt inte en SAR eftersom transportsystemet inte är en anläggning. För transportbehållare finns särskilda säkerhetsrapporter.

Som underlag för ansökan om inkapslingsanläggningen har SKB tagit fram en rapport som beskriver ett tänkbart transportsystem för inkapslat bränsle med kravbild, tekniska data för en kapseltransportbehållare, funktionsbeskrivning för transportsystemet samt säkerhetsaspekter /Broman et al. 2005/. Till ansökan om att uppföra ett slutförvar, ska vi ta fram en ny rapport. Då är lokaliseringen av slutförvaret liksom transportlogistiken inom förvarsanläggningen bestämd.

Fysiskt skydd för anläggningar

Fysiskt skydd är den delen av systemet för säkerhetsskydd som syftar till att på olika sätt förhindra stöld av kärnämne och kärnavfall, men också att skydda mot sabotage och angrepp som skulle kunna leda till radiologiska konsekvenser. Styrande för SKB:s arbete med fysiskt skydd är säkerhetsskyddslagen (SFS 1996:627), säkerhetsskyddsförordningen (SFS 1996:633) och SKI:s föreskrift om fysiskt skydd (SKIFS 2005:1).

SKI:s föreskrift innehåller bland annat bestämmelser för säkerhetsprövning (till exempel registerkontroll, intervjuer, referenser), studiebesök, hantering av uppgifter om säkerhetsåtgärder och IT-säkerhet. Bestämmelserna baseras på en dimensionerande hotbild av en våldsamt och välutrustad angripare. Den dimensionerande hotbilden ska inte förväxlas med den verkliga hotbilden, som varierar över tiden och i princip endast är giltig den dag den beskrivs.

Största delen av redovisningen som handlar om fysiskt skydd är belagd med sekretess, då uppgifterna i redovisningen skulle kunna underlätta vid stöld eller sabotage.

Miljörisikanalys

SKB har i en miljörisikanalys klarlagt risker med icke-radiologiska konsekvenser, för byggskedet, driftskedet och för rivning av inkapslingsanläggningen, Clab och slutförvaret samt för förslutning av förvaret. Analysen utgör underlag för bedömning av konsekvenser för naturmiljö, kulturmiljö och hälsa i MKB:n. Den är även ett underlag för bedömning av möjliga riskreduceringar i form av olycksförebyggande och skadebegränsande åtgärder i projekteringsarbetet för anläggningarna.

Arbetsmiljö

De yttre ramarna för arbetsmiljöarbetet ges av arbetsmiljölagen (SFS 1997:1160). Lagens ändamål är att förebygga ohälsa och olycksfall i arbetet samt att även i övrigt uppnå en god arbetsmiljö. Arbetsmiljöverket ger ut allmänna föreskrifter och råd som preciserar vilka krav som ställs på arbetsmiljön. Byggandet och driften av inkapslingsanläggningen och slutförvaret styrs främst av bestämmelserna i föreskrifterna om systematiskt arbetsmiljöarbete (AFS 2001:1), föreskrifterna för byggnads- och anläggningsarbete (AFS 1999:3) och för bergarbete (AFS 2003:2).

Allt arbetsmiljöarbete ingår i projekteringen av anläggningarna. Arbetet som kopplar till Räddningsverkets ansvarsområden, till exempel brandskydd, ingår också i projekteringen. Denna typ av frågor liksom arbetsmiljöfrågor ligger utanför MKB-arbetet, samråden och ingår inte i ansökningarna.

3.2 KBS-3 och långsiktig säkerhet

Utvecklingen av KBS-3-metoden för slutförvaring av använt kärnbränsle har pågått sedan slutet av 1970-talet. Det vetenskapliga och tekniska underlaget har löpande utvecklats och redovisats till myndigheterna och regeringen vart tredje år i de så kallade Fud-programmen. SKB har under årens lopp gjort flera genomgångar av slutförvarets långsiktiga säkerhet.

KBS-3

Resultatet av KBS-3-utredningen /SKBF/KBS 1983/ utgjorde en grund för ansökningarna om att ta kärnkraftreaktorerna Forsmark 3 och Oskarshamn 3 i drift. Efter en omfattande granskningsprocess fann regeringen att ”metoden i sin helhet i allt väsentligt befunnits kunna godtas med hänsyn till säkerhet och strålskydd” och godkände laddningsansökningarna för de två reaktorerna i juni 1984.

SKB 91

Säkerhetsanalysen SKB 91 /SKB 1992/ skiljer sig från KBS-3-utredningen på flera sätt. Kunskapsunderlaget hade utökats och datorerna hade utökad beräkningskapacitet. Dessutom kom nya modeller som gjorde det möjligt att ta hänsyn till variabiliteten i bergets vattengenomsläpplighet och till en platsanpassad försvarsgeometri. Slutsatsen i SKB 91 är att ett förvar anlagt djupt nere i svenskt urberg och med långtidsstabila tekniska barriärer med god marginal uppfyller av myndigheterna uppställda säkerhetskrav.

SR 95

Huvudsyftet med SR 95 /SKB 1995/ var inte att genomföra en ”riktig” säkerhetsanalys utan, att ta fram en mall för hur analyser av den långsiktiga säkerheten bör genomföras och redovisas. Metodiken och den föreslagna mallen i SR 95 tillämpades sedan i SR 97.

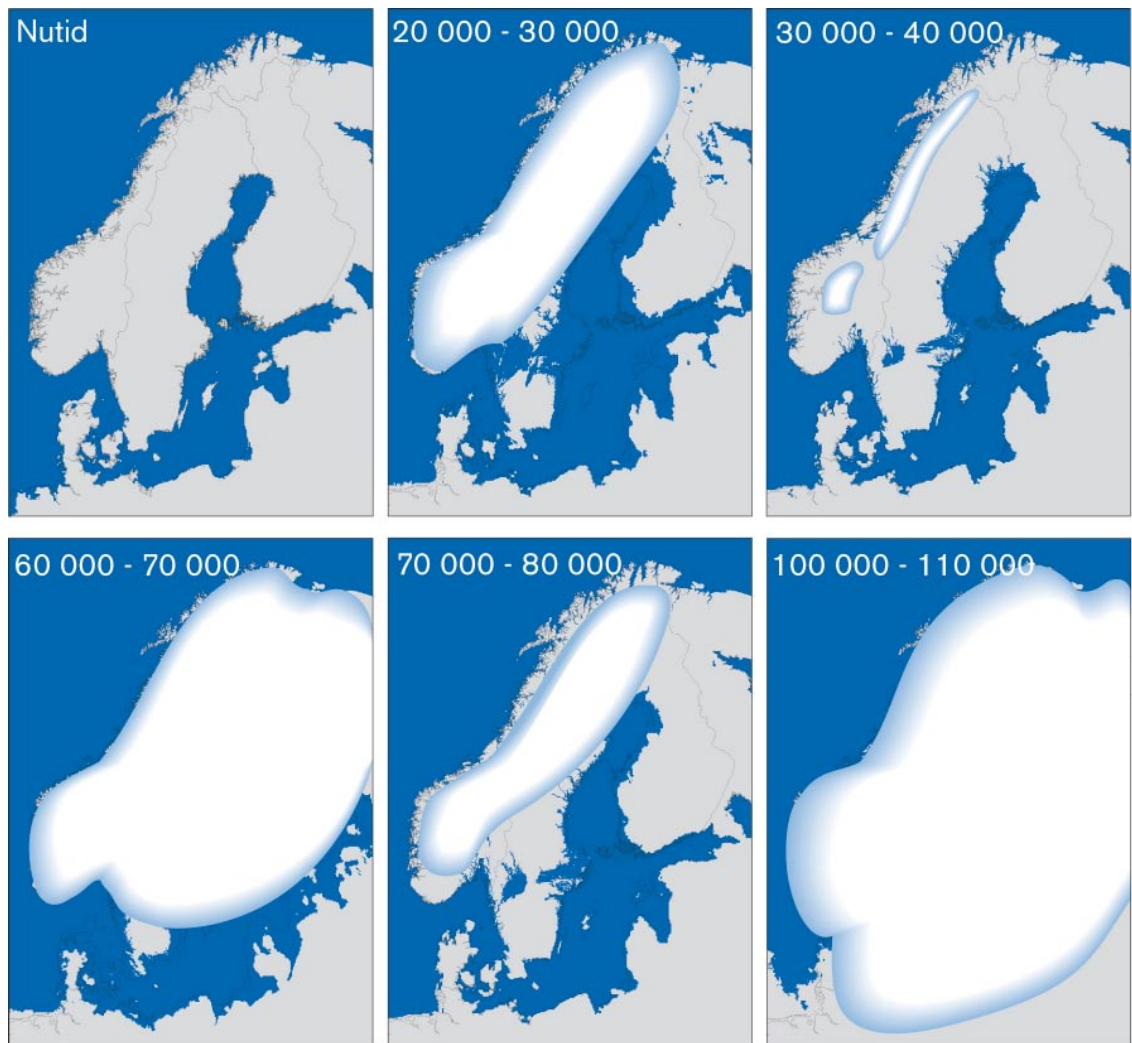
SR 97

Inför starten av platsundersökningarna i arbetet med att lokalisera slutförvaret begärde regeringen och myndigheterna en analys av förvarets långsiktiga säkerhet. Den begärda säkerhetsanalysen har arbetsnamnet SR 97 och publicerades år 1999 /SKB 1999/. Syftet med analysen var främst:

- att ta reda på om använt kärnbränsle kan slutförvaras säkert i svensk berggrund under mycket lång tid,
- att demonstrera metodiken för säkerhetsanalysen.

Metodiken som tillämpades i SR 97 var att först beskriva förvarets egenskaper då det just förslutits. Därefter analyserade vi systemets förändring i tiden till följd av dels inre processer i förvaret, dels yttre påverkan. Förvarssystemets framtida utveckling analyserades i fem scenarier. Det första var ett basscenario där förvaret byggs helt enligt specifikationer och där dagens förhållanden i omgivning, bland annat klimatet, består. I de fyra övriga scenarierna visades hur utvecklingen skiljer sig från den i basscenarioet om förvaret innehåller ett fåtal kapslar som är defekta redan från början, vid klimatförändringar, vid jordskalv och vid framtida oavsiktliga mänskliga intrång. Utvecklingen studeras som termiska, hydrauliska, mekaniska och kemiska delutvecklingar. Syftet med analyserna var ytterst att utreda förvarets förmåga att dels isolera avfallet med hjälp av kapslarna, dels fördröja ett eventuellt utsläpp av radioaktiva ämnen om kapslar skadas. Tidsperspektivet för analyserna var (i enlighet med myndigheternas föreskrifter) upp till en miljon år.

Resultaten visar att det finns goda förutsättningar för att slutförvara använt kärnbränsle i den svenska berggrunden. SR 97 utgjorde ett viktigt underlag för att formulera och kvantifiera krav och önskemål som slutförvaret ställer på berget utifrån bland annat perspektivet långsiktig säkerhet. Erfarenheter från SR 97 användes i arbetet med att formulera ett samlat program för platsundersökning och utvärdering av platser /SKB 2000/.



Figur 3-2. Antagen isutbredning och förändring av kustlinjen under kommande istider.

4 Säkerhetsredovisningar för drifttiden

4.1 SAR Clab

Clab är en anläggning som är i rutinmässig drift. Säkerheten och strålskyddet finns redovisat i säkerhetsredovisningen, SAR. Clabs första SAR togs fram 1983–85 och har uppdaterats flera gånger /SAR Clab/. Vid några tillfällen har även större omarbetningar gjorts, mot bakgrund av erfarenheter samt för att motsvara moderna krav på redovisning. En ny sådan omarbetning genomförs för närvarande.

Faktiska utsläpp från driften av Clab av radioaktiva ämnen till luft och vatten samt stråldoser till personalen anges i avsnitt 4.2 och sätts i relation till uppskattningar av utsläppen från inkapslingsanläggningen. Här ges en beskrivning av rutinerna för SKB:s säkerhetsledning för driften av Clab.

Clab är byggt utifrån principen att alla säkerhetssystem är passiva. Detta innebär att systemen inte har några rörliga komponenter eller kräver yttre kraftmatning för att fungera. Som exempel kan nämnas de kassetter som det använda kärnbränslet lagras i. Dessa säkerställer att bränslet alltid hålls underkritiskt, det vill säga inte på egen hand kan starta en kärnreaktion, samt att det skyddas mot mekanisk påverkan. Clab har många system som samverkar för att ge ett robust djupförsvar, det vill säga konstruktion, säkerhetsbarriärer och säkerhetsorganisation, så att de säkerhetsfunktioner anläggningen är utrustad med aldrig ska behöva komma att tas i bruk.

Styrning av säkerhetsarbetet sker enligt en speciell säkerhetsledning. Denna styrmodell innebär att alla beslut av säkerhetsmässig betydelse överprövas av en högre nivå i organisationen för att hela tiden bredda beslutsunderlaget och få en så bred genomlysning av säkerhetsfrågorna som möjligt. Skiftledaren har ansvaret för att anläggningen drivs enligt de säkerhetstekniska förutsättningarna, STF. STF är ett styrande operativt dokument som innehåller ett kondensat av SAR. Varje dygns drift överprövas dagligen på ett driftmöte. Här redovisar skiftledaren senaste dygnets drifthändelser och kommande dygns verksamhet. Clabs driftchef tar därefter ställning till anläggningens driftklarhet, det vill säga om anläggningen fungerar som avsett.

Onormala händelser som inträffar hanteras i ett forum som kallas driftsammanträde. Här värderas den inträffade händelsens påverkan på den kärntekniska säkerheten. Driftsammanträdet tar ställning till om händelsen inneburit att anläggningen har drivits utanför STF och händelsens säkerhetsmässiga betydelse. Rapportering till SKI sker om händelsen har inneburit avsteg från STF. Då inrapporteras händelsen som rapportervärd omständighet (RO) inom 30 dagar. Driftsammanträdet beslutar om åtgärder som ska vidtas för att inträffad händelse inte ska kunna upprepas.

Beslut från driftmöte och driftsammanträde överprövas varje månad på driftledningsmötet som leds av chefen för SKB:s driftavdelning. Här hanteras beslut om säkerheten på samtliga anläggningar som SKB driver.

4.2 PSAR för inkapslingsanläggning

SKB lämnade in en preliminär säkerhetsredovisning för inkapslingsanläggningen /SKB 2006c/ till SKI hösten 2006 i samband med att ansökan enligt kärntekniklagen lämnades in. I denna har vi analyserat radiologisk omgivningspåverkan vid normal drift, störningar och missöden, i enlighet med SKI:s föreskrifter. Beräkningarna är baserade på konservativa antaganden. Det innebär att de verkliga aktivitetsnivåerna förväntas bli betydligt lägre än de beräknade om en olycka skulle inträffa.



Figur 4-1. Illustration över inkapslingsanläggningen intill Clab.

Normal drift

Strålningen i inkapslingsanläggningen kommer huvudsakligen från det använda kärnbränslet. Det kan dock noteras att den starkaste strålkällan i anläggningen är röntgenutrustningen för oförstörande provning. Frigörelse av aktivitet inom inkapslingsanläggningen kan ske till vatten, så länge det använda kärnbränslet hanteras i anläggningens bassänger, eller till luft i anläggningens hanteringsceller. All hantering av kärnbränslet sker i avskilda och strålskyddade utrymmen med kontrollerad ventilation.

Olika utrymmen klassificeras utifrån risken för kontaminering och strålningsnivå. Klassificeringen styr hur tillträdet begränsas till olika områden. När bränslet har kapslats in är det inte längre en källa för luftburen aktivitet, men strålskärning krävs även under den fortsatta hanteringen.

Den mängd använt kärnbränsle som maximalt kan komma att hanteras i inkapslingsanläggningen vid ett och samma tillfälle är cirka 70 ton. Som jämförelse kan nämnas att det i Clab i dag mellanlagras drygt 4 000 ton. Innan kärnbränslet tas in i inkapslingsanläggningen har radioaktiviteten avklingat efter cirka 30 års mellanlagring.

Då kärnbränslet är uppställt i hanteringsbassängen i inkapslingsanläggningen avges små mängder aktivitet till bassängvattnet. Inkapslingsanläggningen kommer att anslutas till Clabs reningssystem. Vid behov släpps överskottsvatten ut tillsammans med kylvattnet från Clab i Hamnefjärden. Före varje utsläpp sker kontroll av aktivitetsnivåer. Ytterligare rening sker vid behov och utsläpp till Hamnefjärden sker först när gränsvärden för utsläppsnivåer underskrids /SKB 2006b/.

Utsläppen till vatten från inkapslingsanläggningen har uppskattats till 157 MBq per år vilket motsvarar en årsdos på $4,81 \times 10^{-7}$ mSv till kritisk grupp. Uppskattningen baseras på erfarenheter av utsläpp från Clab under de senaste fem åren samt på ett konservativt antagande om att utsläppet är lika stort som från Clab.

Luftburna utsläpp sker via inkapslingsanläggningens ventilationsskorsten. En uppskattning av det luftburna utsläppet baseras på erfarenheter från driften av Clab. Med hänsyn till att bränslehantering och underhåll är av mindre omfattning i inkapslingsanläggningen har utsläppen ansatts till hälften av utsläppen från Clab. Baserat på detta antagande har de årliga utsläppen uppskattats till 12 MBq, vilket motsvarar en årsdos på $1,4 \times 10^{-6}$ mSv till kritisk grupp.

En utredning avseende möjliga åtgärder för att kunna minska aktivitetsutsläppen till vatten och luft har genomförts /ALARA 2006/. Utredningen resulterade i ett flertal möjliga åtgärder för reduktion i vatten. Om samtliga åtgärder kan vidtas, utan att säkerheten i anläggningen försämras, uppskattas att utsläppen kan reduceras med 95–99 % i förhållande till om åtgärderna inte genomförs. I fallet med den integrerade anläggningen (Clab och inkapslingsanläggningen) skulle utsläppen kunna reduceras till mellan 6 och 10 MBq per år.

En möjlig stor punktkälla i inkapslingsanläggningen för utsläpp till luft är den torra hanteringen av använt kärnbränsle i hanteringscellen. Vid ansättande av en avskiljningsgrad på 99,999 %, som föreslås i utredningen, blir det antagna utsläppet från hanteringscellen 0,1 MBq. Detta motsvarar en årsdos på $9,3 \times 10^{-9}$ mSv till kritisk grupp.

Personalen i inkapslingsanläggningen kommer att utsättas för strålning vid normala driftuppgifter och vid underhållsarbeten. Kollektivdos, som uttrycks i manSv, är genomsnittlig stråldos till individer i en grupp multiplicerat med antalet individer i gruppen. Verksamheterna i inkapslingsanläggningen uppskattas ge upphov till en kollektivdos av 20 mmanSv per år. Under år 2004 var kollektivdosen i Clab 14 mmanSv /SSI 2005/. Enligt SSI:s föreskrift (SSI FS 1998:4) gäller att dosgränsen för enstaka år är 50 mSv per individ och för ett femårsintervall 100 mSv per individ. Uppskattad kollektivdos till personal i inkapslingsanläggningen ligger alltså i nivå med dosgränsen som gäller per individ, sett som medelvärde under ett femårsintervall. Det innebär att dosgränsen beräknas underskridas med marginal. Kollektivdosen till Clabs personal kan komma att öka till följd av den ökade avfallshanteringen när inkapslingsanläggningen är i drift.

Som jämförelse kan nämnas att vi i Sverige i genomsnitt får en årlig stråldos på ungefär 4 mSv per person. Nästan hälften orsakas av radon i inomhusluften, se bilaga 2.

Störningar

Störningar omfattar händelser som kan inträffa någon gång under inkapslingsanläggningens drifttid. Exempel på störningar som analyseras i PSAR Clab är bortfall av elförsörjning, komponentfel i process och hanteringssystem (till exempel bortfall av ventilation och av kylning i bassänger), operatörsfel, vattenläckage och inre översvämning, aktivitetsutsläpp, datorbortfall och begränsad brand.

Störningarna kan leda till att processen måste stoppas och att bränslet eventuellt måste återföras till Clab. Men de leder inte till att bränslet skadas eller till radiologiska konsekvenser för omgivningen /SKB 2006b/.

Missöden

Missöden är osannolika händelser som inte förväntas inträffa, men som ska analyseras för att demonstrera anläggningens förmåga att hantera dem med acceptabla konsekvenser för personal och omgivning. Missöden som analyseras i PSAR Clab är till exempel brand av större omfattning, operatörsfel som kan skada bränslet samt hanteringsmissöden (till exempel tappad transportkassett eller bränsleelement) /SKB 2006b/.

För att göra en uppskattning av största möjliga påverkan vid hanteringsmissöde i inkapslingsanläggningen kan ett rent hypotetiskt fall antas där allt bränsle som hanteras eller finns uppställt i anläggningen skadas, utom det bränsle som är inkapslat. Denna typ av missöde kommer att ingå i PSAR Clink.

4.3 PSAR för Clab och inkapslingsanläggningen

Inkapslingsanläggningen planeras att byggas ihop med Clab. Några system kommer att sammankopplas för att försörja båda anläggningsdelarna. Detta innebär att säkerhetsredovisningen, Clink ska vara gemensam.

PSAR Clink ska visa vilka krav som gäller för alla i anläggningen ingående objekt och system. Den beskriver också hur anläggningen är byggd och fungerar då inkapslingsanläggningen har anslutits till Clab. Redovisningen kommer att baseras på uppdaterad SAR för Clab och PSAR för inkapslingsanläggningen. PSAR Clink ska vara färdigställd och lämnas till SKI år 2008.

4.4 PSAR för slutförvaret

Den preliminära säkerhetsredovisningen för slutförvaret innefattar två delar: en del som redovisar slutförvarets säkerhet under anläggningens driftperiod (driftsäkerhet) samt en del som redovisar anläggningens säkerhet efter förslutning (långsiktig säkerhet). Redovisningen för den långsiktiga säkerheten benämns SR-Site, se avsnitt 5.

Den preliminära säkerhetsredovisningen kommer att lämnas in år 2009 i samband med att ansökan enligt kärntekniklagen lämnas in. I PSAR för driften analyseras de radiologiska förhållandena vid normal drift, störningar och missöden. Översiktliga bedömningar har dock redan gjorts.

Normal drift

Slutförvarets konstruktion bygger på att kopparkapslarna som innesluter bränslet är absolut täta och att bränslet har avklingat många år innan det hanteras. Inga radioaktiva ämnen kommer ut från kapslarna, vare sig till luft eller till vatten, under normal drift av slutförvaret. De enda utsläppen av radioaktiva ämnen under driften kommer att vara det radon, som finns naturligt i berget och ventileras ut för att upprätthålla en god arbetsmiljö, se avsnitt 9.

Joniserande strålning kommer att förekomma i slutförvaret och kommer från det använda kärnbränslet som är inneslutet i kopparkapslar. All hantering av kopparkapslarna sker strålskyddat. Personalen i slutförvarsanläggningen kommer att utsättas för viss strålning vid normala driftuppgifter och vid underhållsarbeten. Kollektivdosen kommer att utredas under perioden fram till ansökan år 2009, men bedöms bli låg.

Störningar

Störningar är händelser som kan inträffa enstaka gång under slutförvarets driftsperiod. Störningar kan i vissa fall leda till att deponeringsprocessen måste stoppas och att kapslarna med bränsle måste återföras till inkapslingsanläggningen. Exempel på störningar som analyseras i PSAR slutförvar är nätbortfall, operatörsfel, driftavbrott för hanteringsutrustning och begränsad brand.

Inga störningar har hittills identifierats som leder till att kapslarna skadas så att radiologiska konsekvenser för omgivningen uppstår.

Missöden

Missöden som analyseras är bland annat brand av större omfattning och hanteringsmissöden. Hanteringsmissöden omfattar till exempel tappad kopparkapsel och kollision vid transport under jord.

Inga missöden under driften av anläggningen som kan leda till frigörande av aktivitet från kapslarna har hittills identifierats. Det innebär att det inte finns någon risk för omgivningspåverkan på grund av utsläpp av aktivitet från slutförvaret under anläggningens driftskede.

5 Långsiktig säkerhet

SKB analyserar fortlöpande säkerheten på lång sikt för ett slutförvar för använt kärnbränsle. Den senaste säkerhetsanalysen, SR-Can (av engelskans canister = kapsel), lämnades till SKI i början av november 2006 /SKB 2006a/. Den är en första utvärdering av hur förvarsplatserna i Forsmark och Laxemar fungerar tillsammans med de kopparkapslar som ska förslutas i inkapslingsanläggningen. I analysen används preliminära data från platserna Forsmark och Laxemar. Analysen visar att kapseln fungerar som den ska i slutförvaret och att förvaret har förutsättningar att klara myndigheternas krav på säkerhet oavsett om det byggs i Forsmark eller i Oskarshamn. En sammanfattning av SR-Can redovisas i bilaga 1.

SR-Can är ett förberedande steg inför säkerhetsanalysen SR-Site (av engelskans site = plats) som planeras att publiceras år 2009. SR-Site är den delen av den preliminära säkerhetsredovisningen för slutförvaret som hanterar den långsiktiga säkerheten. SR-Site kommer att bygga på de samlade data som tagits fram vid platsundersökningarna och projekteringarna av slutförvaret.

Inom ramen för Kärnbränsleprojektet pågår ett arbete med syftet att redovisa hur SKB säkerställer att det initialtillstånd, som förutsätts i SR-Site ska uppnås under byggande och drift av slutförvaret. Arbetet omfattar en redovisning av hur barriärerna hanteras inom hela KBS-3-systemet och av dess leverantörer i förhållande till fastställda krav. Det innebär dokumentation av hela hanteringskedjan, kvalitetssäkring, acceptanskriterier, krav och konstruktionsförutsättningar för kapsel, buffert, återfyllning, bergarbeten samt för den slutliga förslutningen. Arbetet avrapporteras i samband med inlämnandet av ansökningarna 2009.

6 Transporter av använt kärnbränsle

SKB äger och driver ett transportsystem för transporter av använt kärnbränsle från kraftverken till Clab i Simpevarp samt av låg- och medelaktivt driftavfall till SFR i Forsmark. Sjötransporter sker med SKB:s specialkonstruerade fartyg m/s Sigyn. Landtransporter sker med långsamgående terminalfordon. Det använda kärnbränslet och driftavfallet är under transport inneslutet i transportbehållare.

Driften av transportsystemet innefattar utformning, anskaffande, drift, underhåll och förnyelse av transportbehållare, fartyg och terminalfordon. Det innefattar även tillstånd och rutiner.

Oinkapslat använt kärnbränsle transporteras från kärnkraftverken till Clab. Inkapslat bränsle kommer att transporteras från inkapslingsanläggningen till slutförvaret. Om inkapslingsanläggningen inte skulle lokaliseras i anslutning till Clab skulle det bli aktuellt med transporter av oinkapslat använt kärnbränsle från Clab till inkapslingsanläggningen.

Transportbehållare

Den transportbehållare som i dag används för transporterna mellan kärnkraftverken och Clab uppfyller kraven för ”typ B-behållare” enligt IAEA:s regler. Detta innebär att omfattande beräkningar och även fysiska tester på en prototypbehållare utförs för att garantera att behållaren kan förhindra kontakt mellan behållarens innehåll och omgivningen. Detta gäller även vid svåra olyckshändelser.



Figur 6-1. Terminalfordon med transportbehållare för använt kärnbränsle.

Kraven på en typ-B-behållare har tillämpats under många år över hela världen för transporter av använt kärnbränsle. De hållfasthetskrav som ingår i beräkningar och tester är valda för att ge en konstruktion som kan stå emot en stor variation av tänkbara och otänkbara påfrestningar. Så vitt känt har aldrig någon sådan behållare varit inblandad i en olycka som lett till spridning av radioaktiva ämnen. SKB har egen mångårig erfarenhet av att använda sådana behållare och det har inte förekommit några incidenter som påverkat deras funktion.

Den transportbehållare som planeras för transporterna mellan inkapslingsanläggningen och slutförvaret (oavsett lokalisering) kommer också att uppfylla kraven för typ B-behållare.

6.1 Transporter av oinkapslat bränsle

Vid transporter av oinkapslat bränsle från kärnkraftverken har omgivningssäkerhet analyserats för normal drift, konstruktionsstyrande haverier och hypotetiska olyckor.

Normal drift

För den normala driften har det främst varit fråga om att kartlägga de radiologiska förutsättningarna för att dimensionera strålskärmar. Systemets funktion och driftsäkerhet har bekräftats under den hittillsvarande driftperioden (cirka 20 år).

De radiologiska förhållandena liksom de påkänningar och de störningar som förekommit, visar att miljö- och säkerhetskrav kan upprätthållas vid såväl normal drift som vid olika driftstörningar och påkänningar som systemet utsätts för.



Figur 6-2. Surrning av behållare för använt kärnbränsle på m/s Sigyn.

Konstruktionsstyrande haverier

Beträffande haverier gjordes – i samband med anskaffning av transportsystemet – en inventering av de händelser, händelseförlopp och förhållanden som skulle kunna leda till en radiologisk olycka. De flesta tänkbara fartygshaverier ger inga skador på lasten och fartyget förblir flytande. Studierna koncentrerades till så allvarliga missöden att skadorna på fartyget skulle kunna påverka behållarna. Konsekvenserna av att last tappas från fartyget eller fartyget sjunker som följd av kollision samt att fartyget skadas eller brinner efter kollision analyserades.

För alla konstruktionsstyrande haverisituationer förväntas behållaren förbli intakt och haverierna får därför inte några radiologiska konsekvenser. Fartyget uppfyller med god marginal vad reglerna föreskriver när det gäller flytbarhet. Inte ens om fartyget skulle sjunka skulle en radiologisk olycka uppstå.

Hypotetiska olyckor

I analysen av omgivningssäkerhet för transportsystemet /SKB 2005/ ingår att ge en konsekvensbild för omgivningen, om en radiologisk olycka inträffar. För att en sådan ska inträffa fordras ett barriärsgenombrott, det vill säga att transportbehållaren skadas så att radioaktiva ämnen kan spridas. En sådan typ av skada på behållaren ligger bortom konstruktionskriterierna, men är nödvändigt att anta för att kunna redovisa radiologiska konsekvenser. Därför förutsätts denna typ av händelser kunna inträffa och benämns hypotetiska olyckor. De hypotetiska olycksförlopp som har analyserats är mekanisk skada på behållare, långvarig brand samt att behållaren sjunker till havsbotten.

Analysen visar att konsekvenserna för människors hälsa och miljö är försumbara, trots mycket konservativa antaganden ifråga om utsläpp av radioaktivitet.

6.2 Transporter av inkapslat bränsle

Utgångspunkten för transport av inkapslat bränsle är att kapslarna är absolut täta, att bränslet är inneslutet och har avklingat cirka 30 år. Även dessa transportbehållare är konstruerade för att klara mycket svåra påkänningar. Ingen radioaktiv frigörelse kan därför ske som konsekvens av tänkbara olyckor under transporten.

Vid genomförda beräkningar /Ekendahl och Pettersson 1998/ har därför rent hypotetiska antaganden förutsatts, i detta fall att varken transportbehållare, kapsel eller bränslets egen kapsling är helt täta. Även vid dessa scenarion, som har mycket låg sannolikhet att inträffa blir dospåverkan ytterst liten – långt under farliga doser. Slutsatsen av analysen är att konsekvenserna för människors hälsa och miljö när det gäller utsläpp av radioaktivitet är försumbara, även vid osannolika haverier.

7 Säkerhetsskydd

Utifrån lagkraven har SKB format ett system för säkerhetsskydd som i huvudsak består av tre delar: fysiskt skydd, personsäkerhet och omvärldsbevakning/kontakter.

Det fysiska skyddet av kärntekniska anläggningar omfattar staket, larm, inpasseringskontroll, kameraövervakning med mera och har två övergripande syften. Dels gäller det att bidra till den allmänna säkerheten genom att förebygga att medvetna handlingar leder till radiologiska olyckor, dels handlar det om att förhindra obehörig befattning med kärnämne och kärnavfall.

SKI:s föreskrifter omfattar alla kärntekniska anläggningar som har tillstånd enligt 5 § kärntekniklagen, bland annat Clab, inkapslingsanläggningen och slutförvaret. Av sekretessskäl går det inte att i detalj beskriva de åtgärder som vidtas för att skydda anläggningarna mot fientliga händelser och hot. Ett syfte med åtgärderna är, att göra tiden som det tar att ta sig in i anläggningen så lång som möjligt så att polisens resurser kan utnyttjas.

Personsäkerhet omfattar till exempel kontroll av anställda och besökare. SKB genomför en säkerhetsprövning av den egna personalen och av entreprenörer. Denna prövning innefattar också en kontroll hos Säpo enligt säkerhetsskyddsförordningen (SFS 1996:633).

I arbetet med omvärldsbevakningen studeras vad som händer i närområdet, i Sverige och internationellt. Omvärldsbevakningen innefattar regelbundna kontakter med polisen, Säpo, SKI samt med övriga kärntekniska tillståndshavare i Sverige, såsom kärnkraftverken, Studsvik och Westinghouse bränslefabrik.

7.1 Fysiskt skydd för Clab och inkapslingsanläggningen

Clab och inkapslingsanläggningen kommer att ha ett gemensamt fysiskt skydd. En speciell plan för byggskedet är klar. Preliminära fysiska skyddsplaner för driftskedet har tagits fram och ingick som sekretessbelagt material i ansökan enligt kärntekniklagen för inkapslingsanläggningen i november 2006.

7.2 Fysiskt skydd för slutförvaret

Preliminär plan för fysiskt skydd under bygg- och driftskedet kommer att tas fram till ansökningarna 2009. Även detta material kommer att sekretessbeläggas.

7.3 Fysiskt skydd för transportsystemet

Kravet på fysiskt skydd avser i detta fall endast transporter av använt bränsle, men tillämpas i princip även för transporter av annat radioaktivt avfall.

Det fysiska skyddet i transportsystemet är utformat för:

- att förhindra stöld och bortförande av transportbehållare.
- att förhindra avsiktlig åverkan på transportbehållare som skulle kunna leda till aktivitetsutsläpp.

Systemet består av en kombination av tekniska och andra åtgärder som dels fysiskt skyddar det använda bränslet, dels möjliggör snabb upptäckt och larm, om något onormalt inträffar. Även innehållet i dessa åtgärder är sekretessbelagt.

8 Miljöriskanalis

En första miljöriskanalis avseende icke radiologiska konsekvenser, genomfördes år 2006 /Andersson et al. 2006/. Liksom i tidigare utredningar bedömde man att grundvattensänkning i samband med bygget av slutförvaret utgör en risk. En grundvattensänkning kan bland annat påverka brunnar samt växt- och djurliv. En hydrogeologisk utredning genomförs för närvarande, vilken kommer att ge en mer detaljerad bild över grundvattenförhållandena i berörda områden och vilka konsekvenser en grundvattensänkning kan ge för omgivningen samt möjliga skadeförebyggande åtgärder.

Enligt miljöriskanalysen utgörs en stor andel av övriga identifierade risker av att olja eller diesel släpps ut, i första hand på mark. Generellt gäller att riskerna huvudsakligen förekommer i samband med byggfasen och då inte skiljer sig från de risker som förekommer vid varje stort byggprojekt. Dessa risker kan med en bra organisation och etablerade rutiner minimeras och utsläpp kan vid behov saneras. Det som har en relativt hög sannolikhet för att inträffa och som inte relativt enkelt kan saneras är skadade last/tankbilar som läcker olja. Hur stor skada detta orsakar beror på var det inträffar (förekomst av vattentäkter, känslig fauna med mera) och eventuellt även när.

En uppdatering av miljöriskanalysen kommer att genomföras inför ansökningarna 2009. Då har arbetet med projektering kommit längre och anläggningarnas utformning och placering preciserats. I den kommer ytterligare riskscenarion, som exempelvis brand att belysas.

9 Arbetsmiljö

Alla utredningar, all planering och dokumentation av arbetsmiljöarbetet sker inom ramen för projektering av inkapslingsanläggningen och slutförvaret. Med systematiskt arbetsmiljöarbete menas i föreskrifterna arbetsgivarens arbete med att undersöka, genomföra och följa upp verksamheten på ett sådant sätt att ohälsa och olycksfall i arbetet förebyggs och en tillfredsställande arbetsmiljö uppnås. En arbetsmiljöpolicy och rutiner som beskriver hur arbetsmiljöarbetet bedrivs ska finnas dokumenterat.

Föreskrifterna för byggnads- och anläggningsarbete anger att en arbetsmiljöplan ska upprättas. Arbetsmiljön under jord kännetecknas av buller, damm, gaser (till exempel radon), fukt, mörker och trånga utrymmen. Enligt föreskrifterna för bergarbete ska bland annat behovet av ventilation och ventilationssystemets utformning planeras och dokumenteras innan arbetet påbörjas. Det ska också finnas en skriftlig handlingsplan för åtgärder vid olycka. Handlingsplanen kommer att utgöra en del av arbetsmiljöplanen.

Ansvar för arbetsmiljöarbetet vid olika byggarbetsställen ligger på byggherren, i detta fall SKB. Samordningen av arbetet överläts vanligen till en av de större entreprenörerna.

Projekteringsarbetet styrs också av lagar och föreskrifter som ligger inom Räddningsverkets ansvarsområde. Denna typ av frågor liksom arbetsmiljöfrågor ingår inte i ansökningarna, men preliminära versioner av all dokumentation kommer att finnas i samband med att ansökningarna lämnas in år 2009.

10 Referenser

ALARA, 2006. Utredning av tekniker och metoder för reduktion av radioaktiva utsläpp från centralt mellanlager för använt kärnbränsle (Clab) och planerad inkapslingsanläggning för använt kärnbränsle, Simpevarp, Oskarshamns kommun. ALARA engineering rapport 06-0008R, Revision 1.

Andersson J, Herly L och Pettersson L, 2006. Miljörisikanalys för inkapslingsanläggning och slutförvar. SKB P-06-108, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Broman U, Dybeck P, Ekendahl A-M, 2005. Transport av inkapslat bränsle. SKB R-05-65, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Ekendahl A-M, Pettersson S, 1998. Säkerheten vid transport av inkapslat bränsle. SKB R-98-14, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SAR Clab. Clab Säkerhetsrapport. OKG rapport 8/A1. (Företagsintern)

SKB, 1992. SKB 91. Slutlig förvaring av använt kärnbränsle. Berggrundens betydelse för säkerheten. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 1995. SR 95 – Mall för säkerhetsrapporter med beskrivande exempel. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 1999. SR 97, Huvudrapport del I och II. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2000. Samlad redovisning av metod, platsval och program inför platsundersöknings-skedet (Fud-K). Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2005. Säkerhetsrapport för transportsystemet. D-05-02, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2006a. Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar – a first evaluation. Main report of the SR-Can project. SKB TR-06-09, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2006b. Ansökan om tillstånd enligt kärntekniklagen. Inkapslingsanläggning och centralt mellanlager för använt kärnbränsle, vid Simpevarp i Oskarshamns kommun. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB). Svensk Kärnbränslehantering AB. Oktober 2006.

SKB, 2006c. Ansökan om tillstånd enligt kärntekniklagen. Inkapslingsanläggning och centralt mellanlager för använt kärnbränsle, vid Simpevarp i Oskarshamns kommun. Bilaga F. Preliminär säkerhetsredovisning. Svensk Kärnbränslehantering AB. November 2006.

SKBF/KBS, 1983. Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle – KBS-3. Del I–IV. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.

SSI, 2005. Personalstrålskydd inom kärnkraftsindustrin under 2004. Statens strålskyddsinstitut, SSI rapport 2005:12.

De referenser som inte är tillgängliga på SKB:s webbplats, www.skb.se, kan erhållas efter förfrågan.

Sammanfattning av säkerhetsanalysen SR-Can

Inledning

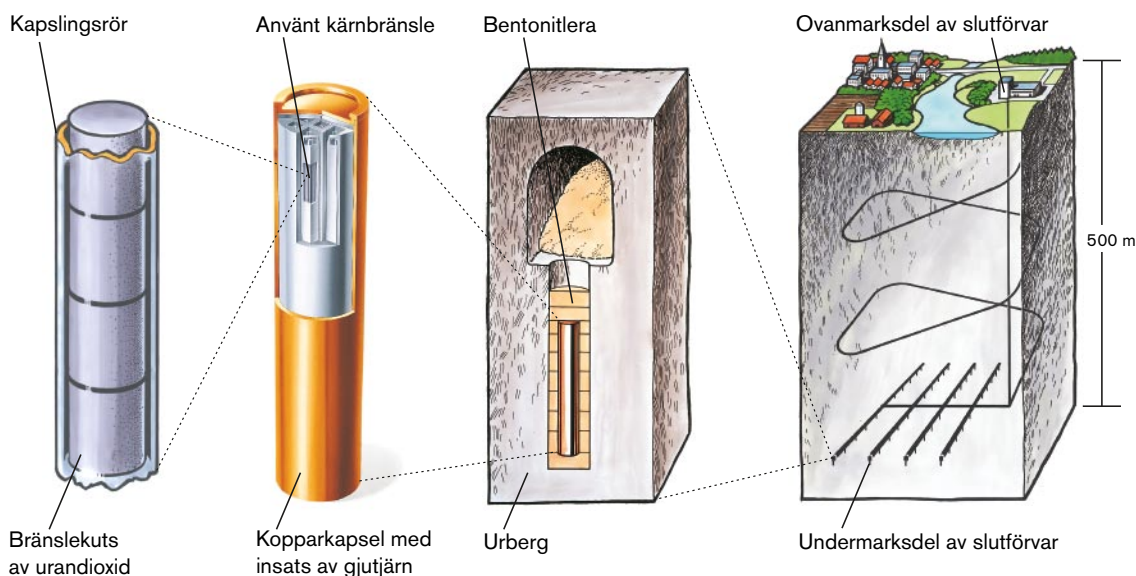
I denna bilaga sammanfattas huvudrapporten från säkerhetsanalysen SR-Can /SKB 2006/. SR-Can-projektet är ett förberedande steg inför SR-Site-analysen, som ska ligga till grund för SKB:s ansökan om att bygga ett slutförvar. Säkerhetsanalysen SR-Can har följande syften:

1. Att preliminärt bedöma säkerheten för KBS-3-förvar vid Forsmark och Laxemar med kapslar enligt ansökan för Inkapslingsanläggningen.
2. Att ge återkoppling till kapselutveckling, till anläggningsutformning för slutförvaret, till fortsatta platsundersökningar, till SKB:s program för forskning kring frågor av betydelse för långsiktig säkerhet samt till kommande säkerhetsanalyser samt
3. Att bereda SKI och SSI tillfälle att granska SKB:s preliminära säkerhetsredovisning inför tillämpningen i ansökan om att uppföra ett slutförvar för använt kärnbränsle.

Analysen gäller slutförvarsmetoden KBS-3, där kopparkapslar med en gjutjärnsinsats innehållande använt kärnbränsle deponeras på cirka 500 meters djup i granitiskt berg och omges av bentonitlera, se figur B1-1. I analysen används preliminära data från platserna Forsmark och Laxemar, som SKB för närvarande undersöker som kandidatplatser för ett KBS-3-förvar.

Det huvudsakliga acceptanskriteriet kräver att ”den årliga risken för skadeverkningar efter förslutning blir högst 10^{-6} för en representativ individ i den grupp som utsätts för den största risken”. Med ”skadeverkningar” avses cancer och ärftliga skador. Riskgränsen motsvarar en effektiv dosgräns på cirka $1,4 \cdot 10^{-5}$ Sv/år, det vill säga cirka en procent av den naturliga bakgrundstrålningen i Sverige.

Tidsperspektivet för analysen är en miljon år efter förslutning av förvaret, i enlighet med myndighetskrav. Ovannämnda riskgräns gäller enligt SSI som en kvantitativ gräns under de första cirka etthundratusen åren, och därefter som ett underlag för diskussion om slutförvarets skyddsförmåga.



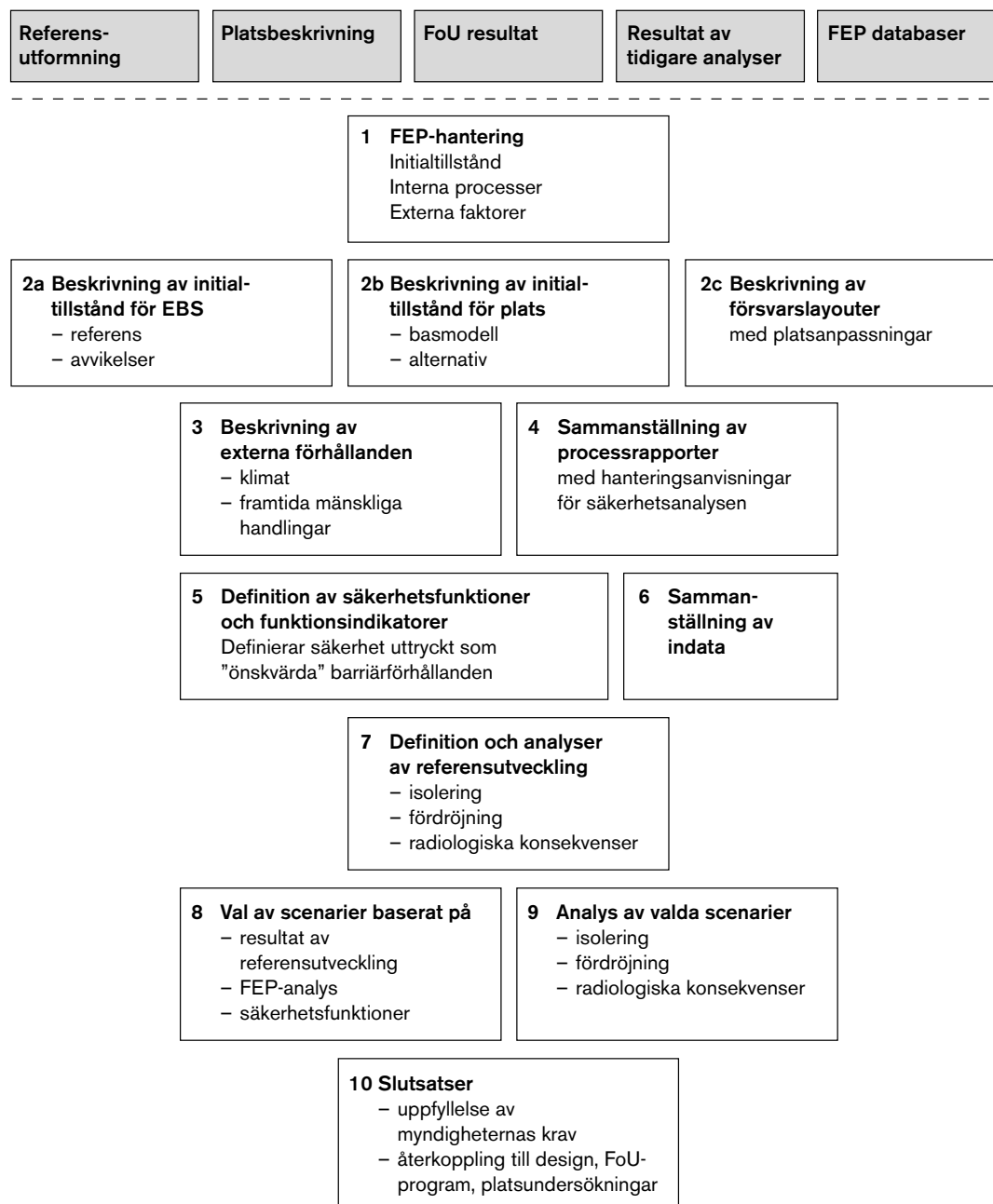
Figur B1-1. KBS-3-metoden för slutförvaring av använt kärnbränsle.

Metodik

Förvarssystemet, brett definierat som det deponerade använda kärnbränslet, de tillverkade barriärerna kring det, förvarsberget och biosfären i anslutning till slutförvaret, kommer att utvecklas över tiden. Systemets framtida tillstånd kommer att bero på:

- systemets initialtillstånd,
- ett antal termiska, hydrauliska, mekaniska och kemiska processer som verkar internt i förvarssystemet över tiden,
- extern påverkan på systemet.

En metodik i tio steg har utvecklats för SR-Can. Den sammanfattas i figur B1-2. Dessa steg utförs delvis parallellt, delvis konsekutivt.



Figur B1-2. Översikt av de tio huvudstegen i säkerhetsanalysen SR-Can. Rutorna ovanför den streckade linjen visar indata till analysen.

De tio stegen beskrivs närmare nedan.

1. Identifiering av faktorer att beakta (FEP-hantering)

Detta steg består av att identifiera alla faktorer som ska ingå i analysen. Erfarenhet från tidigare säkerhetsanalyser används, tillsammans med KBS-3-specifika och internationella databaser över relevanta egenskaper, händelser och processer (eng. features, events and processes, FEP) som påverkar den långsiktiga säkerheten. En FEP-databas har utvecklats för SR-Can. I denna klassificeras de allra flesta FEP som relaterade till initialtillståndet, till interna processer eller till externa faktorer. Återstående FEP är antingen relaterade till analysmetodiken i allmänhet, eller bedömda som irrelevanta för KBS-3-metoden. Utgående från resultaten av FEP-hantering har en FEPkatalog för SR-Can upprättats, med FEP som ska behandlas i SR-Can. Detta steg i FEP-hantering beskrivs i FEP-rapporten /FEP report 2006/ i SR-Can.

2. Beskrivning av initialtillståndet

Systemets initialtillstånd beskrivs utgående från specifikationerna för KBS-3-förvaret, en beskrivande modell av platsen för slutförvaret och en platsspecifik layout av förvaret. Initialtillståndet för bränslet och de tillverkade komponenterna avser förhållandena omedelbart efter deponering, så som beskrivs i Initialtillståndsrapporten /Initial state report 2006/. Initialtillståndet för geosfären och biosfären avser de naturliga förhållandena innan brytningsarbetet inleds, enligt de platsbeskrivande modellerna för platserna Forsmark /SKB 2005/ och Laxemar /SKB 2006b/. Förvarslayouter, anpassade till platserna, ges i /Brantberger et al. 2006/ och /Janson et al. 2006/ för Forsmark respektive Laxemar.

3. Beskrivning av externa förhållanden

Faktorer relaterade till externa förhållanden delas in i de tre kategorierna ”klimatrelaterade frågor”, ”storskaliga geologiska processer och effekter” samt ”framtida mänskliga handlingar”. Hanteringen av dessa faktorer beskrivs i Klimatrapporten /Climate report 2006/, Geosfärprocessrapporten /Geosphere process report 2006/, respektive FHA-rapporten /FHA report 2006/.

4. Beskrivning av processer

Identifieringen av relevanta processer bygger på tidigare analyser och FEP-hantering. Alla identifierade processer inom systemgränsen som är relevanta för den långsiktiga utvecklingen av systemet beskrivs i särskilda processrapporter. Kortsiktiga geosfärprocesser/ändringar på grund av brytning beskrivs också i dessa processrapporter och beaktas i analysen. För varje process dokumenteras dess generella egenskaper, under vilken tidsperiod den har betydelse, vilka andra processer den är kopplad till och hur processen ska hanteras i säkerhetsanalysen.

5. Definition av säkerhetsfunktioner, säkerhetsfunktionsindikatorer och kriterier för säkerhetsfunktionsindikatorer

Detta steg består av en redogörelse för systemets säkerhetsfunktioner och av hur dessa kan utvärderas med hjälp av en uppsättning säkerhetsfunktionsindikatorer som i princip utgörs av mätbara eller beräkningsbara egenskaper hos systemet. Kriterier ges för säkerhetsfunktionsindikatorerna. Processrapporterna är viktiga referensdokument för detta steg. Ett FEP-diagram tas fram som visar hur FEP förhåller sig till säkerhetsfunktionsindikatorer.

6. Sammanställning av indata

En strukturerad procedur används för att välja data till kvantifieringen av slutförvarets utveckling och i dosberäkningar. Urvalsprocessen och valda datavärden beskrivs i en särskild Datarapport /Data report 2006/. En flexibel mall för diskussion av osäkerheter i indata har utvecklats och tillämpats.

7. Definition och analys av referensutveckling

En referensutveckling, som beskriver en tänkbar utveckling av förvarssystemet, definieras och analyseras. Systemets isoleringsförmåga över tiden analyseras i ett första steg. Denna analys beskriver den allmänna utvecklingen av systemet och en utvärdering av säkerhetsfunktionsindikatorerna görs. Om utvecklingen leder till att isoleringen bryts analyseras den fördröjande potentialen hos slutförvaret och dess omgivning och doskonsekvenser beräknas för de långsiktiga förhållandena som identifieras i det första steget. Vissa typer av kapselbrott som inte inträffar i referensutvecklingen analyseras för att ytterligare klargöra systemets fördröjningsegenskaper. Varje process hanteras i enlighet med de planer som beskrivs i processrapporterna.

8. Val av scenarier

En uppsättning scenarier väljs för analys. Ett omfattande huvudscenario definieras i enlighet med SKI:s föreskrifter SKIFS 2002:1. Huvudscenariot liknar referensutvecklingen som analyserades i steg 7. Valet av ytterligare scenarier bygger på säkerhetsfunktionerna i förvaret. Säkerhetsfunktionsindikatorerna som definierades i steg 4 är en viktig utgångspunkt för valet. För varje säkerhetsfunktion analyseras om det rimligen skulle kunna uppstå en situation där funktionen inte upprätthålls. Om så är fallet får motsvarande scenario ingå i riskvärderingen för slutförvaret. Den totala risken fastställs genom summering över sådana scenarier. I uppsättningen valda scenarier ingår även till exempel scenarier som nämns explicit i tillämpliga föreskrifter, som mänskligt intrång, liksom scenarier och varianter som har till syfte att undersöka konstruktionsmässiga frågor och olika komponenters roller i förvaret.

9. Analys av valda scenarier

Huvudscenariot analyseras i första hand genom hänvisning till referensutvecklingen i steg 7. Ett viktigt resultat är ett beräknat riskbidrag från huvudscenariot. Ytterligare scenarier analyseras genom att man fokuserar på faktorer som potentiellt kan leda till situationer där säkerhetsfunktionen i fråga inte upprätthålls. I de flesta fall utförs dessa analyser genom jämförelse med utvecklingen för huvudscenariot. Analyserna innefattar alltså endast de aspekter på förvarets utveckling där scenariot i fråga avviker från huvudscenariot. För dessa scenarier, liksom för huvudscenariot, uppskattas ett riskbidrag.

10. Slutsatser

Detta steg innefattar sammanställning av resultat från de olika scenarioanalyserna, slutsatser med avseende på säkerhet i relation till myndighetskriterier och återkoppling med avseende på förvarsutformning, fortsatta platsundersökningar och SKB:s Fud-program.

Platserna och förvarslayouterna

Från platsdata till SR-Can

Informationsöverföringen från fältundersökning till tillämpning i säkerhetsanalysen omfattar flera steg. *Fältdata* hämtas från olika undersökningsverksamheter, som flygspanings- och markbaserad geofysik, provborringar och borrhålsundersökningar. Data kvalitetskontrolleras och matas in i SKB:s platsdatabas, Sicada. Fältdata tolkas och utvärderas i en integrerad och

tvärvetenskaplig *platsbeskrivningsmodell* (SDM – Site Descriptive Model) som utgör en syntes av geologi, bergmekanik, termiska egenskaper, hydrogeologi, hydrogeokemi, transportegenskaper i berget och egenskaper hos ytsystemet. Modellerna dokumenteras i SDM-rapporter. Platsdata som används i SR-Can värderas i en datarapport med SDM version 1.2 som indata. Datarapporten beskriver även hur icke platsspecifik information har beaktats. I den rapporten görs bedömningar baserade på hur data kommer att användas i SR-Can och hur osäkerheterna som identifieras i SDM hanteras. Det slutliga valet av indata till modellen rapporteras.

Forsmark

Kandidatplatsen Forsmark ligger i norra Uppland, i Östhammars kommun. Landskapet kring Forsmark utgörs av en relativt plan urbergsplatå som sluttar svagt mot öster. Hela området ligger under högsta kustlinjen från den senaste avsmältningen av inlandsis. Dagens landskap är starkt påverkat av den vertikala landhöjningen på cirka 6 millimeter per år.

Urberget kring Forsmark har påverkats av både duktil och spröd deformation. Den duktila deformationen har medfört stora duktila områden med hög spänning, men kandidatområdet befinner sig inom en tektonisk lins mellan duktila zoner med hög spänning. Urberget inom linsen är förhållandevis homogent och domineras av metagranit med hög halt av kvarts. Litologin och deformationen är mera komplex utanför linsen. Ingen potential för fyndigheter av metaller eller industrimineraler har konstaterats i kandidatområdet. På grund av sin relativt höga kvartshalt karakteriseras berget av hög termisk konduktivitet och hög mekanisk hållfasthet i jämförelse med typiska bergsförhållanden i Sverige.

Tre större uppsättningar deformationszoner med tydliga orienteringar har konstaterats. Förutom vertikala och brant lutande zoner finns zoner som lutar svagt åt sydost och syd. Dessa svagt lutande zoner förekommer mera i den sydöstra delen av kandidatområdet och de har högre hydraulisk transmissivitet än de vertikala och brant lutande deformationszonerna vid platsen. De förefaller spela en viktig roll för att fastställa egenskaperna för platsen vad gäller spänningsfördelning, sprickbildning och transmissivitetsfördelningen hos sprickor. Frekvensen av öppna och partiellt öppna sprickor är mycket låg under cirka 300 meters djup, jämfört med vad som observerats i den övre delen av urberget i den nordvästra delen av kandidatvolymen. Det senare området är målvolym för ett potentiellt förvar vid platsen. Dessutom är spänningarna i berget stora i jämförelse med typiska värden för svensk berggrund, möjligen kopplat till den låga förekomsten av sprickor i denna del av berggrunden. Den övre del av berggrunden med större förekomst av sprickor, som ligger ovanför målvolymen, uppvisar hög transmissivitet i horisontalplanet och ger god hydraulisk kontakt över långa avstånd, medan den djupare berggrunden förefaller ha mycket låg permeabilitet med få transmissiva sprickor. Det finns meteoriskt vatten i det översta cirka 200 meter tjocka skiktet av berggrunden. På djup mellan 200 och 800 meter är salthalten tämligen konstant (5 000–6 000 mg/l) och vattensammansättningen uppvisar spår från Littorinahavets vatten. På djup mellan 800 och 1 000 meter ökar salthalten.

Laxemar

Platsen Laxemar är en del av kandidatområdet Simpevarp i Oskarshamns kommun. Topografin är relativt flack. Hela området ligger under den högsta kustlinjen från den senaste avsmältningen av inlandsis. Det pågår fortfarande en vertikal landhöjning på cirka 1 millimeter per år. Områdets norra och centrala delar domineras av Ävrögranit, medan det i den södra delen finns bergsområden som huvudsakligen består av kvartsmonzodiorit och diorit till gabbro. Denna formation bildar en båge som lutar mot norr och vars konkava sida är riktad mot norr. Ingen potential för fyndigheter av metaller eller industrimineraler har konstaterats i området. Många av bergstyperna i delområdet Laxemar har låg och rumsligt varierande kvartshalt. Detta ger upphov till låg och varierande termisk konduktivitet, i jämförelse med typiska värden för svensk berggrund. Medelvärde för enaxlig kompressionshållfasthet är relativt lågt i de flesta typerna av berggrund, och spridningen är relativt stor. Emellertid baseras dessa resultat på data från ett fåtal prov och de kan vara påverkade av närheten till en större deformationszon.

Deformationszonerna löper i huvudsak i nord-sydlig och öst-västlig riktning. Bedömningen är att de flesta lokala större och brant lutande zonerna har identifierats och att det inte förekommer några svagt lutande regionala zoner inom det lokala modellområdet. Emellertid kvarstår osäkerheter på detaljnivå.

Sprickbildningen är mycket variabel och beskrivningen av spricknätverket är osäker. Både mätdata och resultat från spänningsmodellering visar att delområdet Laxemar kan delas in i två olika spänningsområden (I och II), där spänningsområde II uppvisar lägre spänning. Den begränsade tillgången på data för Laxemar vid tiden då data frystes för denna rapport antyder att bergsvolymen skulle kunna delas in i hydrauliska områden med olika och djupberoende hydrauliska egenskaper. Nya data som har kommit fram efter att data frystes ger starkt stöd för ovannämnda indikationer om att den hydrauliska konduktiviteten är beroende av djupet och att bergsområdena i södra Laxemar har lägre konduktiviteter än de i norra Laxemar.

Grundvattnets komplexa utveckling och mönster vid delområdet Laxemar beror både på tidigare utveckling av grundvattenflöde och förändringar av grundvattensammansättningen orsakad av mikrobiella processer och interaktion mellan vatten och berg. I delområdet Laxemar finns sött (meteoriskt) vatten ner till ett djup av 800 meter, medan gränsen är mycket grundare i delområdet Simpevarp som ligger närmare havet. Bräckt vatten förekommer på mellanliggande djup (500–950 m). På större djup (900–1 200 m) blir vattnet salt (6 000–20 000 mg/l Cl, 25–30 g/l TDS). Vatten med hög salthalt (> 20 000 mg/l Cl, max TDS ~ 70 g/l) har bara hittats på djup större än 1 200 meter.

Även om version 1.2 av den platsbeskrivande modellen för Laxemar bygger på en stor mängd data är bara ett fåtal mätningar representativa för den/de potentiella förvarsvolymen/-volymerna. Detta är särskilt tydligt då det gäller data om sprickor samt termiska och hydrauliska data. Data som samlats in efter att data frysts, liksom data som ska samlas in framgent kommer att tillåta en utförligare uppsättning analyser (liksom den för Forsmark) även för Laxemar. Inom SR-Can har en mer begränsad uppsättning analyser för platsen Laxemar genomförts.

Förvarslayouter

Preliminära förvarslayouter, baserade på platsbeskrivningarna, har tagits fram för de båda platserna. Layouterna avser ett slutförvar för 6 000 kapslar. Vid Forsmark har referenslayouten, som analyseras i SR-Can, tagits fram för nivån –400 meter. Vid Laxemar har referenslayouten tagits fram för nivån –500 meter.

För att undvika skadlig inverkan från potentiella framtida jordskalv tillämpas ett säkerhetsavstånd till deformationszoner med längd överstigande 3 kilometer. För zoner kortare än 3 kilometer tillämpas ett säkerhetsavstånd som understiger 100 meter. Ett minsta tillåtet avstånd mellan kapslarna fastställs utgående från termiska egenskaper. En nyttjandegrad uppskattas genom att man beaktar den mekaniska stabiliteten, sannolikheten för att ett deponeringshål kommer att skära sprickor eller deformationszoner med radie $R > 75$ meter, och inflöde av vatten till tunnlar och deponeringshål. Här utnyttjar man kriterier som definieras i fastställda konstruktionsförutsättningar. Nyttjandegraden påverkar förvarets storlek i layouten. Förvaret ska alltså göras stort nog för 6 000 acceptabla kapselpositioner. Vid Forsmark är nyttjandegraden 89 % i layouten och vid Laxemar baseras konstruktionen på nyttjandegraden 80 %.

De kriterier för val av kapselplacering som tillämpas i konstruktionen är preliminära. SR-Can har därför undersökt betydelsen av sådana kriterier. Det så kallade FPC-kriteriet (FPC – full perimeter intersection criterion) anger att om en spricka observeras runt en deponeringstunnels hela omkrets får inget deponeringshål placeras så att det skulle skära den antagna förlängningen av sprickan. Utvärdering av detta kriterium har påvisat dess goda förmåga att minska antalet deponeringshål som skärs av stora sprickor, till priset av obetydligt ökad total längd hos deponeringstunnlarna. Man antar därför i SR-Can att FPC-regeln har använts i layouterna för de båda platserna. Det är sannolikt att praktiska kriterier med avseende på flödesförhållanden

skulle komma att relatera till resultaten av hydrauliska test – observationer av inflöden till deponeringstunnlar eller deponeringshål. Emellertid har inte de praktiska aspekterna eller effektiviteten hos sådana kriterier ännu analyserats av SKB, och SR-Can gör endast en första analys av den potentiella betydelsen hos flödesrelaterade acceptanskriterier.

Säkerhet

Utvecklingen av KBS-3-konceptet har styrts av ett antal *säkerhetsprinciper*. Den långsiktiga funktionen hos förvaret kan uttryckas genom att studera en uppsättning *säkerhetsfunktioner* som helst ska upprätthållas under den period på en miljon år som täcks av analysen. Säkerhetsprinciperna och användningen av säkerhetsfunktioner i SR-Can sammanfattas nedan.

Säkerhetsprinciper

Sedan arbetet med det svenska slutförvarsprojektet inleddes i slutet av 1970-talet har SKB etablerat en rad principer för utformningen av ett slutförvar. Dessa principer kan sägas utgöra säkerhetsfilosofin bakom KBS-3-metoden. De sammanfattas nedan.

- Genom att placera slutförvaret på stort djup i en långsiktigt stabil geologisk miljö, kommer avfallet att isoleras från människor och ytnära miljö. Det betyder att förvaret inte påverkas i högre grad av vare sig samhälleliga förändringar eller av direkta effekter av långsiktiga klimatförändring på jordens yta.
- Genom att placera slutförvaret på en plats där förvarsberget kan antas ha litet ekonomiskt intresse för framtida generationer minskar risken för mänskligt intrång.
- Det använda kärnbränslet omges av flera tillverkade och naturliga säkerhetsbarriärer.
- Barriärernas primära säkerhetsfunktion är att isolera bränslet.
- Om isoleringen skulle brytas är barriärernas sekundära säkerhetsfunktion att fördröja ett eventuellt utsläpp från förvaret.
- Tillverkade barriärer ska bestå av naturligt förekommande material som är långsiktigt stabila i förvarsmiljön. De långsiktiga materialegenskaperna ska kunna verifieras.
- Förvaret ska utformas så att höga temperaturer som kan ha betydande skadlig effekt på barriärernas egenskaper på lång sikt undviks.
- Barriärerna ska vara passiva, det vill säga de ska fungera utan mänskliga ingrepp och utan aktiv tillförsel av material eller energi.

Tillsammans med många andra aspekter, som ramarna som ges av Sveriges geologiska miljö och kravet att förvaret måste vara tekniskt möjligt att bygga, har dessa principer lett fram till KBS-3-systemet för slutförvaring av använt kärnbränsle.

Säkerhetsfunktioner

De viktigaste säkerhetsrelaterade egenskaperna för KBS-3-förvaret kan sammanfattas i säkerhetsfunktionerna isolering och fördröjning. För en detaljerad och kvantitativ förståelse och utvärdering av förvarets säkerhet krävs en fullständig beskrivning av hur de huvudsakliga säkerhetsfunktionerna isolering och fördröjning uppnås av komponenterna i förvaret. Utgående från förståelsen av komponenternas egenskaper och den långsiktiga utvecklingen av systemet kan ett antal säkerhetsfunktioner identifieras som är underordnade isolering och fördröjning. Följande definitioner används:

- En säkerhetsfunktion är den roll som en förvarskomponent har för att bidra till säkerheten.
- En säkerhetsfunktionsindikator är en mätbar eller beräkningsbar egenskap hos en komponent i ett förvar som anger i vilken utsträckning en säkerhetsfunktion är uppfylld.

- Ett kriterium för en säkerhetsfunktionsindikator är en kvantitativ gräns. Om funktionsindikatorn uppfyller kriteriet är motsvarande säkerhetsfunktion uppfylld. En översikt över säkerhetsfunktioner, deras indikatorer och kriterier ges i figur B1-3. Säkerhetsfunktioner bidrar till säkerhetsbedömningen, men uppfyllelse av alla kriterier för säkerhetsfunktionsindikatorer är varken nödvändigt eller tillräckligt för att fastställa att förvaret är säkert. De olika kriterierna för säkerhetsfunktionsindikatorer anges dessutom med olika acceptansmarginaler. Säkerhetsfunktioner är relaterade till, men inte identiska med, konstruktionskriterier. Medan konstruktionskriterier hänför sig till förvarets initialtillstånd och i första hand till dess tillverkade komponenter, ska säkerhetsfunktioner vara uppfyllda under hela analysperioden och hänför sig till såväl tillverkade komponenter som det naturliga systemet.

Förvarets referensutveckling

En referensutveckling för ett KBS-3-förvar vid platserna Forsmark och Laxemar, som täcker hela analysperioden på en miljon år, studeras för att förstå systemutvecklingen i stort och för att ge underlag för scenarieval och scenarieanalyser. Målet är att beskriva en rimlig utveckling av förvarssystemet över tid.

Två varianter av referensutveckling analyseras:

- En basvariant där de externa förhållandena under den första glaciationscykeln på 120 000 år antas likna dem som rådde under den senaste glaciationscykeln, Weichselistiden. Därefter antas sju upprepningar av samma glaciationscykel täcka hela analysperioden på en miljon år.
- En växthusvariant där det framtida klimatet och följaktligen de externa förhållandena antas starkt påverkade av antropogena utsläpp av växthusgaser.

Analysen genomförs i fyra tidsepoker. Inom varje epok utvärderas ovannämnda säkerhetsfunktioner.

Byggnads- och driftsfasen

Analyserna av förvarets byggnads- och driftsfaser, som förväntas pågå under flera decennier, inriktar sig främst på störningar av mekaniska, hydrologiska och kemiska förhållanden på grund av byggnad och drift av förvaret. Bland frågor av potentiell betydelse för den långsiktiga säkerheten kan nämnas:

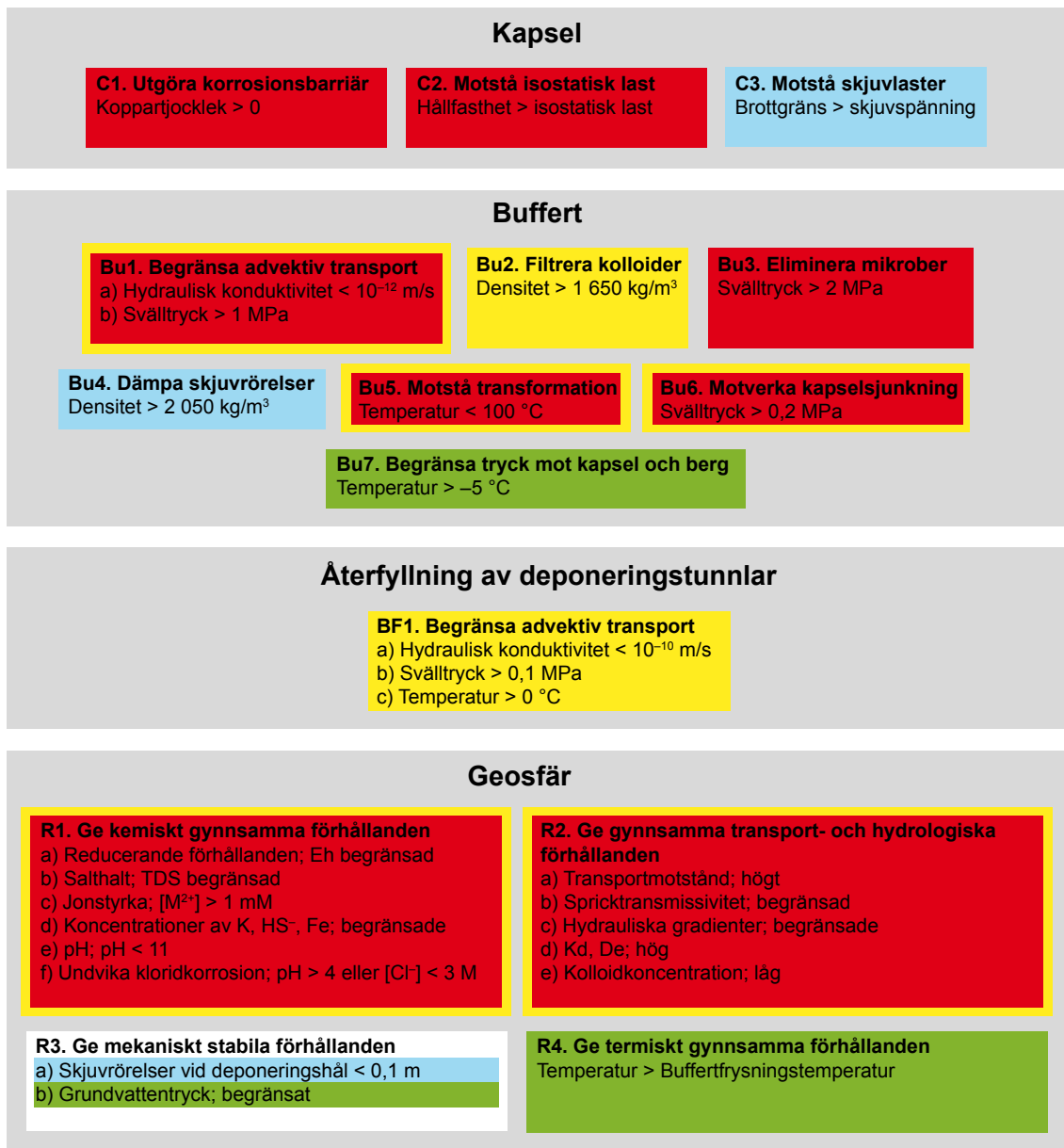
- Bildningen av en sprängskadad zon (EDZ – excavation damaged zone) kring deponeringshål och framför allt kring deponeringstunnlar, som försämrar bergets retentionsegenskaper relaterade till säkerhetsfunktionerna R2a och R2b i figur B1-3.
- Kanalbildning i bufferten, det vill säga bildning av hydrauliskt ledande kanaler omedelbart efter deponering på grund av de höga grundvattentryckgradienterna i det öppna förvaret. Kanalbildningen kan i sin tur medföra erosion av den deponerade bufferten, när vatten strömmar genom kanalerna. Detta är kopplat till säkerhetsfunktionen Bu1 i figur B1-3.

Den första tempererade perioden

Denna period förväntas vara i flera tusen år. Förvarsberget och de återfyllda tunnlarna förväntas bli vattenmättade och den efterföljande utvecklingen av geosfären karakteriseras av återgång till det naturliga, ostörda tillståndet före brytning. Analysen av denna period innefattar termisk, hydrogeologisk, mekanisk och kemisk modellering.

En viktig säkerhetsrelaterad fråga med långsiktiga konsekvenser är sprickbildning, så kallad termisk spjälkning, av berget kring deponeringshålen, orsakad av spänningar från värmeutvecklingen i det deponerade avfallet. Detta är kopplat till säkerhetsfunktionerna R2a och R2b i figur B1-3.

Inga andra säkerhetsfunktioner bedöms hotade av utvecklingen under den första tempererade perioden.



Figur B1-3. Säkerhetsfunktioner (fetstil), säkerhetsfunktionsindikatorer och kriterier för säkerhetsfunktionsindikatorer. Om kvantitativa kriterier inte kan ges används i stället termer som "hög", "låg" och "begränsad" för att ange gynnsamma värden för funktionsindikatorerna. Färgkodningen visar hur funktionerna bidrar till kapselns säkerhetsfunktioner C1 (röd), C2 (grön), C3 (blå) eller till fördröjning (gul). Många funktioner bidrar till både C1 och fördröjning (röd ruta med gul kant).

Den första glaciationscykeln

Förekomst av permafrost och glaciala förhållanden studeras med hjälp av en modellrekonstruktion av den senaste glaciationscykeln, Weichselistiden. Den innefattar Weichselistiden och den interglaciala perioden Holocen och påvisar stora förändringar på ytan och även av vissa geosfärsförhållanden som har betydelse för förvarets säkerhet. Som exempel kan nämnas:

- Tillväxt av permafrost.
- Förändrad mekanisk belastning på berget på grund av ett överliggande istäcke som förändrar spänningsfördelningen i berget och eventuellt skapar större jordskalv.
- Ökade hydrostatiska tryck på förvarsnivå under glaciala förhållanden.

- Förekomsten av jonfattigt grundvatten under glaciala förhållanden kan potentiellt orsaka erosion av buffert och återfyllning genom kolloidbildning. Detta skulle i sin tur öka kapselkorrosionen.
- Möjlig nedträngning av syre till förvarsdjup under kortare perioder av ökat grundvattenflöde under glaciala förhållanden.
- Faktorer som påverkar fördröjning i geosfären, som temporärt ökade grundvattenflöden.

Analysresultaten visar följande.

- Större jordskalv, med magnitud 6 eller större, i närheten av förvaret är mycket osannolika men kan inte uteslutas helt. Resultaten av probabilistiska beräkningar anger att medelantalet kapselbrott under den första glaciationscykeln, som följd av sådana händelser, är 0,014 för Forsmark och 0,0077 för Laxemar. Detta är kopplat till säkerhetsfunktionerna C3 och R3a i figur B1-3.
- Jonfattiga grundvatten kan förekomma under långa perioder när glaciala förhållanden råder. Detta kan leda till förlust av buffertmassa i några deponeringshål, så mycket att advektiva förhållanden uppstår. Advektiva förhållanden leder till ökad kapselkorrosion, men inga kapselbrott förväntas under den första glaciationscykeln. Detta är kopplat till säkerhetsfunktionerna C1, Bu1 och R1c i figur B1-3.

Andra aspekter på utvecklingen under den första glaciationscykeln bedöms inte hota några av förvarets säkerhetsfunktioner.

Tiden efter den första glaciationscykeln, fram till en miljon år

Den vidare utvecklingen av förvarssystemet analyseras genom att man antar ytterligare sju upprepningar av den 120 000 år långa Weichselistiden. Samma fenomen som för den första glaciationscykeln skulle kunna inverka menligt på säkerheten under framtida glaciationscykler:

- Sannolikheten för större jordskalv bedöms öka med tiden. Medelantalet kapselbrott för hela analysperioden på en miljon år beräknas till 0,12 för Forsmark och till 0,065 för Laxemar.
- Omfattningen av buffertförlust på grund av erosion förväntas öka med tiden. Detta leder till ökad kapselkorrosion, vilket kan medföra haveri av ett fåtal kapslar under analysperioden på en miljon år. Resultatet påverkas av många faktorer som analyseras i referensutvecklingen.

Analysresultaten pekar inte på att några ytterligare säkerhetsfunktioner hotas.

Växthusvarianten

I växthusvarianten antas ett tempererat klimat råda under 50 000 år före den relativt milda övergången till basvarianten av nästa glaciationscykel, i stället för bara några tusen år av initiala tempererade förhållanden om ingen ökad växthuseffekt inträffar. I hela rapporten gäller implicit att växthusvarianten beskriver en situation med *ökad* växthuseffekt.

Som framgår ovan är de mest negativa processerna för förvarets säkerhet relaterade till glaciala förhållanden. Därför är en förlängd period av tempererat klimat i princip gynnsam för säkerheten.

Radiologiska konsekvenser

Radionuklidtransport och dosberäkningar utförs för fyra typer av kapselbrott. Två av dessa, orsakade av korrosion och respektive skjuvrörelser, identifierades i *referensutvecklingen*. Ytterligare två hypotetiska skadetyper analyseras för att illustrera fördröjning, förvarets sekundära säkerhetsfunktion.

En stor uppsättning beräkningar görs för att analysera fördröjning och för att klargöra konsekvenserna av många osäkerheter som identifieras i referensutvecklingen. I biosfären uppskattas radionuklidtransport och doskonsekvenser med en ny metod som är baserad på platsspecifika biosfärdata och som tar hänsyn till landskapets utveckling över tid.

Resultaten anger att potentiella kapselbrott som följd av referensutvecklingen medför konsekvenser som ligger väl under myndigheternas riskgränser.

Scenarier

Den vidare analysen av förvarets säkerhet bryts ner i ett antal scenarier. Ett omfattande huvudscenario representerar en rimlig utveckling av förvarssystemet. Utvecklingen av detta scenario är nära kopplat till referensutvecklingen. En uppsättning ytterligare scenarier definieras för att täcka osäkerheter som inte beaktas i referensutvecklingen, till exempel mera extrema klimatförhållanden än de som resulterar av en uppreppning av Weichselistiden i referensutvecklingen.

Säkerhetsfunktionerna används för att få en omfattande uppsättning scenarier. Fokus ligger på viktiga frågor för förvarssäkerheten. När man definierar ett scenario *postuleras* att en säkerhetsfunktion bryts, varefter alla tänkbara vägar till ett sådant brott granskas. Målet är att svara på frågan: Finns det någon rimlig möjlighet att detta scenario skulle kunna inträffa? Om så visar sig vara fallet tas konsekvenserna av scenariot i fråga med i en risksummering för förvaret. I annat fall betraktas scenariot som ett ”restscenario”, och konsekvenser kan analyseras som illustration.

Ett scenario med kapselbrott på grund av isostatiskt övertryck får exemplifiera angreppssättet. I detta scenario beaktas missöden vid tillverkningen av de lastbärande kapselinsatserna, svälltryck som överstiger referensvärdena för bufferten och mycket kraftiga istäcken som ger högre grundvattenstryck. Förutom scenarierna som tagits fram på detta sätt söks scenarier som krävs av myndighetsföreskrifter eller som av andra skäl bedöms som relevanta. Detta ledde till att ett antal scenarier relaterade till framtida mänskliga handlingar valdes. Dessa är restscenarier, det vill säga de ingår inte i förvarets riskanalys. Tabell B1-1 ger en översikt över valda scenarier.

Valda scenarier analyseras, ofta som en utökad analys av referensutvecklingen. Två typer av kapselskador konstaterades bidra till risken:

- Skada på grund av kopparkorrosion när advektiva förhållanden råder i deponeringshållet på grund av att bufferten eroderat. Bufferterrosionen orsakas av kolloidbildning på grund av glacialt smältvatten med låg jonstyrka. Denna skada uppträder i referensutvecklingen och följaktligen i huvudscenariot. I kapselkorrosionsscenariot, som analyseras för att täcka osäkerheter som inte beaktas i referensutvecklingen, förutses större konsekvenser än för referensutvecklingen.
- Haveri på grund av skjuvrörelser i berget, orsakade av större jordskalv. Denna typ av kapselskada har låg sannolikhet, men kan inte uteslutas helt.

Tabell B1-1. Resultat av scenarievalet. Gröna rutor anger förhållanden för basvarianten av huvudscenariot, röda anger avvikelser från dessa förhållanden. EBS (Engineered Barrier System) betecknar de tillverkade barriärerna, dvs kapseln, bufferten och deponeringstunneln.

HuvudscENARIO				
Namn	Initialtillstånd EBS	Initialtillstånd plats	Processhantering	Hantering av externa förhållanden
Basvariant	Referens ± toleranser	Platsbeskrivande modell version 1.2 (med varianter/osäkerheter)	Enligt processrapporter	Referensklimat (upprepningar av weichselistiden) Inga framtida mänskliga handlingar (FHA)
Växthusvarianten	Referens ± toleranser	Platsbeskrivande modell version 1.2 (med varianter/osäkerheter)	Enligt processrapporter	Förlängd tempererad period Inga framtida mänskliga handlingar (FHA)
Ytterligare scenarier baserade på potentiell förlust av säkerhetsfunktioner ("mindre sannolika" eller "restscenarier" beroende på analysresultat)				
Namn	Initialtillstånd EBS	Initialtillstånd plats	Processhantering	Hantering av externa förhållanden
Advektion i bufferten	Utvärdera osäkerheter för relevanta initialtillståndsfaktorer, inre processer och externa förhållanden som skulle kunna leda till förlust av den aktuella säkerhetsfunktionen. Analysen av huvudscenariot utgör utgångspunkt.			
Buffertfrysning	Se ovan			
Buffertomvandling	Se ovan			
	Beakta vart och ett av de tre bufferttillstånden ovan + intakt buffert, för analys av de tre kapselscenarierna nedan.			
kapselbrott på grund av isostatisk last	Utvärdera osäkerheter för relevanta initialtillståndsfaktorer, inre processer och externa förhållanden som skulle kunna leda till förlust av den aktuella säkerhetsfunktionen. Analysen av huvudscenariot utgör utgångspunkt.			
Kapselbrott på grund av skjuvrörelse	Se ovan			
Kapselbrott på grund av korrosion	Se ovan			
Scenarier relaterade till framtida mänskliga handlingar				
Namn	Initialtillstånd EBS	Initialtillstånd plats	Processhantering	Hantering av externa förhållanden
Intrång genom borrhning	Som basvarianten av huvudscenariot	Som basvarianten av huvudscenariot	Som basvarianten av huvudscenariot, utom processer som påverkas av borrhning	Referensklimat + borrhning
Ytterligare intrångsfall, t ex näraliggande brytningsplats	Som basvarianten av huvudscenariot	Som basvarianten av huvudscenariot	Som basvarianten av huvudscenariot, utom processer som påverkas av intrång	Referensklimat + intrång
Ej förslutet förvar (analyseras inte i SR-Can)	Som basvarianten av huvudscenariot, men ofullständig förslutning	Som basvarianten av huvudscenariot	Som basvarianten av huvudscenariot, modifierad beroende på initialtillstånd	Referensklimat + intrång

Huvudsakliga resultat och slutsatser

De viktigaste resultaten från SR-Can-projektet sammanfattas i avsnitten A, B och C nedan. En mera detaljerad diskussion om uppfyllelse av SSI:s riskkriterium ges i avsnitt D, medan ytterligare resultat och slutsatser sammanfattas i avsnitt E.

A. Uppfyllelse av riskkriteriet

Inga kapselbrott bedöms inträffa under den första perioden av tempererat klimat, som förväntas sträcka sig flera tusen år framåt

Inga kapselbrott förväntas vid någon av platserna under den initiala tempererade perioden efter deponering, som bedöms fortgå i flera tusen år. Dessutom har hittills utförda utvärderingar av defekter i kapselförslutningen lett till slutsatsen att alla kapslar kommer att vara täta vid deponeringen.

Ett förvar vid Forsmark bedöms uppfylla riskkriteriet

Den preliminära analysen i SR-Can anger att ett KBS-3-förvar vid Forsmark kommer att uppfylla SSI:s riskkriterium.

Osäkerheterna är dock betydande i den hydrogeologiska tolkningen och förståelsen för Forsmark. När dessa osäkerheter propageras till olika delar av analysen leder det till ett brett spann av möjligheter kring till exempel utsläpp av buffertkolloider och vattenflödets egenskaper. En minskning av dessa osäkerheter skulle tillåta säkrare slutsatser i framtida analyser. Även den mest pessimistiska tolkningen av Forsmark bedöms dock uppfylla SSI:s riskkriterium.

Ett förvar vid Laxemar bedöms preliminärt uppfylla riskkriteriet – men mer representativa data krävs

Den platsbeskrivande modellen version 1.2 för Laxemar är inte tillräckligt representativ för den potentiella förvarsvolymen för att möjliggöra definitiva slutsatser om kravuppfyllelse. Framför allt baseras den hydrauliska tolkningen av platsen på data som delvis samlats in utanför kandidatvolymen för förvaret. Dessutom visar nyligen insamlade data på mera gynnsamma hydrauliska egenskaper än dem som platsmodellen i SR-Can bygger på.

Man kan dock konstatera att med de data som används för Laxemar bedöms platsen uppfylla riskkriteriet. Denna slutsats skulle troligen stärkas med användning av senare insamlade data.

B. Frågor relaterade till framtida istider

Generellt är det framtida istider som kommer att ha störst inverkan på förvaret. Ett antal slutsatser kan dras om inverkan av sådana förhållanden.

Frysning av en intakt buffert bedöms uteslutet – också för mycket pessimistiskt valda klimatförhållanden

Frysning av en intakt buffert bedöms uteslutet för båda platserna, även för mycket pessimistiskt valda klimatförhållanden. Vid den mest pessimistiska klimatutvecklingen vid Forsmark går det inte att helt utesluta frysning av en vattenfylld hålighet i en eroderad buffert. Beräkningarna visar dock att även i sådana fall förblir det mekaniska trycket på kapseln inom tillåtna gränser.

Kapselbrott på grund av isostatisk last bedöms uteslutet – också för mycket pessimistiskt valda klimatförhållanden

Kapselbrott på grund av isostatisk belastning bedöms uteslutet för båda platserna, även för de svåraste framtida glaciala förhållandena som beaktats.

Syrenedträngning bedöms preliminärt som uteslutet – också för mycket pessimistiskt valda förhållanden

Syrenedträngning till förvarsdjup ökar grundvattenflödet under en inlandsis och kan förändra den gynnsamma reducerande kemiska miljön. Denna utveckling bedöms dock som utesluten utgående från de analyser som genomförts inom SR-Can. Detta resultat överensstämmer med slutsatserna från flera tidigare analyser. Modellerings exemplet är dock stiliserat och förenklat. Det krävs därför ytterligare analyser för att öka trovärdigheten för resultaten. Sådana studier kommer att genomföras inom ramen för SR-Site.

Riskbidraget från jordskalv bedöms som litet

Kapselbrott på grund av post-glaciala jordskalv kan inte uteslutas helt. Denna eventualitet ger dock ett litet riskbidrag. De probabilistiska analyserna anger att det i genomsnitt skulle dröja betydligt mer än en miljon år innan ens ett enda sådant kapselbrott inträffar.

Buffertmaterial kan förloras då bufferten utsätts för glaciala smältvatten, men omfattningen är osäker – ytterligare studier krävs.

Det kan uppstå en betydande förlust av buffert genom kolloidbildning som följd av att glaciala smältvatten med låg jonstyrka tränger in – sett över ett tidsperspektiv på 100 000 år. Kunskapen om de aktuella processerna är begränsad och ytterligare forskning inom området prioriteras. En statusrapport ges i SKB:s Fud-program 2007.

Omfattande förlust av buffert kan leda till kapselbrott på mycket lång sikt

Förlust av buffertmassa, i sådan utsträckning att advektiva förhållanden börjar råda i bufferten, kan inte uteslutas på 100 000 års sikt. Detta skulle leda till ökad kapselkorrosionshastighet. Sett över en miljon år kan det bli frågan om några tiotal kapselbrott med den pessimistiska hydrauliska tolkningen av Forsmark, försiktiga antaganden om sulfidkoncentrationer och försiktiga antaganden om acceptanskriterier för deponeringshål.

En förlängd period av varmt klimat (ökad växthuseffekt) innan nästa istid bedöms i huvudsak som positivt för förvarets säkerhet

Eftersom de processer som potentiellt skulle vara mest skadliga för förvarets säkerhet är relaterade till glaciala förhållanden skulle en förlängd period med tempererat klimat vara positivt för säkerheten. Detta gäller i synnerhet de båda huvudsakliga bidragen till den beräknade risken i SR-Can, nämligen i) potentiell buffererosion med därav följande ökad kapselkorrosion på grund av att glaciala smältvatten tränger in, och ii) större jordskalv under avsmältning av en inlandsis. Ytterligare utvärderingar behövs om den geokemiska utvecklingen vid en förlängd tempererad period. Detta skulle ge ökad tyngd åt slutsatsen att de geokemiska förhållandena skulle förbli gynnsamma.

C. Andra frågor relaterade till barriärkonstruktion och -funktion

Viktigt att undvika deponeringshål som skärs av stora eller starkt vattenförande sprickor – ytterligare studier krävs

De största riskbidragen i SR-Can gäller förekomst av stora och/eller höggradigt transmissiva sprickor som skär deponeringshålen. Detta gäller frigörelse av buffertkolloider och inverkan av större jordskalv i närheten av förvaret. Dessa två fenomen är relaterade till kapselbrott på grund av kapselkorrosion respektive till sekundära skjuvrörelser i berget. Eftersom retentionen är liten i en stor och höggradigt transmissiv spricka ges sådana kapselbrott generellt stora konsekvenser. Sådana sprickor ska undvikas i den mån de hittas. Sannolikheten för sådana sprickor och sannolikheten för att olämpliga deponeringshål förblir oupptäckta är i många avseenden svåra att kvantifiera. Resultatet av analysen är känsligt för dessa osäkerheter. Det är viktigt att fastställa välmotiverade acceptanskriterier för deponeringshål som grund för framtida analyser. Detta måste studeras både genom att man simulerar effekten av att tillämpa potentiella kriterier, och genom att man undersöker om det är praktiskt möjligt att tillämpa kriterierna.

Värmen från kapseln kan orsaka sprickor i deponeringshålets vägg, vilket kan ge ökad in- och uttransport av lösta ämnen – ytterligare studier krävs

Termiskt inducerad spjälkning kring deponeringshål kan ha stor inverkan på materialutbytet mellan strömmande grundvatten och buffert, så länge diffusion är den dominerande transportmekanismen i bufferten. Om advektiva förhållanden råder i bufferten blir inverkan av spjälkningen mycket mindre tydlig eftersom spjälkningen då ger ett litet bidrag till det redan ökade flödet. Det råder osäkerhet kring omfattning och konsekvenser av spjälkning och ytterligare studier pågår.

Återfyllda deponeringstunnlar har begränsad betydelse som transportväg för radionuklider

Betydelsen av den återfyllda deponeringstunneln som transportväg för radionuklider är begränsad i jämförelse med sprickor som skär deponeringshålet. Även försämring av återfyllningsmaterialet i deponeringstunnlarna har begränsade konsekvenser vad gäller radionuklidutsläpp från närzonen.

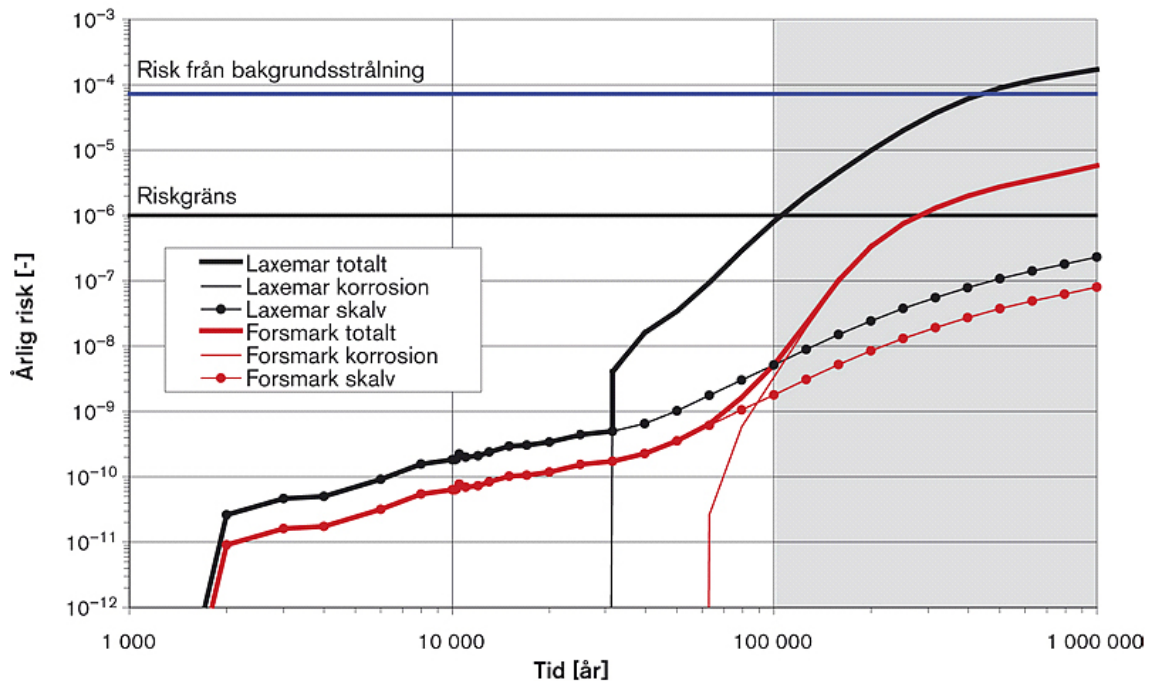
Sprängskador i berget kring deponeringstunneln har begränsad betydelse som transportväg för radionuklider

Betydelsen av den sprängskadade zonen (EDZ – excavation damaged zone) kring deponeringstunnlarna är begränsad i jämförelse med övriga transportvägar för radionuklider, även vid mycket pessimistiska antaganden om EDZ i förhållande till referensmetoden för bergbrytning.

Försiktiga brytningsmetoder rekommenderas ändå för deponeringstunnlar, eftersom konkurrerande transportvägar kan bedömas som mindre viktiga med stöd av ytterligare data, och eftersom slutsatserna om EDZ bygger på förenklad stiliserad modellering.

D. Beräknade individrisker

Beräknade individrisker för förvar vid Forsmark och Laxemar visas i figur B1-4. Observera att tempererade förhållanden postuleras för biosfären, medan det är sannolikt att platserna kommer att ligga under vatten eller vara täckta med is under en stor del av analysperioden på en miljon år. Därmed blir riskerna försumbara för dessa perioder. Dessutom görs flera pessimistiska antaganden, för att risken inte ska underskattas.



Figur B1-4. Risksummering för de två platserna. Tempererade förhållanden postuleras för biosfären, medan det är sannolikt att platserna kommer att ligga under vatten eller vara täckta med is under en stor del av analysperioden på en miljon år vilket skulle ge försumbara doser. Flera andra osäkerheter bedöms pessimistiskt.

Kravuppfyllelse för den första glaciationscykeln

För den första glaciationscykeln har två riskbidrag identifierats; från jordskalv och från kapselbrott på grund av korrosion om bufferten har eroderats av glaciala smältvatten.

Sannolikheten för kapselbrott på grund av jordskalv under perioden är ytterst liten och den sannolikheten ingår i riskuppskattningen.

Vad beträffar kapselbrott på grund av korrosion beräknas ett fåtal kapslar haverera under den första glaciationscykeln vid båda platserna. Maxvärdet för den totala beräknade risken upp till 100 000 år, det vill säga värdet vid 100 000 år, ligger nära myndigheterna riskgräns vid Laxemar och cirka två storleksordningar lägre vid Forsmark. Risken är pessimistiskt baserad på den som beräknats för kapselkorrosionsscenariot, där flera av osäkerheterna hanteras pessimistiskt på grund av otillräcklig förståelse för grundvattenflöde och grundvattensammansättning under glaciala förhållanden, och för buffertens reaktion på kontakt med glaciala grundvatten. Risken som beräknats för Forsmark bygger på en pessimistisk tolkning av den rådande hydrauliska situationen. Som nämnts tidigare kan det ifrågasättas om den hydrogeologiska modellen för Laxemar är tillräckligt representativ. Senare platsdata från kandidatområdena för förvar visar att de hydrogeologiska förhållandena är mera gynnsamma än de som används i modellen som utgör grund för SR-Can. Detta skulle minska riskbidraget från kapselbrott på grund av korrosion.

Man kan alltså dra slutsatsen att de beräknade riskerna för de båda platserna uppfyller myndigheternas krav avseende den första glaciationscykeln efter förslutning.

Förvarets funktion för tiden efter den första glaciationscykeln

Samma typer av kapselbrott som för den första glaciationscykeln bidrar till individrisk under perioden efter den första glaciala cykeln, upp till en miljon år efter förslutning.

För Forsmark ligger det beräknade riskbidraget från jordskalv mer än en storleksordning under myndigheternas gräns under hela analysperioden, medan däremot bidraget från korrosions-skador ligger över riskgränsen vid en miljon år.

För Laxemar är riskbidraget från jordskalv likt det för Forsmark, men bidraget från korrosions-haverier ligger omkring två storleksordningar över riskgränsen vid analysperiodens slut.

SSI:s anger i sina allmänna råd för denna tidsperiod följande: ”En strikt kvantitativ jämförelse av beräknad risk mot föreskrifternas kriterium för individrisk [är] inte meningsfull.” Resultaten används som underlag för att diskutera hur pessimistiskt hanterade osäkerheter kan minskas och hur skyddsförmågan för förvaret kan förbättras, så som anges i de allmänna råden.

Det är viktigt att observera att den beräknade risken visserligen överstiger riskgränsen som gäller för den första perioden på 100 000 år, men ändå är betydligt lägre än riskerna som är kopplade till den naturliga bakgrundsstrålningen under analysperioden för Forsmark. För Laxemar ligger riskerna betydligt under dem för bakgrundsstrålningen under flera hundra tusen år och blir jämförbar med riskerna kopplade till bakgrundsstrålningen först vid slutet av analysperioden på en miljon år. Dessutom har, på samma sätt som för den första glaciationscykeln, många frågor behandlats pessimistiskt och ytterligare kunskap kan medföra en betydande minskning av dessa riskuppskattningar i framtida analyser.

Man kan alltså dra slutsatsen att de beräknade riskerna för tiden efter den första glaciations-cykeln uppfyller myndigheternas krav för denna period.

E. Ytterligare resultat och slutsatser

Många ytterligare resultat har framkommit som gör det möjligt att dra slutsatser från SR-Can-analysen:

- En första utvärdering har gjorts av inverkan på miljön från utsläpp av radionuklider. De flestaradionuklider ligger under en sovringsgräns, vilket betyder att inga ytterligare analyser behövs. I de mest pessimistiska beräkningsfallen kan ett fåtal nuklider komma att överstiga gränsen vid analysperiodens slut. Detta kräver en mer detaljerade analyser.
- Två alternativa säkerhetsindikatorer har används som komplement till riskindikatorn: Utsläpps begränsningar från den finska tillsynsmyndigheten STUK och sammansättningen av naturligt förekommande radionuklider i miljön kring förvaret.
- En första diskussion ges kring de aspekter av begreppet Bästa Tillgängliga Teknik (BAT – Best Available Technique) som kan belysas med hjälp av resultaten från säkerhetsanalysen.
- Många gränssättande fall har analyserats, där total förlust av en eller flera barriärfunktioner förutsätts. Resultaten visar att beräknade doser understiger den naturliga bakgrundsstrålningen, även vid mycket omfattande förluster av säkerhetsfunktioner. Till exempel ger en tidig, total förlust av kapsel och buffert i samtliga deponeringshål vid Forsmark doser som är jämförbara med dem för den naturliga bakgrundsstrålningen. De gränssättande analyserna visar tydligt multibarriäregenskaperna hos KBS-3-systemet.
- En uppsättning konstruktionsstyrande fall har sammanställts. Dessa ska användas som ett av flera underlag till konstruktionsförutsättningar för förvaret, såsom fastställande av krav på barriäregenskaper.
- Detaljerad återkoppling ges till fortsatt arbete med kapselkonstruktion och -tillverkning, till fortsatt arbete med förvarsutformning, till ytterligare platsundersökningar och platsmodellering, till SKB:s Fud-program och till nästa säkerhetsanalys, SR-Site.

Referenser

Brantberger M, Zetterqvist A, Arnbjerg-Nielsen T, Olsson T, Outters N, Syrjänen P, 2006. Final repository for spent nuclear fuel. Underground design Forsmark, Layout D1. SKB R-06-34, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Climate report, 2006. Climate and climate related issues for the safety assessment SR-Can. SKB TR-06-23, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Data report, 2006. Data report for the safety assessment SR-Can. SKB TR-06-25, Svensk Kärnbränslehantering AB.

FEP report, 2006. FEP report for the safety assessment SR-Can. SKB TR-06-20, Svensk Kärnbränslehantering AB.

FHA report, 2006. Handling of future human actions in the safety assessment SR-Can. SKB TR-06-24, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Geosphere process report, 2006. Geosphere process report for the safety assessment SR-Can. SKB TR-06-19, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Initial state report, 2006. Initial state report for the safety assessment SR-Can. SKB TR-06-21, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Jansson P, Näslund J O, Rodhe L, 2006. Glacial hydrology and eskers. A review of ice sheet hydrology. SKB TR-06-34, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2005. Preliminary site description Forsmark area – version 1.2. SKB R-05-18, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2006a. Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar – a first evaluation. Main report of the SR-Can project. SKB TR-06-09, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2006b. Preliminary site description. Laxemar subarea – version 1.2. SKB R-06-10, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Fakta om strålning

Strålningens bakgrund och egenskaper

I strålskyddssammanhang indelas ofta strålning i *icke-joniserande strålning* och *joniserande strålning*. Båda formerna av strålning finns såväl naturligt som producerat av människan. Icke-joniserande strålning avges till exempel från mobiltelefoner och mikrovågsugnar. Även solens strålning är ickejoniserande. Radioaktiva ämnen utsänder joniserande strålning. Joniserande strålning är så energirik att den kan slita loss elektroner från ett materials atomer. Jonisering kan innebära bestående förändringar eller skador hos det som bestrålats, till exempel hos arvsmassan i kroppens celler (DNA).

De radioaktiva ämnena i kärnbränslet avger fyra typer av joniserande strålning: alfa-, beta-, gamma- och neutronstrålning. Neutronstrålningen upphör i stort sett i samma ögonblick som reaktorn stängs av och är därmed inte av betydelse för den fortsatta hanteringen av det använda kärnbränslet.

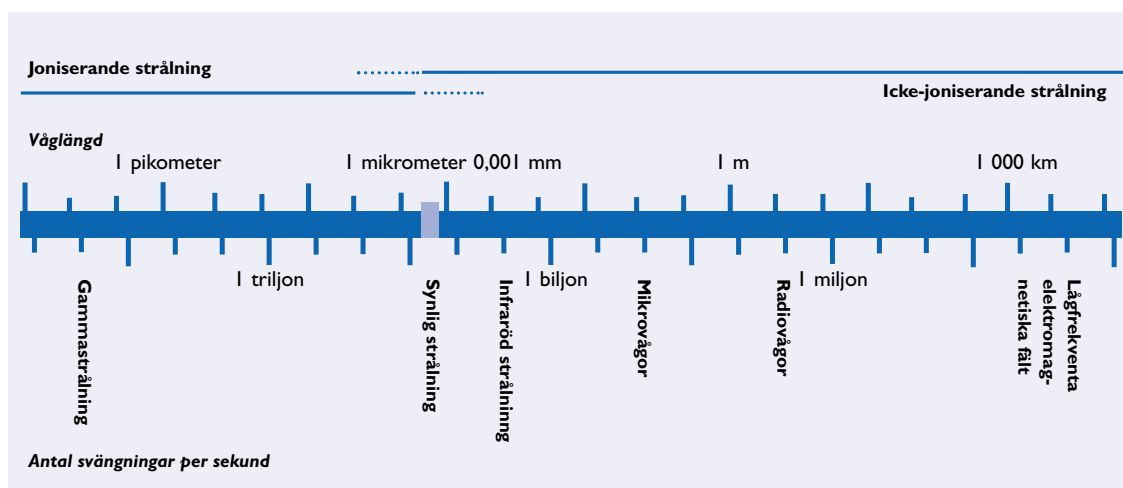
Alfastrålning består av relativt stora partiklar som snabbt stoppas upp. I luft når alfapartiklarna några centimeter och stoppas av ett papper eller ett klädesplagg. Ett alfastrålande ämne blir därför skadligt först när det kommer in i kroppen genom inandning eller förtäring.

Betastrålning består av elektroner som är negativt laddade partiklar. Dessa stoppas i regel av till exempel glasögon eller tjocka kläder. Även för betastrålning är den största risken förknippad med inandning eller förtäring.

Gammastrålning är elektromagnetisk strålning, besläktad med radiovågor och synligt ljus men med mycket högre frekvens, se figur B2-1. Gammastrålning har lång räckvidd och tar sig lätt igenom levande vävnad. För att stoppa den kan det behövas flera centimeter bly, någon meter berg eller flera meter vatten.

Doser och dosmätning

Radioaktivitet är ett ämnes förmåga att utsända joniserande strålning. Det är inte en fysikalisk, mätbar storhet utan en egenskap. Vill man ange en strålkällas styrka använder man begreppet *aktivitet*, som mäts i enheten becquerel (Bq), 1 Bq = 1 sönderfall per sekund /Fakta om strålning, SSI/.



Figur B2-1. Det elektromagnetiska spektrumet /Strålning – Risk och nytta. SSI/.

När risken från joniserande strålning ska beräknas utgår man från storheten *absorberad dos*. Absorberad dos definieras som den energi som absorberas i en viss volym, dividerad med volymens massa, och den mäts i enheten gray (Gy), $1 \text{ Gy} = 1 \text{ joule per kg kroppsvävnad}$. Men den absorberade dosen är inte ett mått på sannolikheten att få en stokastisk (slumpmässig) skada som cancer. En viss absorberad dos i fingrarna ger en betydligt lägre risk att få cancer än samma dos i till exempel magen. Det beror dels på att magen är större än fingrarna (så att den absorberade energin i magen är större än den i fingrarna), dels på att magens vävnad är känsligare än fingrarnas. Dessutom ger samma absorberade dos från olika slags strålning inte samma sannolikhet för slumpmässiga skador. Den internationella strålskyddskommissionen ICRP har rekommenderat att en annan storhet, *effektiv dos*, används för att beräkna risken för skador från joniserande strålning. Effektiv dos är det som i dagligt tal åsyftas med ordet ”stråldos”. Den effektiva dosen anges i enheten sievert (Sv).

Om man beräknar medelvärdet av den effektiva dosen i en grupp människor och multiplicerar med deras antal får man gruppens *kollektivdos*. Kollektivdosen är ett mått på samhällsrisken med strålkällan eller verksamheten. För att ange kollektivdos används ofta enheten man-sievert (manSv).

Dos kan mätas på två principiellt olika sätt: antingen mäter man strålningens egenskaper och räknar fram dosen, eller också använder man mätinstrument (så kallade dosmätare eller dosimetrar) som direkt visar dosen (effektiv dos eller någon annan storhet) /Strålning – Risk och nytta. Information från SSI/.

Doser till individer som bor i närheten av kärnkraftverk kan inte mätas direkt utan måste uppskattas utgående från koncentrationer i miljön och kunskap om individuella faktorer som kan påverka dosens storlek. För att beskriva den effekt som utsläpp av radioaktiva ämnen har på människa och för att säkerställa att allmänheten får ett fullgott skydd används begreppet *kritisk grupp*. Den kritiska gruppen är en hypotetisk grupp av personer som beräkningsmässigt får de högsta stråldoserna från respektive anläggning. Den kritiska gruppen antas bo inom det mest belastade området avseende externstrålning och få merparten av sina livsmedel från det som produceras i detta område /SSI 2005/.

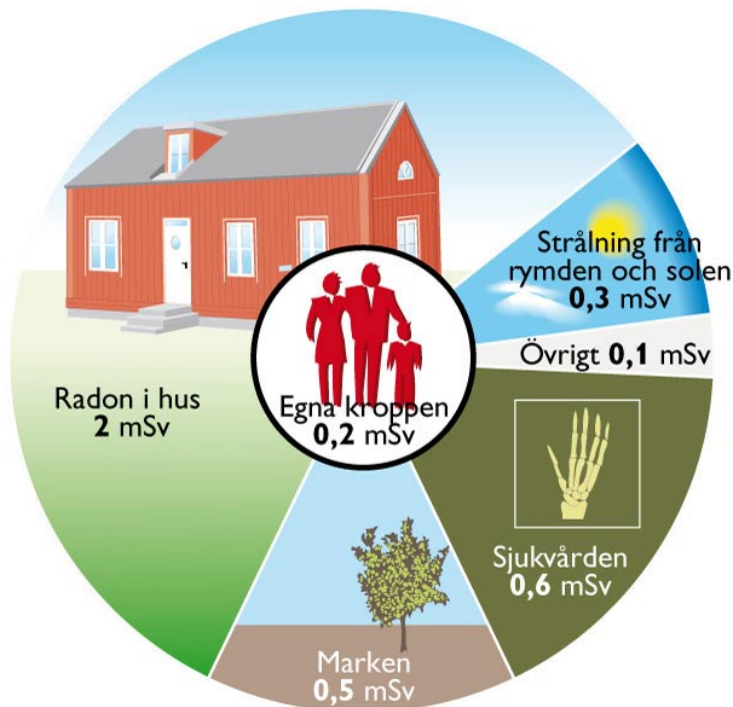
Naturlig joniserande strålning

Den strålning som förekommer naturligt inom ett område brukar kallas bakgrundsstrålning. Hur hög den är beror på de lokala förhållandena. En viss bakgrundsstrålning måste vi alltid acceptera, men lokalt kan den vara så hög att åtgärder kan bli nödvändiga. Stråldosen från naturligt radioaktiva ämnen kan också öka på grund av mänskliga åtgärder. Så är det till exempel med radon i bostäder och i gruvor, användning av byggmaterial med höga halter av radioaktiva ämnen, radioaktiva ämnen i slagg från masugnar och aska från förbränning av biobränsle. Ökad användning av vatten från brunnar borrade i berg har också medfört ökade stråldoser på grund av radon och andra naturligt radioaktiva ämnen i vattnet.

Jordatmosfären bestrålas ständigt av *kosmisk strålning* från solen och yttre rymden. Den kosmiska strålningens intensitet ökar med höjden över havet så att den på 10 000 meters höjd är mer än 100 gånger så stor som vid havsytan.

En stor del av den naturliga bakgrundsstrålningen utgörs av *gammastrålning från marken* och från stenbaserade *byggnadsmaterial, till exempel så kallad blåbetong*. Gammastrålningen från marken varierar från plats till plats, och lokalt kan nivåerna bli höga. Radium är ett radioaktivt grundämne som finns naturligt i berg och jord. När det sönderfaller bildas den radioaktiva ädelgasen radon. Utomhus är radonhalterna vanligen låga, men inomhus kan de däremot bli höga.

I Sverige får vi i genomsnitt en årlig stråldos på ungefär 4 mSv per person. Större delen av den dosen kommer från naturliga strålkällor, se figur B2-2. Nästan hälften, cirka 2 mSv, orsakas av



Figur B2-2. Dosfördelningen för bakgrundsstrålning. Källa: www.ssi.se

radon i inomhusluften. Strålning från mark och byggnadsmaterial ger ungefär 0,5 mSv, kosmisk strålning 0,3 mSv och kalium-40 i kroppen 0,2 mSv per år. Födan och dricksvattnet ger normalt mycket små stråldoser i Sverige /Strålning – Risk och nytta. SSI/.

Stråldoser och gränsvärden

Gränsvärdet för den stråldos kärnkraften får ge allmänheten är 0,1 mSv per person och år. I praktiken ligger doserna på en hundradels mSv och lägre. En person som arbetar med strålning i sitt yrke (inom till exempel sjukvården eller kärnkraftsindustrin) får högst utsättas för 50 mSv under enstaka år, men högst 100 mSv under fem på varandra följande år.

Halten av radongas i bostadsluften får inte överstiga 200 Bq/m³ i äldre hus. En radongashalt om 100 Bq/m³ motsvarar en stråldos av cirka 2 mSv/år /Fakta om strålning, SSI/.

Strålning och hälsa

Joniserande strålning kan skada människor, djur och miljö. Höga stråldoser ger alltid akuta skador som förvärras ju högre dosen blir. Stråldoserna kan medföra att hela eller delar av kroppen blir så skadad att det leder till svår sjukdom och i värsta fall individens död. Kraftigt radioaktivt nedfall eller närkontakt med en stark strålkälla kan ge svåra brännskador. Skadorna uppkommer med fördröjning och framträder fullt ut först veckor till månader efter bestrålningen.

Vid lägre stråldoser uppkommer inga akuta skador. Däremot finns en viss sannolikhet att sena skador inträffar i en bestrålad befolkning. En sådan skada är cancer som visar sig först år eller årtionden efter bestrålningen. För slumpmässiga skador gäller att sannolikheten för skada ökar med ökad stråldos, däremot förändras skadans allvarlighetsgrad inte med stråldosen om skadan väl har uppstått.

Deterministiska (förutbestämda) skador uppstår när stråldosen är så hög att alltför många celler i organet dör och ju högre dos desto allvarligare skada. Det går inte att sätta en gräns för vilka doser till människan som är dödliga, eftersom det beror på vilka organ som drabbas. Med höga doser brukar emellertid avses 1 000 mSv och högre. Om sådana doser drabbar vitala organ, till exempel blodbildande organ eller tarmslemhinnan, kan det leda till besvärliga och svårbehandlade skador. Celler som delar sig (benmärg, tunntarm) är ofta mer känsliga för strålning än andra cellgrupper. Det är bland annat därför foster och barn är känsligare för strålning än vuxna. Att celler dör när de bestrålas med tillräckligt höga doser utnyttjas vid behandling av cancer. Vid behandling av tumörer får patienter höga stråldoser, tiotals Sv.

Det är mycket svårt att med statistiska metoder visa att strålning orsakar cancer vid låga stråldoser, eftersom den ökade risken till följd av strålning är för liten i förhållande till den totala risken för cancer. Även om det i dag finns få direkta bevis för en ökad cancer risk vid lägre doser (med lägre doser avses här engångsdoser under 50 mSv eller doser på hundratalet mSv utdragna över längre tid), så antar man i strålskyddssammanhang att risken är proportionell mot dosen även vid låga doser. Den lägsta engångsdos där man klart kunnat påvisa ökad cancer är strax under 100 mSv. Om till exempel sannolikheten för att få cancer vid 1 Sv är 5 %, så skulle den vid 1 mSv vara en tusendel så stor, det vill säga 0,005 %. Det här betyder att man i strålskyddssammanhang bedömer att varje tillskott av strålning innebär en ökad risk för cancer /SSI 2004/.

Referenser

SSI, 2004. SSI:s roll i folkhälsoarbetet – redovisning av regeringsuppdrag inom folkhälsoområdet. Statens strålskyddsinstitut, SSI Rapport 2004:09.

SSI, 2005. Utsläpps- och omgivningskontroll vid de kärntekniska anläggningarna 2002–2004. Statens strålskyddsinstitut, SSI rapport 2005:19.

SSI. Fakta om strålning. www.ssi.se

SSI. Strålning – Risk och nytta. Broschyr. www.ssi.se