

Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud-program 2010

Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud-program 2010

Betänkande av Kärnavfallsrådet

Stockholm 2011



STATENS OFFENTLIGA
UTREDNINGAR

SOU 2011:50

SOU och Ds kan köpas från Fritzes kundtjänst. För remissutsändningar av SOU och Ds svarar Fritzes Offentliga Publikationer på uppdrag av Regeringskansliets förvaltningsavdelning.

Beställningsadress:
Fritzes kundtjänst
106 47 Stockholm
Orderfax: 08-598 191 91
Ordertel: 08-598 191 90
E-post: order.fritzes@nj.se
Internet: www.fritzes.se

Svara på remiss. Hur och varför. Statsrådsberedningen (SB PM 2003:2, reviderad 2009-05-02)
– En liten broschyr som underlättar arbetet för den som ska svara på remiss.
Broschyren är gratis och kan laddas ner eller beställas på
<http://www.regeringen.se/remiss>

Textbearbetning och layout har utförts av Regeringskansliet, FA/kommittéservice.
Omslag: Jonas Nilsson/Miljöinformation AB
Foto omslag: Stefan Isaksson/Pix Gallery

Tryckt av Elanders Sverige AB.
Stockholm 2011

ISBN 978-91-38-23596-6
ISSN 0375-250X

Till statsrådet och chefen för Miljödepartementet

Kärnavfallsrådets yttrande över Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB) program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall.

Kärnavfallsrådet har som en av sina uppgifter att bedöma SKB:s forsknings- utvecklings och demonstrationsprogram (SKB:s så kallade Fud-program)¹. Föreliggande rapport innehåller Kärnavfallsrådets bedömning av Fud-program 2010. Granskningen utgår från ledamöternas sakområden och de aspekter som rådet tidigare har tagit upp, bland annat i tidigare granskningar och kunskapslägesrapporter.

SKB lämnade den 16 mars 2011 in sin ansökan om tillstånd enligt kärntekniklagen och miljöbalken om att bygga en anläggning för slutförvar och inkapsling av använt kärnbränsle. Rådet ämnar påbörja granskningen av ansökan under senare hälften av 2011 och innehållet i denna har inte inverkat på rådets granskning av forsknings- och utvecklingsprogrammet.

Bakom Kärnavfallsrådets granskning står samtliga ledamöter, sakkunnige Hannu Hänninen och Ingvar Persson, kanslichef Holmfridur Bjarnadóttir samt sekreterare Peter Andersson. Dessutom har följande personer bidragit i granskningsarbetet: Ove Stephansson (geosfär), Per Möller (klimatutveckling) och Lars Marklund (hydrologi). Projektadministratör har varit Öivind Toverud.

Stockholm i juni 2011

Kärnavfallsrådet – Statens råd för kärnavfallsfrågor

¹ M 1992:A, Dir.2009:31

*Torsten Carlsson
Lena Andersson-Skog
Carl Reinhold Bråkenhielm
Willis Forsling
Mats Harms-Ringdahl
Tuija Hilding-Rydevik
Karin Högdahl
Lennart Johansson
Clas-Otto Wene*

/Holmfridur Bjarnadottir, Peter Andersson

Innehåll

1	Kärnavfallsrådets sammanfattande bedömning	9
1.1	Utgångspunkter för rådets granskning.....	9
1.2	Frågor av särskild betydelse	9
1.3	Kärnavfallsrådets slutsatser	11
2	SKB:s handlingsplan	19
2.1	Bakgrund	19
2.2	Övergripande handlingsplan	19
2.2.1	Huvudtidplanen	19
2.2.2	Ansvarstagande i kärnbränslecykelns slutsteg – ett rättsligt perspektiv	20
2.3	Flexibilitet vid ändrade förutsättningar	23
2.3.1	Flexibilitetskravet	23
2.3.2	Omfattande oförutsedda omvärldsförändringar	26
2.4	Kärnavfallsrådets slutsatser avseende SKB:s handlingsplan.....	29
3	Loma-programmet	31
3.1	Bakgrund	31
3.2	Kortlivat låg- och medelaktivt avfall.....	32
3.2.1	Vad innebär termen ”kortlivat avfall”?	32
3.2.2	Nuklidinnehållet	33
3.2.3	Utbyggnaden av SFR.....	34
3.2.4	Initialtillstånd låg- och medelaktivt avfall.....	35
3.2.5	Processer låg- och medelaktivt avfall.....	36

3.3	Tekniska barriärer i SFR	37
3.3.1	Initialtillstånd tekniska barriärer	37
3.3.2	Processer tekniska barriärer	37
3.4	Långlivat låg- och medelaktivt avfall	39
3.4.1	Tidsplanering	39
3.4.2	Mellanlagring	40
3.4.3	Referensinventarium	40
3.4.4	Tekniska barriärer i SFL	40
3.5	Avveckling och rivning av kärntekniska anläggningar	41
3.5.1	Kärnavfallsrådets slutsatser 2007	41
3.5.2	Ansvarsfördelning	41
3.5.3	Planering	42
3.5.4	Hantering av rivningsavfallet	43
3.5.5	Hushållnings och kretsloppsprincipen	43
3.6	Kärnavfallsrådets slutsatser avseende Loma-programmet	45
4	Kärnbränsleprogrammet	47
4.1	Bakgrund	47
4.2	Teknikutveckling kapsel	48
4.2.1	Kärnavfallsrådets slutsatser 2007	48
4.2.2	Bakgrund	48
4.2.3	Tillverkning, provning och kontroll	49
4.2.4	Acceptanskriterier	49
4.2.5	Kapselns barriärfunktion	50
4.3	Teknikutveckling buffert	52
4.3.1	Kärnavfallsrådets slutsatser 2007	52
4.3.2	Referensutformning och initialtillstånd	53
4.4	Teknikutveckling återfyllning	54
4.4.1	Kärnavfallsrådets slutsatser 2007	54
4.4.2	Tillverkning och installation	55
4.5	Teknikutveckling förslutning	56
4.5.1	Kärnavfallsrådets slutsatser 2007	56
4.5.2	Slutförvarets utrymmen	57
4.6	Teknikutveckling berg	58
4.6.1	Kärnavfallsrådets slutsatser 2007	58

4.6.2	Bergspänning, värmeledningsförmåga och värmekapacitet	59
4.6.3	Berguttag	59
4.6.4	Värmeledningstransport.....	60
4.7	KBS-3H	61
4.7.1	Kärnavfallsrådets slutsatser 2007	61
4.7.2	Omfattande utvecklingsarbete.....	61
4.8	Kärnavfallsrådets slutsatser avseende Kärnbränsleprogrammet.....	62
5	Forskning för analys av långsiktig säkerhet.....	65
5.1	Bakgrund	65
5.2	Säkerhetsanalys	66
5.2.1	Kärnavfallsrådets slutsatser 2007	66
5.2.2	Metodik	66
5.2.3	Säkerhetsanalysens roller	67
5.2.4	Begreppet initialtillstånd	68
5.2.5	Konstruktionsförutsättningar.....	70
5.2.6	Realisera initialtillståndet	70
5.3	Klimatutveckling.....	71
5.3.1	Kärnavfallsrådets slutsatser 2007	71
5.3.2	Forskningsläget.....	71
5.4	Kapsel.....	72
5.4.1	Kärnavfallsrådets slutsatser 2007	72
5.4.2	Bakgrund	73
5.4.3	Korrosion	73
5.4.4	Krypning	74
5.4.5	Restspänningar.....	75
5.5	Buffert och återfyllning	75
5.5.1	Kärnavfallsrådets slutsatser 2007	76
5.5.2	Processer i buffert och återfyllning	76
5.6	Geosfären	83
5.6.1	Kärnavfallsrådets slutsatser 2007	83
5.6.2	Grundvattenströmning.....	84
5.6.3	Integrerad modellering.....	85
5.6.4	Reaktivering – rörelser längs befintliga sprickor	85

5.6.5	Sprickbildning	87
5.6.6	Tidsberoende deformation	87
5.7	Ytnära ekosystem	88
5.7.1	Kärnavfallsrådets slutsatser 2007	88
5.7.2	Terrestra och akvatiska ekosystem	88
5.8	Andra metoder	89
5.8.1	Kärnavfallsrådets slutsatser 2007	89
5.8.2	Transmutation och separation	90
5.8.3	Djupa borrhål	91
5.9	Kärnavfallsrådets slutsatser avseende forskning för analys av långsiktig säkerhet	92
6	Samhällsvetenskaplig forskning.....	97
6.1	Inledning.....	97
6.2	Rådets tidigare synpunkter	98
6.2.1	Kärnavfallsrådets slutsatser i granskningen av SKB:s Fud-program 2007	98
6.2.2	Kärnavfallsrådets synpunkter i Kunskapslägesrapporten 2010.....	99
6.3	Aktuella synpunkter.....	100
6.3.1	Behovet av fristående samhällsvetenskaplig kärnavfallsforskning.....	100
6.3.2	Samhällsprogrammet inriktning och arbetsformer	101
6.4	Den samhällsvetenskapliga forskningens framtida former och uppgifter.....	104
6.5	Kärnavfallsrådets slutsatser avseende samhällsvetenskaplig forskning.....	105
	Bilagor	107

1 Kärnavfallsrådets sammanfattande bedömning

1.1 Utgångspunkter för rådets granskning

Kärnavfallsrådet har granskat utvalda delar av SKB:s forskningsprogram. Utgångspunkten för granskningen är rådets sammansättning och ledamöternas sakkompetens, och granskningen ger därför inte en heltäckande bedömning av programmets innehåll. I stället fokuseras frågor på områden där rådet besitter specialkompetens och frågor som rådet har lyft fram i tidigare granskning.

Granskningen omfattar synpunkter på SKB:s handlingsplan, Loma-programmet, kärnbränsleprogrammet, forskning för analys av långsiktig säkerhet och samhällsvetenskaplig forskning. Den har kompletterats med utredningar genomförda av konsulter inom geosfär, klimatutveckling och hydrologi. Dessa granskningsrapporter bifogas som bilaga till föreliggande rapport.

För att underlätta för läsaren att jämföra rådets granskning med SKB:s egen presentation av sitt forsknings- och utvecklingsprogram, har rapporten i stort sett samma disposition som SKB:s redovisning. Nedan följer en sammanfattning av de frågor rådet anser har särskild betydelse, varpå följer rådets samtliga slutsatser. Ordförklaringar finns i respektive kapitel.

1.2 Frågor av särskild betydelse

Kärnavfallsrådet anser att det finns oklarheter i SKB:s forskningsprogram och identifierar områden i behov av ytterligare forskning:

Ansvarsfrågor efter förslutning. Rådet efterfrågar ett tydliggörande av ansvarsfördelningen efter det att slutförvarsanläggningen slutligt har förslutits och godkänts. Detta gäller även

det formella ansvaret för det fysiska skyddet efter förslutningen (se kapitel 2).

Loma-programmet. Kärnavfallsrådet välkomnar en utförligare redogörelse av programmet för låg- och medelaktivt avfall. Rådet efterfrågar dock ett tydliggörande av olika delar av Loma-programmet, särskilt vad gäller konsekvenserna av ändringar av tidsplanerna för utbyggnaden och driften av SFR, samt rivningsgruppens sammansättning. Kärnavfallsrådet anser därför att SKB, innan ansökan om utbyggnad av SFR inlämnas, bör åläggas att komma in med kompletterande analys av konsekvenserna vid en försening av utbygganden av SFR och alternativ planering för ett sådant fall. Vidare efterfrågar rådet en utförligare analys av flöden och transporter av olika kategorier radioaktivt avfall som genereras av utnyttjandet av olika mellanlager. Rådet efterfrågar klargörande av andelen långlivat avfall i SFR, möjligheten att återvinna rivningsavfall och i vilken utsträckning man avser att konditionera avfallet i syfte att reducera volymen. SKB uppmanas att förbättra sina kunskaper om adsorptionsförmågan hos viktiga korrosionsprodukter liksom om betydelsen av mikrobiell aktivitet och kolloidal transport av radionuklider samt undersöka hur material-sammansättning och förbehandling av betong kan utnyttjas för att öka livslängden hos barriärerna (se kapitel 3).

Säkerhetsanalysen. Rådet upprepar sitt krav från 2007 att SKB ska klargöra säkerhetsanalysens interna roll som verktyg för att styra FoU och teknikutveckling. Rådet anser att SKB snarast ska genomföra en systemanalys för att klargöra relationerna mellan de två iterativa huvudprocesserna säkerhetsanalys och uppförande och rollerna för de två nyckelbegreppen initialtillstånd och *konstruktionsförutsättningar* (se kapitel 5).

Oklarheter gällande kapsel, buffert och återfyllnad. Rådets anser att det återstår oklarheter som rör kapseln och att SKB bör fortsätta studier inom flera områden. Detta gäller korrosionsstudier, analyser av krypning i kopparkapseln och gjutjärnsinsatsens materialegenskaper. För buffert och återfyllnad uppmanas SKB att utreda betydelsen av en mycket lång period innan full vattenmättnad för buffertens kvalitet på lång sikt och att SKB även överväger en sänkning av mängden pellets i återfyllningen genom att anpassa bentonitblocken bättre till tunnarnas yttre kontur (se kapitel 4 och 5).

Behovet av samhällsvetenskaplig forskning. Rådet anser att det finns ett fortsatt stort behov av samhällsvetenskaplig

kärnavfallsforskning, som så långt det är möjligt är fristående från ekonomiska och politiska intressen men samtidigt av relevans för svensk kärnavfallshandling. Den framtida forskningen bör bland annat studera konsekvenserna av ökad konkurrens på den globala marknaden om råvaror, konsekvenserna av avgörande förändringar i kärnkraftens ägandeförhållanden samt villkoren för samhällsplanering och beslutsfattande.

1.3 Kärnavfallsrådets slutsatser

Nedan följer samtliga slutsatser från rådets granskning. Bakgrund och motiv till rådets granskning ges i respektive kapitel.

SKB:s handlingsplan (se vidare kapitel 2)

Nedanstående punkter utgör Kärnavfallsrådets slutsatser:

- Kärnavfallsrådet anser att SKB bör inventera de forskningsmässiga behoven av sitt övervägande att eventuellt mellanförvara styrstaverna i ett torrt mellanförvar. SKB bör även planera för utveckling och demonstration av ett sådant mellanförvar.
- Kärnavfallsrådet anser att SKB bör belysa hur de internationella överenskommelser som ålägger Sverige att uppföra system (safeguards) mot olagliga intrång i slutförvaret kan tillämpas efter förslutning då övervakning inte planeras.
- Kärnavfallsrådet anser att SKB tydligare borde sammankoppla de beskrivna milstolpar som redovisas i Fud-program 2007 med flexibilitetskravet och i Fud-program 2010 vad gäller Loma-programmet.
- Kärnavfallsrådet efterlyser en närmare utredning av det sätt på vilket en förlängning av kärnkraftsverkens driftstider skulle påverka Clab.
- Fjärde generationens kärnreaktorer kan komma att tas i drift inom 100 år, alltså i samband med slutfasen av förvarets driftskede. Kärnavfallsrådet anser att SKB inte endast skulle begränsat sig till att utreda konsekvenserna av den tredje generationens kärnreaktorer, utan också av den så kallade fjärde generationen.

- Kärnavfallsrådet anser att SKB i högre grad bör överväga konsekvenserna av en utveckling mot den fjärde generationens kärnkraftsreaktorer, för huvudtidsplanen och för sitt kärnbränsleprogram. Frågan kan ställas om det tilltänkta förvaret skulle kunna omvandlas till ett mellanlager för kärnbränsle från våra lättvattenreaktorer, så att det genom ett återtag skulle kunna användas i den fjärde generationens kärnkraftsreaktorer.
- Kärnavfallsrådet anser att SKB borde beakta vilka konsekvenser en eventuell tidigareläggning av rivning av andra kärnkraftsverk skulle kunna få för utbyggnaden av SFR.
- Kärnavfallsrådet anser att det är lämpligt att staten tar på sig det formella ansvaret för det fysiska skyddet efter det att anläggningen slutligt förslutits.
- Kärnavfallsrådet anser att det är lämpligt att staten tar på sig "sistahandsansvaret" för slutförvaringen av använt kärnbränsle och kärnavfall efter det att anläggningen slutligt förslutits och förslutningen godkänts av den då ansvariga myndigheten. Det innebär att staten vid den tidpunkten övertar tillståndshavarnas skyldigheter och rättigheter för förvaret och det använda kärnbränslet.

Loma-programmet (se vidare kapitel 3)

- Kärnavfallsrådet anser att SKB, innan ansökan om utbyggnad av SFR inlämnas, bör åläggas att komma in med kompletterande analys av konsekvenserna vid en försening av utbygganden av SFR och alternativ planering för ett sådant fall.
- SKB bör tydligare klargöra hur stor andel av avfallet i SFR som i själva verket är långlivat.
- SKB bör utförligare redovisa motiven, inklusive för- och nackdelar, till att man i sin planering utgår ifrån att SFL inte kan tas i drift förrän år 2045. Man bör också skyndsamt utreda möjligheterna för en tidigareläggning.
- SKB bör systematiskt analysera och redovisa flödet och transportererna av olika kategorier radioaktivt avfall som

genereras av utnyttjandet av olika mellanlager, inklusive processer för konditionering, förslutning etc.

- SKB bör tydligare redovisa rivningsgruppens roll, sammansättning och arbetsmetoder.
- Loma-programmet bör i nästa Fud-program kompletteras med en redogörelse för möjligheterna till återvinning av rivningsavfall i synnerhet, men även av avfall som annars skulle placeras i SFR. SKB bör dessutom beskriva hur, och i vilken utsträckning man avser att konditionera avfallet i syfte att reducera volymen.
- SKB uppmanas att förbättra sina kunskaper om adsorptionsförmågan hos viktiga korrosionsprodukter och betydelsen av mikrobiell aktivitet och kolloidal transport av radionuklider.
- SKB uppmanas att undersöka hur materialsammansättning och förbehandling av betong kan utnyttjas för att öka livslängden hos barriärerna.

Kärnbränsleprogrammet (se vidare kapitel 4)

Kapseln

- SKB bör utveckla slutliga provningsmetoder och acceptans-kriterier för kapseln alla delar som beaktar materialstruktur, materialegenskaper och defekter. Kvalitetskraven måste kunna verifieras med oförstörande provningsmetoder.

Bufferten

- SKB uppmanas att beskriva konsekvenserna av om kraven för buffertens initialtillstånd med avseende på vattenmättnad inte är uppfyllda.

Återfyllningen

- SKB uppmanas att redogöra för betydelsen av återfyllningens densitet och sammansättning, för att kravet på att begränsa buffertens uppåtriktade svällning ska uppfyllas.

- SKB bör redogöra för hur kravet på den låga hydrauliska konduktiviteten i återfyllningen ska kunna uppfyllas med bentonitblock med lägre montmorillonithalt än i bufferten.
- SKB bör överväga de problem som kan uppstå vid förslutningen på grund av förväntade framtida klimatförändringar liksom perioder av frysning.

Berget

- Kärnavfallsrådet anser att SKB närmare behöver utreda konsekvenserna av nysprickbildning och sprickpropagering och om detta medför högre vattenströmning kring deponeringshålen.
- SKB bör förtydliga vilken metod för värmeledningsförmåga och värmekapacitet som man planerar att vidareutveckla.

KBS-3H

- SKB uppmanas att fördjupa utvecklingsarbetet av KBS-3H metoden.

Forskning för analys av långsiktig säkerhet (se vidare kapitel 5)

Säkerhetsanalysen

- Rådet förutsätter att tidshorisonten för säkerhetsanalysen av SFR utsträcks så att säkerhetsanalysen kan ge en korrekt bild av dosriskerna från långlivade nuklider.
- Rådet upprepar sitt krav från 2007 att SKB klargör säkerhetsanalysens interna roll som verktyg för att styra FoU och teknikutveckling.
- Rådet anser att SKB snarast ska genomföra en systemanalys för att klargöra relationerna mellan de två iterativa huvudprocesserna Säkerhetsanalys och Uppförande och rollerna för de två nyckelbegreppen Initialtillstånd och Konstruktionsförutsättningar.

- Rådet konstaterar att studier av de processer som ska garantera att initialtillståndet uppfylls är utomordentligt viktiga och anser:
 - att arbetet med att utforma konstruktionsförutsättningar ska lyftas in i Fud-programmet och ses som en väsentlig del av rapporteringen av FoU programmet för långsiktig säkerhet.
 - att SKB snarast initierar systematiska studier av hur *organisationen* ska se ut för att garantera att alla konstruktionsförutsättningar följs och önskat initialtillstånd uppnås under de speciella förhållanden som råder för genomförande av slutförvar.
 - att SKB utvecklar ett *mätprogram* som gör det möjligt att verifiera utvecklingen i buffert, deponeringshål och deponeringstunnlar efterhand som tunnarna försluts.

Kapseln

- SKB bör fortsätta korrosionsstudier inom flera olika områden. Forskning är på gång och det är viktigt att slutsatserna är vetenskapligt säkra och att korrosionsdata är tillräckligt underbyggda, för att ge underlag till en trovärdig analys som garanterar den långsiktiga säkerheten mot korrosion av kapseln.
- Vid krypanalys av kopparkapseln bör mera hänsyn tas till krypegenskaperna hos heterogena friktionssvetsar och geometriska diskontinuiteter som uppvisar de största lokala deformationerna i kopparkapslar enligt designanalysen.
- Gjutjärnsinsatsens materialegenskaper (variation i mikrostruktur och mekaniska egenskaper) behöver utredas vidare. Spridningen av duktilitet och brottseghet i stora gjutgods blir viktig om skadetålighetsanalysen visar att den kritiska storleken av materialdefekten är liten.

Buffert och återfyllning

- Rådet uppmanar SKB att redovisa ett kvalitetsprogram som omfattar den totala mineralsammansättningen i bentonit.

- Rådet uppmanar SKB att göra upprepade frys- och tiningsförsök på bentonit med lägre halt av montmorillonit på samma sätt som för bentonit i bufferten.
- Rådet uppmanar SKB att utreda betydelsen av en mycket lång period innan vattenmättnad för buffertens kvalitet på lång sikt.
- Rådet rekommenderar SKB att överväga en sänkning av mängden pellets i återfyllningen genom att anpassa bentonitblocken bättre till tunnlarnas yttre kontur.
- Rådet uppmanar SKB att redovisa transportmekanismer och transporttider genom bufferten för de viktigaste radionukliderna vid ett eventuellt läckage av kopparkapseln.

Geosfären

- Rådet anser att SKB ska förtydliga hur fluxrandvillkoren (ytvattenavrinningen) har använts i modellerna av förvarsplatsens betydelse för de regionala flödesvägarna.
- Rådet föreslår SKB att utföra seismiska undersökningar i ett tätt nätverk för att skapa en bättre 3D bild av fördelning och orientering av betydande spricksystem i Forsmark.
- Rådet föreslår SKB att upprätta ett lokalt seismiskt nätverk i Forsmark.
- Rådet föreslår SKB att i Forsmark installera stationära GPS stationer samt artificiella reflektorer för dInSAR och att mätningar av eventuella förändringar av ytan utförs kontinuerligt under lång tid.
- Rådet föreslår SKB att utföra en konsekvensanalys av modellerna för mekaniska bergbrott.

Ytnära ekosystem

- Rådet efterlyser en mer omfattande redogörelse för innehållet i de forskningsprogram kring terrestra och akvatiska ekosystem som planeras.

Andra metoder

- SKB bör undersöka om fysiska förutsättningar för förvaring i djupa borrhål föreligger inom landet, med hänsyn tagen till uppgraderad kunskap om borrh- och deponeringsteknik.

Samhällsvetenskaplig forskning (se vidare kapitel 6)

- Det är rådets uppfattning att SKB på ett otillfredsställande sätt lösgjort sitt samhällsforskningsprogram från sitt grundläggande slutförvaringsuppdrag.
- Det finns ett fortsatt stort behov av samhällsvetenskaplig kärnavfallsforskning, som så långt det är möjligt är (1) fristående från ekonomiska och politiska intressen men samtidigt (2) av relevans för svensk kärnavfallshantering.
- Den framtida forskningen bör bland annat studera konsekvenserna av ökad konkurrens på den globala marknaden om råvaror (till exempel koppar), konsekvenserna av avgörande förändringar i kärnkraftens ägandeförhållanden samt villkoren för samhällsplanering och beslutsfattande.
- Flera av de förändrade förutsättningar som skulle kunna motivera en långtgående omprövning av kärnavfallsprogrammets genomförande och SKB:s huvudtidtabell sammanhänger med olika typer av samhällsförändringar, som skulle kunna göras till föremål för samhällsvetenskaplig forskning.
- Med ledning av SKB:s utvärdering och Kärnavfallsrådets kommande granskning bör regeringen (1) utreda formerna för hur den samhällsvetenskapliga och humanistiska fristående kärnavfallsforskningen ska bedrivas i framtiden och (2) i kommande forskningsproposition tillse att medel från kärnavfallsfonden avsätts under kommande decennier för samhällsvetenskaplig forskning.

2 SKB:s handlingsplan

2.1 Bakgrund

I sitt Fud-program 2010 redogör SKB för sina planer för forskning, utveckling och demonstration under perioden 2011 till 2016. Programmet utgår från SKB:s övergripande handlingsplan för låg- och medelaktivt avfall (Loma-programmet) och för slutförvaring av det högaktiva avfallet från de svenska kärnkraftverken (Kärnbränsleprogrammet). Det är denna handlingsplan som utgör grunden för SKB:s plan vad gäller forskning, utveckling och demonstration. Handlingsplanen är med andra ord av grundläggande betydelse för att förstå Fud-programmets olika delar och hur SKB valt inriktning för sin forskning.

2.2 Övergripande handlingsplan

2.2.1 Huvudtidplanen

En grundläggande förutsättning för SKB:s handlingsplan är 50 års drift av reaktorerna i Forsmark och Ringhals samt 60 års drift av reaktorerna i Oskarshamn. Förvaret beräknas alltså vara förslutet om cirka 75 år. Denna förutsättning är bestämmande för huvudtidplanen för både kärnbränsleprogrammet och Loma-programmet.

Kärnavfallsrådet har fyra kommentarer till huvudtidplanen:

Den första kommentaren gäller mellanlagringen av styrstavar (cirka 2 500 stycken). I dag mellanlagras styrstavarna i bassänger i Clab, men i 2010 års Fud-program framhåller SKB att man i stället överväger att förvara dessa, tillsammans med vissa hårdkomponenter, i ett torrt mellanlager. Kärnavfallsrådet anser att SKB inte i tillräcklig grad inventerat de forskningsmässiga behoven

av denna planering och efterfrågar en redovisning av de tekniska lösningarna för ett sådant torrt mellanlager.

Den andra kommentaren gäller projekt Kärnbränsleförvaret. SKB skriver att det pågår ”inledande projektering samt platsaktiviteter såsom etablering av platskontor och fortsatta geovetenskapliga undersökningar”¹. Kärnavfallsrådet saknar en närmare beskrivning av syftet och den planerade omfattningen av dessa geovetenskapliga undersökningar.

Den tredje kommentaren gäller SKB:s planerade åtgärder vad gäller förslutning och möjligheter till återtag. SKB konstaterar bland annat att man demonstrerat att enstaka kapslar under driftskedet kan återtas och att ett återtag också är möjligt efter förslutning. I Sverige finns visserligen inte något formellt krav på återtagbarhet men ”förvarets konstruktion medför att om framtida generationer skulle vilja ta upp bränslet är detta resurskrävande men fullt möjligt”. Kärnavfallsrådet har inga invändningar mot denna planering, men anser att den skulle ha utformats med ledning av det mer övergripande koncept om stegvist beslutsfattande, som presenterats i tidigare Fud-program².

Den fjärde kommentaren gäller påståendet att ”Kärnbränsleförvaret är så utformat att dess säkerhet inte är beroende av en övervakning efter förslutning”³. Kärnavfallsrådet är införstått med SKB:s syn på svårigheterna att etablera en tillförlitlig och långsiktig övervakning av förhållandena inne i själva förvaret. Med hänvisning till sin *Kunskapslägesrapport 2010*⁴ vill Kärnavfallsrådet dock framhålla att internationella överenskommelser ålägger Sverige att uppföra system mot olagliga intrång i slutförvaret (så kallade ”safeguards”).

2.2.2 Ansvarstagande i kärnbränslecykelns slutsteg – ett rättsligt perspektiv

Reaktorinnehavarnas långsiktiga ansvar

Reaktorinnehavarna, liksom övriga tillståndshavare till kärnteknisk verksamhet, är skyldiga att se till att använt kärnbränsle och kärnavfall tas hand om och slutförvaras på ett säkert sätt.

¹ Fud-program 2010 sid. 47.

² Se även *Kärnavfallsrådets kunskapslägesrapport 2010*, SOU 2010:6.

³ Sid. 48 i Fud-program 2010.

⁴ SOU 2010:6.

Skyldigheterna sträcker sig till dess att all verksamhet vid anläggningarna har upphört och allt kärnämne och kärnavfall placerats i ett slutförvar som slutligt förslutits⁵.

Även om ett tillstånd återkallats eller löpt ut kvarstår reaktorinnehavarens skyldigheter att på ett säkert sätt hantera och slutförvara använt kärnbränsle och kärnavfall samt att avveckla och riva anläggningen. Ansvar för kvarstår till alla skyldigheter fullgjorts⁶.

Tillståndet att driva en kärnkraftsreaktor innebär alltså ett långsiktigt åtagande för tillståndsinnehavaren.

SKB:s långsiktiga ansvar

Som tillståndshavare för slutförvaret har SKB samma långsiktiga skyldigheter som övriga tillståndshavare att svara för en säker drift av anläggningen. Kärntekniklagen ålägger en tillståndsinnehavare att inte bara följa de villkor och föreskrifter som uppställs av regeringen eller Strålsäkerhetsmyndigheten, utan att själv aktivt vidta alla åtgärder som behövs för att på ett säkert sätt avveckla anläggningen när verksamheten inte längre ska bedrivas. SKB:s långsiktiga ansvar för slutförvaret sträcker sig alltså åtminstone tills dess att förvaret är slutligt förslutet.

En fråga som uppstår i sammanhanget är om ansvaret formellt även kan utsträckas till efter det att slutförvaret slutligt förslutits. Till driften av en kärnteknisk anläggning räknas nämligen även ansvaret för att upprätthålla det fysiska skyddet av anläggningen i syfte att förhindra olovlig befattningsmed kärnämne och att förhindra sabotage.

Ansvar för det fysiska skyddet av ett slutförvar för använt kärnbränsle har egentligen inte någon sluttidpunkt, och därför är det enligt Kärnavfallsrådet lämpligt att staten tar på sig detta ansvar efter det att anläggningen slutligt förslutits.

⁵ Jfr 10 § kärntekniklagen.

⁶ Jfr 14 § kärntekniklagen. Se även prop. 1983/84:60, sid. 94.

Statens långsiktiga ansvar

Riksdagen har vid flera tillfällen slagit fast att staten har ett övergripande ansvar för använt kärnbränsle och kärnavfall⁷. Enligt riksdagens uttalanden bör alltså det långsiktiga ansvaret för ett slutförvar för använt kärnbränsle ligga hos staten. Ett skäl är att det sannolikt krävs tillsyn av säkerheten vid slutförvaret under avsevärd tid efter det att förvaret förslutits.

En tanke som regeringen fört fram är att en statlig myndighet ska kunna överta ansvaret för de till slutna slutförvaren. Regeringen har uttalat att det ligger i sakens natur att staten har det yttersta ansvaret för att verksamheten fungerar även på mycket lång sikt⁸.

Statens sistahandsansvar för säkerheten – internationella förpliktelser

Genom att ratificera den så kallade avfallskonventionen⁹ har den svenska staten åtagit sig att se till att det primära ansvaret för säkerheten vid hantering av använt kärnbränsle eller radioaktivt avfall vilar på tillståndshavaren till den anläggning som genererat avfallet¹⁰. Om det inte finns någon sådan tillståndshavare eller någon annan ansvarig part, vilar ansvaret på staten, vilken har domsrätt över det använda kärnbränslet eller över det radioaktiva avfallet. Dessa förutsättningar innebär att staten bär ett "sistahandsansvar" för slutförvaringen av använt kärnbränsle och kärnavfall.

Statens ansvar enligt avfallskonventionen har således två komponenter:

1. Staten har ett övergripande ansvar att se till att slutförvaringen kommer till stånd.
2. Staten har ett sistahandsansvar för slutförvaringen i den meningen att staten själv tvingas att ta på sig en beställar- och finansierarroll om kärnkraftsindustrin inte har förmåga att utföra uppgiften eller av annat skäl avstår från att göra det.

⁷ Se bland annat prop. 1980/81:90, bilaga 1, s. 319, prop. 1983/84:60, s. 38, prop. 1997/98:145, s. 381, prop. 2005/06:183 samt näringsutskottets betänkanden 1988/89:NU31 och 1989/90:NU24.

⁸ Se prop. 1997/98:145, s. 381.

⁹ 1997 års gemensamma konvention om säkerhet vid hantering av använt kärnbränsle och säkerhet vid hantering av radioaktivt avfall.

¹⁰ SÖ 1999:60.

Statens sistahandsansvar innebär i sig inte någon begränsning av kärnkraftindustrins ansvar enligt kärntekniklagen. Det är också mot denna bakgrund som ett särskilt finansieringssystem för detta ändamål har byggts upp.

Strålsäkerhetsutredningen föreslår i sitt betänkande att det införs en lagregel som reglerar statens sistahandsansvar för det använda kärnbränslet¹¹. Enligt utredningens förslag ansvarar staten för de skyldigheter och rättigheter som tidigare har åvilat tillståndshavaren, om det inte skulle finnas någon tillståndshavare eller någon annan part som kan göras ansvarig för att fullgöra skyldigheterna.

Enligt Kärnavfallsrådets mening är det lämpligt att staten tar på sig "sistahandsansvaret" för slutförvaringen av använt kärnbränsle och kärnavfall efter det att anläggningen slutligt förslutits och förslutningen godkänts av ansvariga myndigheter. Det innebär att staten vid den tidpunkten övertar tillståndshavarnas skyldigheter och rättigheter för förvaret och det använda kärnbränslet.

2.3 Flexibilitet vid ändrade förutsättningar

2.3.1 Flexibilitetskravet

I SKB:s Fud-program 2010 finns ett inledande avsnitt om "Flexibilitet vid ändrade förutsättningar". Kärnavfallsrådet hälsar dessa överväganden med tillfredsställelse. De ligger i linje med *Kärnavfallsrådets kunskapslägesrapport 2010*¹², och det rådet där skriver om stegvist beslutsfattande. Kärnavfallsrådet anser dock att flexibilitetskravet tydligare kunde sammankopplats med SKB:s beskrivning av milstolparna i Fud-program 2007 (och i Fud-program 2010 vad gäller Loma-programmet, sid. 59–62 i rapporten).

Inledningsvis konstaterar SKB (beträffande förutsättningarna för genomförandet av Loma- och kärnbränsleprogrammen) att förutsättningarna för planeringen med all sannolikhet kommer att ändras. SKB tar detta i beaktande och planerar därför ett visst mått av flexibilitet i utformningen av anläggningar och system.

Kärnavfallsrådet instämmer i denna generella bedömning. SKB utreder också mer detaljerat vad flexibilitetskravet innebär. Man

¹¹ SOU 2011:18.

¹² SOU 2010:6.

konstaterar att ändrade förutsättningar kan vara av den karaktären att de endast kräver ”smärre modifieringar av programmen utan större ändringar av den långsiktiga tidsplanen”. Andra förändringar medför omfattande omprövningar av ”exempelvis krav på ytterligare anläggningar eller anläggningsdelar, ändringar av layouten för ett slutförvar eller längre provningstider än tidigare”.¹³ SKB uppmärksammar fyra sådana mer omfattande förändringar:

1. förlängning av existerande reaktors drifttider
2. tillkomst av nya reaktorer
3. försening av idrifttagning av slutförvar för högaktivt avfall
4. försening av idrifttagning av slutförvar för kortlivat avfall (SFR) från rivningen av reaktorerna i Barsebäck och Ringhals.

Kärnavfallsrådet delar SKB:s bedömning att sådana förändringar är av en sådan karaktär att de skulle kräva omfattande omprövningar av slutförvarsplaneringen både vad gäller det högaktiva och det kortlivade kärnavfallet. Rådet kommer först att kommentera de fyra förändringar som SKB tar upp och därefter ta upp frågan om det finns andra förändringar av en likartad storleksordning, vilka inte i tillräcklig omfattning beaktats av SKB i Fud-programmet 2010.

- *Kärnkraftsreaktorernas drifttider.* En förlängning av existerande kärnkraftsreaktors drifttider skulle kunna påverka SKB:s handlingsplan på två olika sätt. För det första skulle en sådan förlängning kunna medföra krav på ökad kapacitet i förvarssystemen (SFR, SFL, slutförvaret), för det andra skulle en förlängd drifttid också innebära att SKB:s anläggningar (till exempel Clab) skulle utnyttjas under längre tid. Ett ökat effektuttag skulle kunna leda till ett ökat deponeringsbehov. Omvänt skulle en förkortning av kärnkraftverkens drifttid innebära att kärnavfallsprogrammet skulle kunna avslutas tidigare.

Kärnavfallsrådet efterlyser en närmare utredning av det sätt på vilket en förlängning av kärnkraftverkens drifttider skulle påverka Clab.

- *Nya kärnkraftsreaktorer.* SKB:s överväganden koncentrerar sig på konsekvenserna av en utbyggnad av den så kallade tredje

¹³ Fud-program 2010 sid. 49.

generationens kärnreaktorer och framhåller att ”i princip bör det avfallssystem som nu är under uppbyggnad till större delen också kunna användas för tillkommande kärnavfall och använt kärnbränsle från de nya reaktorerna”¹⁴. SKB förutser en utbyggnad av Clab och ett tillskapande av en större lagringskapacitet – särskilt om dagens reaktorer ersätts med nya som har en väsentligt större samlad nettoeffekt.

Kärnavfallsrådet anser att SKB inte endast skulle ha begränsat sig till att utreda konsekvenserna av den tredje generationens kärnreaktorer, utan också av den så kallade fjärde generationen. En sådan reaktorteknologi skulle kunna finnas i kommersiell drift inom 100 år – och kunna förutses i samband med slutfasen av kärnavfallsdeponeringen. En sådan reaktorteknologi skiljer sig på avgörande punkter från dagens och tredje generationens lättvattenreaktorer. En avsevärt större energimängd (upp till 50 gånger) kan utvinnas ur samma mängd bränsle, avfallsvolymen skulle kunna reduceras avsevärt och andelen radionuklider med en mycket lång halveringstid skulle kunna bli betydligt lägre. Dessutom kan dessa reaktorer drivas med använt kärnbränsle från våra lättvattenreaktorer¹⁵.

Kärnavfallsrådet har inte till uppgift att bedöma önskvärdheten av en utveckling mot den fjärde generationens kärnkraftsreaktorer. Däremot är det rådets uppgift att understryka att en sådan utveckling drastiskt skulle kunna förändra förutsättningarna för slutförvarsprojektet. SKB berör denna utveckling i ett annat avsnitt och påminner om att Vetenskapsrådet i oktober 2009 beviljade 36 miljoner kronor till forskningsprojektet Genius (Generation IV-forskning).¹⁶

Kärnavfallsrådet anser att SKB i högre grad skulle övervägt konsekvenserna av en sådan utveckling för huvudtidplanen och för sitt kärnbränsleprogram. Frågan kan ställas om det tilltänkta förvaret skulle kunna omvandlas till ett mellanlager för kärnbränsle från våra lättvattenreaktorer, så att det genom ett återtag skulle kunna användas i den fjärde generationens kärnkraftreaktorer.

- *Utbyggnad av Clab.* Det finns andra scenarier som skulle medföra en avsevärd utbyggnad av mellanlagringsanläggningen Clab på Simpevarpshalvön. Vi har redan berört denna fråga i

¹⁴ Sid. 50 i Fud-program 2010.

¹⁵ Se SOU 2011:14 sid. 65.

¹⁶ Se vidare Fud-program 2010 sid. 389.

samband med frågan om en förlängning av kärnkraftsreaktorernas drifttider. Om kärnbränsleprogrammet försenas med flera decennier, skulle en utbyggnad av Clab kunna bli nödvändig – till exempel genom att Clab utökas med ett tredje bergtrum. Kärnavfallsrådet anser att detta är ett möjligt scenario, som helt riktigt framhålls av SKB. Samtidigt saknar Kärnavfallsrådet en diskussion av det sätt på vilket en sådan utveckling skulle påverka SKB:s forsknings, utvecklings- och demonstrationsprogram under den kommande femårsperioden.

- *Idrifttagning av det utbyggda SFR* (slutförvar för kortlivat avfall). SKB planerar en utbyggnad av SFR för att kunna ta emot driftavfall från Barsebäck, Ågesta och Studsvik. Efter ansökan 2013 från SKB beräknas denna utbyggnad kunna påbörjas i början av 2017. En eventuell försening av SFR-utbyggnaden skulle innebära att rivningen av Barsebäck och Ågesta blir försenad i motsvarande grad. SKB bedömer emellertid att det inte finns några negativa radiologiska konsekvenser av detta.

Kärnavfallsrådet instämmer i denna bedömning, men anser samtidigt att SKB – i linje med flexibilitetskravet – borde beakta vilka konsekvenser en eventuell tidigarelagd rivning av andra kärnkraftverk skulle kunna få för utbyggnaden av SFR samt konsekvenserna vid en försening av utbyggnaden av SFR¹⁷.

2.3.2 Omfattande oförutsedda omvärldsförändringar

Utöver de omfattande förändringar som skulle kunna motivera en omprövning av SKB:s huvudtidplan, finns också andra förändringar som inte på ett tydligt och övertygande sätt blivit föremål för SKB:s uppmärksamhet. Kärnavfallsrådet vill fästa uppmärksamheten på följande exempel:

- *Genombrott för alternativa metoder*. SKB har i ett särskilt avsnitt om alternativa metoder gjort bedömningen att det inte finns några realistiska alternativ till KBS 3-metoden (kap. 27). Vad gäller till exempel transmutation kan det dock inte uteslutas att ett betydande genombrott kan komma inom de närmaste decennierna. Frågan kan ställas vilka konsekvenser ett sådant

¹⁷ Se Kärnavfallsrådets slutsatser avseende Loma-programmet, kapitel 2.3.1.

genombrott skulle få för SKB:s planering, huvudtidplan och forskningsprogram.

- *Försvagning av slutförvarsprojektets legitimitet.* Riktningsgivande för SKB:s hittillsvarande arbete har varit att inte anlägga ett slutförvar mot slutförvarskommunens uttryckliga vilja. Det är emellertid inte uteslutet att en värderingsförändring kan inträffa – till exempel på grund av en kärnkraftsolycka eller ett terroristangrepp mot något led av kärnbränslecykeln. Sådana händelser skulle kunna skapa ett betydande folkligt motstånd mot att ta emot avfallet på en föreskriven plats¹⁸. Frågan är hur en sådan händelse kan påverka etableringsprocessen.
- *Behov av val av ny plats.* SKB:s platsvalsprocess utmynnade 2009 i ett beslut att förlägga det kommande slutförvaret till Forsmark i Östhammars kommun. Platsvalet grundade sig framför allt på omfattande platsundersökningar, som visade att Forsmark har ett berg som är lämpligt för ett långsiktigt säkert slutförvar. Dessutom är majoriteten av invånarna i kommunen positivt inställda till ett kärnbränsleförvar i kommunen. Det kan emellertid inte uteslutas att en närmare undersökning påvisar att Forsmark inte uppfyller de krav som SKB uppställt för en slutförvarsanläggning enligt KBS 3-metoden. Frågan är om i så fall Laxemar kan bli aktuell som ny slutförvarsplats för det använda kärnbränslet.
- *Urbolkning av kärnavfallsprojektets ekonomiska bas.* Kärnavfallsfondens resurser utgör den ekonomiska basen för hela slutförvarsprojektet. Enligt aktuella kostnadsberäkningar kommer fondens resurser att vara tillräckliga, men det kan inte uteslutas att kostnaderna på grund av oförutsedda utgifter överstiger tillgångarna. Fud-program 2010 ger inte något besked om SKB:s finansiella planering och på vilket sätt ett ekonomiskt underskott ska hanteras. En berättigad fråga är vad som kan hända i framtiden om en global ekonomisk tillbakagång reducerar tillgängliga resurser¹⁹.
- *Kärnkraftsföretagens ansvarstagande.* SKB ägs av kärnkraft-anläggningarnas ägare – E.ON, Fortum och Vattenfall – men E.ON och Fortum ägs i sin tur av utländska bolag. Frågan kan

¹⁸ Andrén & Strandberg, 2005 sid. 146 och 152.

¹⁹ Andrén & Strandberg, 2005 sid. 151.

ställas hur dessa utländska ekonomiska intressen kan påverka fullföljandet av slutförvarsprojektet.

- *Krav från EU.* EU-kommissionen framlade 2010 ett förslag till direktiv för hanteringen av kärnavfall. Detta direktiv bekräftar tidigare uttalade principer om att det är varje land som enskilt beslutar om omhändertagandet av sitt kärnavfall. Samtidigt framhäver direktivet värdet av ett internationellt samarbete på kärnavfallsområdet. Därmed skulle utvecklingen mot ett internationellt samarbete kunna resultera i ökande krav på till exempel Sverige att ta emot använt kärnbränsle från andra länder. Det kan finnas anledning att förmoda att andra länder tar intryck av SKB:s positiva bedömningar av den svenska berggrundens tillförlitlighet och framför önskemål om att få deponera sitt kärnavfall i Sverige.
- *Etiska värderingsförändringar.* I det nyss nämnda direktivet framhävs en etisk grundprincip, som Kärnavfallsrådet i olika sammanhang benämnt ansvarsprincipen. Den generation som fått fördelarna av kärnkraftsenergin är också skyldig att ansvara för en säker slutförvaring av det använda kärnbränslet. För närvarande finns det en bred enighet om denna ansvarsprincip. Samtidigt är det inte uteslutet att denna värdering försvagas i takt med att andra miljöfrågor eventuellt blir mer betydelsefulla, till exempel klimatfrågan.

Kärnavfallsrådet vill återigen understryka att rådet bedömer frågan om flexibilitet och framförhållning som avgörande i slutförvarsprocessen. SKB fäster med rätta en stor vikt vid detta i inledningen till Fud-program 2010. Rådet anser dock att dessa överväganden förtjänar en utförligare diskussion. Ett skäl till detta är att framtida forskning, utveckling och demonstration borde övervägas i ljuset av de oförutsedda omständigheter, som på ett avgörande sätt skulle kunna påverka slutförvarsprojektets genomförande och tidtabell.

2.4 Kärnavfallsrådets slutsatser avseende SKB:s handlingsplan

Nedanstående punkter utgör Kärnavfallsrådets slutsatser:

- Kärnavfallsrådet anser att SKB bör inventera de forskningsmässiga behoven av sitt övervägande att eventuellt mellanförvara styrstavarna i ett torrt mellanförvar. SKB bör även planera för utveckling och demonstration av ett sådant mellanförvar.
- Kärnavfallsrådet anser att SKB bör belysa hur de internationella överenskommelser som ålägger Sverige att uppföra system (safeguards) mot olagliga intrång i slutförvaret kan tillämpas efter förslutning då övervakning inte planeras.
- Kärnavfallsrådet anser att SKB tydligare borde sammankoppla de beskrivna milstolpar som redovisas i Fud-program 2007 med flexibilitetskravet (och i Fud-program 2010 vad gäller Loma-programmet).
- Kärnavfallsrådet efterlyser en närmare utredning av det sätt på vilket en förlängning av kärnkraftsverkens driftstider skulle påverka Clab.
- Fjärde generationens kärnreaktorer kan komma att tas i drift inom 100 år, alltså i samband med slutfasen av förvarets driftskede. Kärnavfallsrådet anser att SKB inte endast skulle begränsat sig till att utreda konsekvenserna av den tredje generationens kärnreaktorer, utan också av den så kallade fjärde generationen.
- Kärnavfallsrådet anser att SKB i högre grad bör överväga konsekvenserna av en utveckling mot den fjärde generationens kärnkraftsreaktorer, för huvudtidsplanen och för sitt kärnbränsleprogram. Frågan kan ställas om det tilltänkta förvaret skulle kunna omvandlas till ett mellanlager för kärnbränsle från våra lättvattenreaktorer, så att det genom ett återtag skulle kunna användas i den fjärde generationens kärnkraftsreaktorer.
- Kärnavfallsrådet anser att SKB borde beakta vilka konsekvenser en eventuell tidigareläggning av rivning av andra kärnkraftsverk skulle kunna få för utbyggnaden av SFR.

- Kärnavfallsrådet anser att det är lämpligt att staten tar på sig det formella ansvaret för det fysiska skyddet efter det att anläggningen slutligt förslutits.
- Kärnavfallsrådet anser att det är lämpligt att staten tar på sig "sistahandsansvaret" för slutförvaringen av använt kärnbränsle och kärnavfall efter det att anläggningen slutligt förslutits och förslutningen godkänts av den då ansvariga myndigheten. Det innebär att staten vid den tidpunkten övertar tillståndshavarnas skyldigheter och rättigheter för förvaret och det använda kärnbränslet.

Referenser

Andrén M, Strandberg U (red.), 2005. *Kärnavfallets politiska utmaningar*. Hedemora: Gidlunds Förlag. ISBN/ISSN:91-7844-679-1.

Konvention om säkerheten vid hantering av använt kärnbränsle och om säkerheten vid hantering av radioaktivt avfall. SÖ 1999:60.

Kunskapsläget på kärnavfallsområdet – utmaningar för slutförvarsprogrammet. SOU 2010:6.

Kunskapsläget på kärnavfallsområdet – geologin, barriärerna, alternativen. SOU 2011:14.

Strålsäkerhet – gällande rätt i ny form. SOU 2011:18.

3 Loma-programmet

3.1 Bakgrund

Låg- och medelaktivt avfall från kärnreaktorerna genereras genom läckage från bränslet, samt från radioaktiva ämnen som bildas då neutroner (som bildas i bränslet) bestrålar material i härdens närhet. Del II av Fud-programmet 2010 beskriver planerna för framtida omhändertagande av detta avfall, det så kallade Loma-programmet. I detta program inkluderas också omhändertagandet av radioaktivt avfall som kan härledas från användningen av radioaktiva ämnen inom sjukvård, forskning och annan industriell verksamhet. Avfall härifrån ska tas om hand för slutförvaring i SKB:s anläggningar, efter bearbetning och temporär lagring i Studsvik. I praktiken kan man säga att allt radioaktivt avfall, som inte utgörs av det använda kärnbränslet, klassas som låg- och medelaktivt avfall i SKB:s terminologi.

I dag slutförvaras kortlivat radioaktivt avfall i SFR i Forsmark¹. Detta förvar räcker dock inte till för framtida behov, och SKB räknar med att lagringskapaciteten behöver öka från nuvarande på 63 000 m³ till cirka 200 000 m³. Projektering för utbyggnaden pågår, SKB beräknar att man kommer att lämna in ansökan under 2013, och att man ska kunna starta provdrift av det nya förvaret 2020. Långlivat avfall mellanlagras för närvarande i Clab och vid respektive kärnkraftverk, och detta avfall måste således transporteras till sitt slutliga förvar, SFL, då detta står färdigt omkring år 2045 enligt SKB:s nuvarande planer².

Loma-programmet har översiktligt presenterats i tidigare Fud-program, dessutom i en något utförligare version som en komplettering till Fud-programmet 2007. Kärnavfallsrådets kommentar till Fud-program 2007 rörde i första hand rivnings-

¹ SFR står för slutförvar av radioaktivt driftavfall.

² SFL står för slutförvar av långlivat radioaktivt avfall.

frågan³. I samband med publiceringen av kompletteringen till Fud-program 2007, lämnade Kärnavfallsrådet också ett yttrande, som i korthet innebar att man även mot bakgrund av SKB:s komplettering anser att SKB utförligare bör redovisa planeringen för omhändertagandet av låg- och medelaktivt avfall och hur rivning av kärntekniska anläggningar ska genomföras.

Det nu föreliggande Fud-programmet 2010 ger den mest utförliga presentationen hittills. Frågan om rivning av kärnreaktorer och omhändertagande om rivningsavfallet anknyter till Loma-programmet.

3.2 Kortlivat låg- och medelaktivt avfall

3.2.1 Vad innebär termen "kortlivat avfall"?

SKB:s nuvarande anläggning för slutförvar av radioaktivt driftavfall karakteriseras i Fud-programmet som "SFR – slutförvar av kortlivat radioaktivt avfall". Regeringsbeslutet 1983 gav SKB tillstånd att anlägga och driva en anläggning "för slutlig förvaring av låg- och medelaktivt avfall i Forsmark". SKB planerar att ansöka om tillstånd för utbyggnad av SFR för slutförvar av "kortlivat rivningsavfall från de befintliga kärnkraftverken" och "kortlivat rivningsavfall från Clink" samt "slutlagring av stora komponenter inklusive hela BWR-reaktortankar utan kraftigt neutronaktiverade interndelar"⁴ (BWR står för kokvattenreaktor, *Boiling Water Reactor*).

Kärnavfallsrådet ser som en viktig uppgift att bidra till transparens kring avfallskedjan. Det tillagda begreppet "kortlivat" avdramatiserar förvaret, men frågan är om det bidrar till att klargöra förvarets innehåll och risker. IAEA definierar kortlivat avfall som avfall som inte innehåller signifikanta nivåer radionuklider med längre halveringstider än 30 år⁵. SKB använder gränsen 31 år för att inkludera en av de vanligast förekommande nukliderna i driftavfallet, nämligen Cs-137, med halveringstiden 30,1 år. (En nuklid är en atomkärna med ett visst bestämt antal protoner och neutroner. En radionuklid är alltså en radioaktiv atomkärna.) Hittills deponerat avfall kan emellertid innehålla icke-

³ Kap. 15 i SOU 2008:70.

⁴ Sid. 70 i Fud-program 2010.

⁵ IAEA, 2003.

försumbara mängder av C-14, med halveringstiden 5 730 år⁶. Det innebär att det deponerade avfallet kan utgöra en risk under mycket långre tid än vad termen ”kortlivat“ antyder. Efter 5 730 år finns inga kortlivade nuklider kvar i förvaret, medan hälften av de ursprungliga C-14 nukliderna återstår. (C-14 kommer både från driftavfall från reaktorer och från Studsvikavfallet). Slutförvaring av reaktortankar ökar mängden C-14 och tillför ytterligare en långlivad nuklid, nämligen Mo-93 med halveringstiden 3 500 år. I Fud-programmet konstateras att dessa två nuklider ”på sikt kan utgöra en signifikant andel av dosbidraget från SFR”⁷.

Kärnavfallsrådet anser att begreppet ”kortlivat” inte bidrar till att skapa klarhet om SFR:s nuklidinnehåll och risker. Fortsatta mätningar kan visa att det är en direkt felaktig användning av begreppet som detta definieras av IAEA.

3.2.2 Nuklidinnehållet

SFR togs i bruk 1988. Efter 20 år råder fortfarande viss osäkerhet om radionuklidinnehållet, i vilken del av förvaret nukliderna finns och deras kemiska tillstånd. Arbetet med att karakterisera avfallet⁸ är därför viktigt för att få en tillförlitlig säkerhetsanalys. Kärnavfallsrådet efterlyser en diskussion *ur säkerhetsanalytiskt perspektiv* om kostnadsnytta av olika mätprogram.

Av speciellt intresse är innehållet av C-14, med tanke på att kolatomen är en ”byggsten” i olika organiska föreningar. Detta gör att den lätt kan internaliseras i vävnad, och sannolikheten att strålningen från den leder till en skada på DNA kommer på så sätt att öka. Kärnavfallsrådet noterar därför med tillfredsställelse det fokus som denna fråga fått i forskning vid Lunds universitet, stödd av SKB, och anser att denna bör fortsätta i syfte att nå en bättre förståelse för hur C-14 kan omhändertas på ett miljö- och strålskyddsmässigt säkert sätt⁹.

⁶ Strålsäkerhetsmyndigheten, 2009.

⁷ Sid. 236 i Fud-program 2010.

⁸ Sid. 227 i Fud-program 2010.

⁹ Magnusson, Stenström, Aronsson, 2008; Magnusson, Aronsson, Lundgren, Stenström, 2008.

3.2.3 Utbyggnaden av SFR

Kärnavfallsrådet konstaterar att erfarenheterna från byggnad och drift av SFR är en viktig positiv faktor vid planering för utbyggnad av SFR (nedan refererat till som SFR+) och finner det rimligt att i första hand söka bygga den nya anläggningen i direkt anslutning till den befintliga.

Rådet befarar emellertid att tidsplanen med driftsättning av SFR+ år 2020 kan visa sig vara alltför optimistisk med hänsyn till den komplexa tillståndsprocessen. Byggandet av ett slutförvar för rivningsavfall har skjutits upp ett flertal gånger – enligt den planering som gällde i slutet av 1990-talet skulle byggandet av SFR+ vara igång nu. En fördröjning av byggstarten för SFR+ får betydande konsekvenser utanför avfallshanteringsystemet. Det finns stort behov av konsekvensanalys och alternativ planering.

Konsekvensanalys. Med nuvarande planering leder en försening av SFR+ till en försening av Barsebäcks rivning. Konsekvenserna av en försening av SFR+ får således konsekvenser *utanför* systemet för hantering av kärnavfall, medan exempelvis en försening av Kärnbränsleförvaret kan hanteras *inom* systemet. De externa effekterna påverkar vilka som får bära kostnaderna för en försening. Uppskjuten byggstart leder till uppskjutna utbetalningar från Kärnavfallsfonden, vilket ökar fondens ränteinkomster. De ökade ränteinkomsterna kompenserar avfallssystemet för de ökade kostnaderna för servicedrift av Barsebäckreaktorerna. I samhället utanför avfallssystemet uppstår alternativkostnader för försenad friklassning av en välbelägen strandtomt i ett mycket expansivt område.

Nettokostnaderna för ett försenat SFR+ kan således komma att ligga utanför avfallssystemet, och intresset för att driva på frågan kan därför vara mindre från SKB och dess ägare.

Alternativ planering. Alternativ planering för hantering av Barsebäckreaktorernas rivning bör syfta till att minska de externa konsekvenserna av en försening av SFR+. Framförallt bör alternativplaneringen leda till en internalisering av extra kostnader vid en försening, så att dessa kostnader bärs av avfallssystemet.

3.2.4 Initialtillstånd låg- och medelaktivt avfall

Det finns ett antal parametrar som gör den naturvetenskapliga forskningen rörande förvar för kortlivat låg- och medelaktivt avfall till en stor utmaning. Den aktuella tidsperioden för kortlivat låg- och medelaktivt avfall uppges i likhet med utbränt kärnavfall vara 100 000 år, men avfallet är mycket mer komplext då det består av material med sinsemellan helt olika egenskaper, som exempelvis metallskrot och konditionerat vått avfall. Metallskrotet innehåller flera olika metaller, framför allt kolstål och rostfritt stål, medan det våta avfallet består av organiskt och oorganiskt material som har konditionerats, det vill säga överförs i fast form, i cement eller bitumen.

Avfallet ska inneslutas i kärll och silos av cement eller betong och placeras i bergrum under Östersjön. Silon i SFR är omgiven av en bentonitbuffert som är placerad mellan betongkonstruktionen och bergväggen.

Efter förslutning kommer förvaret att vattenfyllas mycket snabbt (cirka 25 år) och utmaningarna består i att förutsäga komplexa kemiska och mekaniska omvandlingar i olika delar av avfallet och den långsiktiga funktionen av de tekniska barriärerna. En särskild komplikation är förekomsten av de i sammanhanget långlivade isotoperna C-14 och Mo-93, men avfallet innehåller dessutom en lång rad andra radionuklider som måste hanteras och isoleras i förvaret. Metallerna i förvaret kommer att bilda en rad olika korrosionsprodukter och när dessa kommer i kontakt med grundvatten sker kemiska reaktioner (bland annat hydrolys) som leder till nya kemiska föreningar som är specifika för olika metaller (genom komplexbildning och utfällningar). Organiska komplexbildare i SFR ökar rörligheten hos många metalljoner och SKB undersöker möjligheten att minska användningen av dessa genom att använda sig av oorganiska rengöringsmedel baserade på karbonat. Kärnavfallsrådet föreslår att SKB undersöker möjligheten att använda fosfatjoner som har använts i kommersiellt tvättmedel under lång tid.

3.2.5 Processer låg- och medelaktivt avfall

Det finns en rad mekaniska och kemiska processer som på sikt kommer att förändra tillståndet i förvaret. SKB räknar upp och beskriver många viktiga processer i Fud-program 2010 på ett förtjänstfullt sätt och Kärnavfallsrådet nöjer sig i detta sammanhang med att kommentera några av dem.

Man kan utgå ifrån att förvaret kommer att frysa och åter tina upp flera gånger under den långa tidsperiod det rör sig om. Frysning av betongbarriären behandlas relativt grundligt medan frysning av avfallet inte kommenteras alls¹⁰. Vattnet i avfallet torde ha ett mycket sammansatt innehåll av metallkomplex, utfällningar och kolloidala partiklar från avfallet, samt joner som kommer med det inträngande grundvattnet. (Kolloidala partiklar är partiklar som är mycket små, mindre än en tusendels millimeter.) När avfallet fryser kommer volymen att öka och vattnet kommer i stor utsträckning att separeras från dess innehåll av olika typer av föroreningar, som anrikas runt den bildade isen (utfrysning). När isen åter smälter och nytt grundvatten transporteras in i förvaret kan dessa koncentrerade områden av radionuklider möjligen leda till en ökad uttransport från förvaret. Kärnavfallsrådet uppmanar SKB att utreda detta.

Korrosionen hanteras i Fud-program 2010 huvudsakligen i form av korrosion av armeringsjärn i betong som leder till bildning av götit (FeOOH) eller magnetit (Fe_3O_4) beroende på om miljön är oxisk eller anoxisk (syrefri). Detsamma gäller naturligtvis kolstål och rostfritt stål i avfallet, som tillsammans med andra metaller i metallskrotet i kontakt med grundvattnet leder till olika typer av korrosionsmekanismer, till exempel galvanisk korrosion, gropfrätning med mera. De bildade korrosionsprodukterna kan ofta adsorbera och kvarhålla andra joner i förvaret, vilket i huvudsak är positivt. SKB uppmanas att förbättra sin kunskap om adsorptionsförmågan hos de viktigaste korrosionsprodukterna. (Adsorption innebär fastläggning på ytor.)

Man kan förvänta sig att kolloidtransport kommer att svara för en stor del av radionuklidernas rörlighet genom adsorption och utfällningar. Genom att materialsammansättningen är mycket komplex finns ett stort antal möjligheter för bildning av kolloidala partiklar med olika egenskaper och förmåga att attrahera radionuklider vid de pH-värden, jonstyrkor och andra förhållanden

¹⁰ Kap. 21.2.3 i Fud-program 2010.

som kommer att råda i förvaret, efter det att förvaret vattenfyllts och barriärerna har destabiliserats. Kärnavfallsrådet uppmanar SKB att inte bara följa kunskapsutvecklingen inom området utan även att aktivt bidra till den.

Den mikrobiella aktiviteten i förvaret kommer säkert att vara mycket hög. Genom sin komplexa sammansättning av organiska och oorganiska material bör förhållandena för bakterietillväxt vara gynnsamma. Frågan är vilken effekt den mikrobiella aktiviteten har för nedbrytning, omvandling och kolloidbildning i förvaret och därigenom för uttransport av kolloider. SKB avser att följa utvecklingen inom området, vilket Kärnavfallsrådet stöder.

3.3 Tekniska barriärer i SFR

Kärnavfallsrådet har uppdragit åt doktor Lars Marklund, Marksmen Consulting, Sörberge att bistå rådet med synpunkter avseende hydrologi i kapitel 21, ”Tekniska barriärer i SFR” i Fud-program 2010. Marklunds slutsatser redovisas i en bilaga till rådets granskningsrapport.

3.3.1 Initialtillstånd tekniska barriärer

De tekniska barriärerna som finns i vissa delar av SFR har uppgiften att fördröja uttransporten av radionuklider från förvaret. Det finns två olika typer av tekniska barriärer, betong och bentonit. Initialtillståndet för barriärerna gäller förhållandet vid förslutning innan förvaret har vattenfyllts.

3.3.2 Processer tekniska barriärer

Betongbarriärerna kommer på sikt att brytas ner och förstöras, och det gäller att få en god uppfattning om på vilket sätt och hur fort detta sker. Det finns en rad möjliga mekanismer som är aktuella i sammanhanget – frostangrepp, sulfatangrepp, saltangrepp, angrepp av havsvatten, sura angrepp, urlakning, cement, ballastreaktioner (det vill säga kemiska reaktioner mellan cement och stenar i betong) och naturligtvis armeringskorrosion (korrosion av järnet i

betong)¹¹. En del av dessa processer finns beskrivna i Fud-program 2010 och där redogörs också för pågående forskning om kemiska och mekaniska egenskaper hos åldrad betong. Det finns också stora möjligheter att påverka betongens egenskaper genom att använda sig av en optimal cement- och ballasttyp i betongen (grus och krossat berg).

Kärnavfallsrådet saknar en redogörelse för hur SKB arbetar för att optimera den typ av cement och ballast som ska användas, och hur de kan förbehandlas för att uppnå maximal hållfasthet i förvaret. Det gäller att inte låsa sig fast vid en enda typ av portlandcement utan också undersöka andra cementtyper som finns på marknaden till exempel lågalkaliskt portlandcement eller slaggcement. Det senare har också visat på god beständighet mot angrepp av havsvatten, medan inblandning av så kallade puzzolaner (till exempel kiselstoft eller flygaska) ger god effekt mot saltangrepp. En behandling för att få ett tätare cement är att utföra en extra malning av cementmineral för att minska partikelstorleken.

Som framgår av Fud-program 2010 har en betong utan extra luftinblandning små möjligheter att klara en frysning som sker i närvaro av saltlösningar – även i låga salthalter. Frysskadorna består oftast i en successivt ökande avskalning av betongens ytskikt och kan leda till att grövre ballastpartiklar lossnar.

Vissa ballastmaterial kan reagera med cementpastan på ett sätt som kan förstöra betongen och bör undvikas. Dit hör alla mineral som består av amorf kiselsyra men även ballaststorleken spelar en viss roll och i ett förvar som detta måste alla förhållanden optimeras för att få en maximal livslängd.

Armeringskorrosion är naturligtvis ett centralt begrepp när det gäller att förutsäga och optimera betongbarriärernas livslängd vilket motiverar ett särskilt forskningsprogram som SKB bedriver genom litteraturstudier och vid behov experiment. Kärnavfallsrådet stöder SKB:s ambitioner inom detta område.

Sorption av radionuklider är som SKB framför i Fud-program 2010 en av de viktigaste fördröjande säkerhetsfunktionerna i SFR. Cementen i betongbarriärerna spelar naturligtvis en viktig roll i detta och genom sitt höga pH-värde är det framför allt de positivt laddade komplexjonerna som kommer att fördröjas genom adsorption på ytorna. Kärnavfallsrådet ser positivt på att SKB har

¹¹ Fagerlund, 1987.

aktiverat ett forskningsprogram rörande olika radionuklidernas sorptionskoefficienter på betong, bentonit och sand liksom studier om komplexbildning av radionuklider med organiska nedbrytningsprodukter.

Diffusion av radionuklider genom framför allt åldrad betong är en annan viktig process i sammanhanget och det är angeläget att SKB har goda kunskaper om detta. Eftersom många länder har förvaring av kärnavfall i betongkistor och silos som sitt huvudspår borde det finnas mycket kunskap att hämta i ett samarbete.

Sammanfattningsvis vill Kärnavfallsrådet uppmana SKB att grundligt undersöka de möjligheter som mineralsammansättningen i cement, ballastmaterial och förbehandling (t.ex. ytterligare malning) av cementmineral ger för att öka livslängden hos betongbarriärerna. Forskningen rörande armeringskorrosion, sorption och diffusion bör enligt rådets uppfattning fortsätta.

3.4 Långlivat låg- och medelaktivt avfall

3.4.1 Tidsplanering

Slutförvaret för långlivat låg- och medelaktivt avfall (SFL) är det förvar som enligt SKB:s planer kommer att vara det sista som färdigställs och tas i bruk. Det beräknas kunna tas i rutinmässig drift först 2045. SKB avser att påbörja platsundersökningarna för SFL omkring år 2020, därefter vidtar projektering och säkerhetsanalys. En tidsplan presenterades i den komplettering till Fud-program 2007 som publicerades år 2009. Den avlägsna tidshorisonten innebär också att platsvalet återstår, likaså projekteringen av den exakta utformningen.

Kärnavfallsrådet anser att SKB utförligare bör redovisa motiven till varför man har valt att vänta så länge med SFL, inklusive för- och nackdelar. Man bör också skyndsamt utreda vilka möjligheter det finns att tidigarelägga SFL utan att göra avkall på säkerheten, och i vad mån detta skulle kunna påverka planeringen och verksamheten för övriga förvar.

3.4.2 Mellanlagring

En stor del av det långlivade låg- och medelaktiva avfallet är så kallat historiskt avfall som redan är producerat, och för närvarande lagras i mellanlager i Clab eller vid kärnkraftverken i väntan på att SFL ska färdigställas. Mellanlagring kan i framtiden även komma att göras i BFA vid Oskarshamnsverket, och också i SFR. Med nuvarande planering uppskattas det totala behovet av utrymme för mellanlagring till cirka 10 000 m³. De mellanlagringsutrymmen som i dag finns att tillgå räcker i princip till för detta, men eftersom dessa också nyttjas för tillfällig lagring av annat avfall är tillgången osäker. Det är oklart vad som kommer att mellanlagras var.

Kärnavfallsrådet anser att SKB systematiskt bör analysera och redovisa de flöden och transporter av olika kategorier radioaktivt avfall som genereras av utnyttjandet av olika mellanlager, inklusive processer för konditionering, förslutning med mera. Beträffande lokalisering av SFL anser Kärnavfallsrådet att resultatet av en sådan analys är en av de faktorer som bör beaktas inför ett framtida beslut.

3.4.3 Referensinventarium

I SFL kommer bland annat totalt 2 500 styrstavar från BWR-reaktorerna samt hårdkomponenter som utsatts för kraftig neutronbestrålning att deponeras. En uppsättning hårdkomponenter väger i genomsnitt 70 ton och har en deponeringsvolym på 100 m³ per reaktor. Beroende på det nyligen tagna beslutet om förlängd drifttid för kärnkraftverken har avfallsströmmarna till SFL och därmed också referensinventariet förändrats enligt SKB. Vad denna förändring innebär och hur det påverkar karakteriseringen av referensinventariet framgår dock inte. SKB avser att presentera ett uppdaterat referensinventarium till år 2013.

3.4.4 Tekniska barriärer i SFL

Forskningsprojekt som identifierats som viktiga för utformningen av SFL har identifierats och presenteras i korthet i Fud-programmet. Till stora delar sammanfaller detta med vad som presenteras också för SFR, rörande egenskaper hos cementbaserat

material och korrosion av metaller. Kärnavfallsrådets synpunkter på dessa planer redovisas i kapitel 4.3 i föreliggande rapport.

3.5 Avveckling och rivning av kärntekniska anläggningar

3.5.1 Kärnavfallsrådets slutsatser 2007

SKB bör precisera och motivera när rivningen av olika anläggningar ska ske. Önskemålet om tidig rivning kan ställas mot behovet av att ha slutförvar färdiga att ta emot rivningsavfall innan rivningsarbetet inleds. Kärnavfallsrådet anser därför att det finns ett behov av en systemanalys omfattande alla de anläggningar och verksamheter som inryms i SKB:s redovisning av Loma-programmet.

Frågor om beslutsprocessen för rivning och omhändertagande av avfallet behöver utredas. Behovet av miljökonsekvensbedömningar av rivning av kärnkraftverken bör belysas. Innebörden av gällande EU-direktiv och bestämmelser i miljöbalken behöver klarläggas inför rivning av kärnkraftverk.

Kärnavfallsrådet vill betona vikten av en transparent beslutsprocess avseende avställning och rivning där kommunerna inbjuds att delta i dialogen.

I Fud-program 2010 redogör SKB för planeringen och strategierna för avveckling och rivning av de olika kärntekniska anläggningarna i Sverige. Det är emellertid ganska svårt att härur utläsa tidsplaneringen. En systemanalys saknas fortfarande.

Bildandet av "Rivningsgruppen" är ett steg i rätt riktning, men ansvarsfördelningen inom denna grupp bör redovisas tydligare.

3.5.2 Ansvarsfördelning

Ansvaret för rivning av en kärnteknisk anläggning ligger enligt lag på tillståndshavaren. Detta omfattar ansvar för planering, tillståndsfrågor, genomförande av fysisk rivning och slutligen att avfallet tas om hand. Ett antal olika aktörer, inklusive SKB, ansvarar således för olika kärntekniska anläggningar i Sverige. Ur nationell synvinkel finns därför behov av en samordning av avveckling och rivning, och för att få till stånd detta bildades i

början av 2000-talet en rivningsgrupp, vars syfte är att fokusera på logistik och teknikfrågor.

Kärnkraftföretagen har givit SKB i uppdrag att delta i planering och genomförande av kommande rivningar samt att driva slutförvar för rivningsavfall. SKB förväntas utveckla generella metoder och rutiner för rivningsarbetet, aktivitets- och volymuppskattningar samt klassificering av avfall, och kostnadsuppskattning. Det är emellertid oklart vem/vilka som leder Rivningsgruppen, SKB verkar ha en viktig roll men denna bör redovisas tydligare. Det är också önskvärt med en tydligare redovisning av rivningsgruppens roll, sammansättning och arbetsmetoder.

3.5.3 Planering

I Fud-program 2010 redogörs för planeringen och strategierna för avveckling och rivning av de olika kärntekniska anläggningarna i Sverige. Av särskilt intresse är bland annat Barsebäck och R2-reaktorn, där Studsvik och BKAB deltar i en ”Technical Advisory Group” inom NEA, som behandlar ett 40-tal internationella avvecklingsprojekt.

Arbetet med planeringen ses som en iterativ process för att bygga upp och främja en ökad kompetens bland aktörerna. Erfarenheter från Barsebäcks planeringsarbete tas till vara, liksom internationella erfarenheter. Härigenom förväntar man sig också att få en bättre uppfattning av avfallsvolymer och det nuklidspecifika innehållet.

Det är emellertid ganska svårt att ur texten utläsa tidsplaneringen för samtliga anläggningar. Det behövs en tydligare översikt av samtliga åtgärder, och speciellt vad som är kritiska frågor för att kunna uppnå en säker avveckling av de olika kärntekniska anläggningarna, en säker förvaring av avfallet från avvecklingen och en friklassning av de områden där de kärntekniska anläggningarna är/varit förlagda. SKB behöver också bättre belysa vilka faktorer som är de primärt begränsande för när de olika kärnkraftverken kan rivas. Det är viktigt att relevansen av internationella direktiv och konventioner samt erfarenheter är synliga i den fortsatta planeringen av avveckling och rivning.

Kärnavfallsrådet framhåller i föregående avsnitt om utbyggnad av SFR den starka kopplingen mellan planeringen för Barsebäcksvärkets rivning och processerna för tillstånd och konstruktion av

utbyggnaden, och vill ännu en gång peka på denna koppling. Försening av utbyggnaden får konsekvenser utanför avfalls-systemet och detta understryker behovet av alternativ planering för att hantera samhällsekonomiska konsekvenser av en försening.

3.5.4 Hantering av rivningsavfallet

I Fud-programmet anges tre möjliga strategier för avveckling och rivning av kärnkraftverk. Med undantag av Barsebäck och Ågesta avser man att tillämpa strategin ”direct dismantling” för de svenska kärnkraftverken. Detta innebär i korthet att rivning och omhändertagande av avfallet sker inom en relativt kort tid efter avställning, varefter friklassningen tar vid. Det saknas dock såväl en detaljerad beskrivning av vad detta innebär samt en presentation av motiven, inklusive för- och nackdelar, för valet av denna metod. Vilka problem kan uppstå då man avser att friklassa en anläggning efter det att den rivits? Eventuellt kan det uppkomma konflikter mellan önskemål om tidig rivning och om att förvar ska vara färdigt att ta emot avfallet.

En kortare beskrivning av mängden och arten av rivningsavfall från Barsebäck beskrivs. För de övriga kärntekniska anläggningarna pågår studier och/eller planering.

3.5.5 Hushållnings och kretsloppsprincipen

Kärnavfallsrådet vill i detta sammanhang även hänvisa till miljöbalkens rättsligt bindande principer och allmänna hänsynsregler. Den som utövar verksamhet ska enligt balken bland annat hushålla med råvaror och energi samt utnyttja möjligheterna till återanvändning och återvinning, det vill säga hushållningsprincipen och kretsloppsprincipen.

Hushållningsprincipen innebär att all verksamhet ska bedrivas och alla åtgärder ska vidtas på ett sådant sätt att råvaror och energi används så effektivt som möjligt. Kretsloppsprincipen innebär att vad som utvinns ur naturen på ett uthålligt sätt ska kunna användas, återanvändas, återvinnas och bortskaffas med minsta möjliga resursförbrukning och utan att naturen skadas.

Kretsloppsprincipen kan beskrivas som en princip som siktar mot slutna materialflöden.

Enligt Kärnavfallsrådets mening har dessa principer hittills inte fått något större praktiskt genomslag när det gäller hanteringen av låg- och medelaktivt radioaktivt avfall. I de allra flesta fall direktdeponeras radioaktivt avfall utan försök till återvinning. Anledningen kan vara att ytterligare hanteringsled skulle kunna innebära en risk för ökad dos till berörda arbetstagare. Även ekonomiska hänsyn kan ha spelat in.

För att radioaktivt material ska kunna återanvändas i samhället ska det vara friklassat. Detta innebär att man genom kontrollmätning fastställer att mängden radioaktiva ämnen i materialet underskrider en föreskriven nivå. Därmed är inte längre strålskyddslagen tillämplig på detta material¹². Gemensamt för radioaktivt avfall som ska återvinnas är nämligen att det kan krävas ett extra hanteringsled för behandling innan avfallet kan friklassas. Detta gäller även återanvändning i betydelsen att föremål används på nytt, till exempel mycket lätt eller endast ytligt kontaminerat metallskrot eller verktyg som efter behandling och kontroll åter skulle kunna utnyttjas i produktionen.

Kärnavfallsrådet kan inte se några reella skäl för att inte låta hushållnings- och kretsloppsprinciperna få fullt genomslag i samband med behandlingen av radioaktivt avfall. Detta gäller särskilt för det mycket lågaktiva radioaktiva avfall, t.ex. rivningsavfall, som deponeras i markförvaren vid kärnkraftverken och Studsviksanläggningen. Även att i ökad utsträckning utnyttja förbränning eller pyrolys, som ett sätt att reducera volymen deponerat avfall, kan, om det kan ske utan oacceptabla utsläpp av radioaktivitet i luften, vara en eftersträfvärd utveckling.

Från miljösynpunkt och med utgångspunkt i miljöbalkens regler bör enligt Kärnavfallsrådets mening återvinning få en ökad tillämpning för det radioaktiva avfall som uppstår i samband med kärnteknisk verksamhet. Syftet bör vara att volymreducera det radioaktiva avfall som är aktuellt för slutförvaring. Därigenom minskas behovet av utrymme i slutförvaren och på sikt även behovet av antalet slutförvar. Det sistnämnda gäller särskilt markförvar för lågaktivt radioaktivt avfall.

Kärnavfallsrådet föreslår mot den bakgrunden att Loma-programmet i Fud-program 2010 kompletteras med en redogörelse i nästa Fud-program för hur möjligheterna till återvinning, det vill säga hushållningsprincipen och kretsloppsprincipen, kan utnyttjas

¹² Hamrefors, 2004.

när det gäller hantering och slutförvaring av låg- och medelaktivt radioaktivt avfall.

3.6 Kärnavfallsrådets slutsatser avseende Loma-programmet

Nedanstående punkter utgör Kärnavfallsrådets slutsatser:

- Kärnavfallsrådet anser att SKB, innan ansökan om utbyggnad av SFR inlämnas, bör åläggas att komma in med kompletterande analys av konsekvenserna vid en försening av utbygganden av SFR och alternativ planering för ett sådant fall.
- SKB bör tydligare klargöra hur stor andel av avfallet i SFR som i själva verket är långlivat.
- SKB bör utförligare redovisa motiven, inklusive för- och nackdelar, till att man i sin planering utgår ifrån att SFL inte kan tas i drift förrän år 2045. Man bör också skyndsamt utreda möjligheterna för en tidigareläggning.
- SKB bör systematiskt analysera och redovisa flödet och transportererna av olika kategorier radioaktivt avfall som genereras av utnyttjandet av olika mellanlager, inklusive processer för konditionering, förslutning etc.
- SKB bör tydligare redovisa rivningsgruppens roll, sammansättning och arbetsmetoder.
- Loma-programmet bör i nästa Fud-program kompletteras med en redogörelse för möjligheterna till återvinning av rivningsavfall i synnerhet, men även av avfall som annars skulle placeras i SFR. SKB bör dessutom beskriva hur, och i vilken utsträckning man avser att konditionera avfallet i syfte att reducera volymen.
- SKB uppmanas att förbättra sina kunskaper om adsorptionsförmågan hos viktiga korrosionsprodukter och betydelsen av mikrobiell aktivitet och kolloidal transport av radionuklider.
- SKB uppmanas att undersöka hur materialsammansättning och förbehandling av betong kan utnyttjas för att öka livslängden hos barriärerna.

Referenser

Fagerlund G, 1987. *Betongkonstruktioners Beständighet*. Upplands Grafiska AB, 1987.

Hamrefors G, 2004. *Friklassning av material från rivning av kärntekniska anläggningar i Sverige – en utredning om EU:s rekommenderade regler är tillämpbara i Sverige*. SSI Rapport 2004:3.

IAEA, 2003. *Radioactive Waste Management Glossing*, 2003 Edition.

Magnusson Å, Stenström K, Aronsson P-O, 2008. ^{14}C in spent ion-exchange resins and process water from nuclear reactors: A method for quantitative determination of organic and inorganic fractions. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 275; 261-270, 2008.

Magnusson Å, Aronsson P-O, Lundgren K, Stenström K, 2008. Characterization of ^{14}C in Swedish Light Water Reactors, *Health Phys.* 95 (Suppl. 2) S110-S121, 2008.

Strålsäkerhetsmyndigheten, 2009, Beslut rörande säkerhetsredovisning för SFR-1, Granskning av SFR-2 SAR-08, 2009-12-21.

4 Kärnbränsleprogrammet

4.1 Bakgrund

SKB har fortsatt planeringen för byggande och drift av Kärnbränsleförvaret, med sikte på den redovisning som SKB kommer att lämna i ansökningarna enligt miljöbalken respektive kärntekniklagen. Genomförandeplanen för Kärnbränsleförvaret övergår därmed enligt SKB från att ha varit en utvecklingsfråga som i huvudsak hanterats inom Fud-processen, till att bli en fråga som ska hanteras inom tillståndsprocessen. Däremot ska enligt SKB utvecklingen av den teknik som behöver finnas framme i olika skeden av bygge och drift även fortsättningsvis hanteras inom Fud-processen.

För att ge en bakgrund till hur planerna för teknikutvecklingen inom olika områden kopplar till genomförandet av slutförvaringen av använt kärnbränsle sammanfattar SKB genomförandeplanerna för inkapslingsanläggningen och slutförvaret i kapitel 8 i Fud-program 2010. SKB:s sammanfattning avser perioden fram till driftstart, det vill säga huvudskedena tillståndsprovning, uppförande och driftsättning. Det är enligt SKB under dessa skeden som den teknik som utvecklas för KBS-3-systemets komponenter ska tas i bruk, alternativt färdigställas för att kunna tas i bruk när driften startar.

SKB:s uppfattning är att teknikutvecklingen nu har nått så långt att en referensutformning för KBS-3-systemet är fastställd och har visats uppfylla de konstruktionsförutsättningar som tagits fram. SKB anser att teknikutvecklingen har kommit längst för komponenter av avgörande betydelse för den långsiktiga säkerheten, som utformningen av kapseln. SKB anser vidare att för vissa komponenter, även för kapseln, kan utformningen behöva modifieras, åtminstone i detaljer.

4.2 Teknikutveckling kapsel

4.2.1 Kärnavfallsrådets slutsatser 2007

I Kärnavfallsrådets granskning av Fud-program 2007, konstaterade rådet att material och gjutningsprocess för segjärnsinsatsen måste optimeras så att specificerade krav kan uppfyllas. Annars måste någon annan typ av material användas. Vidare påpekade rådet att kvalitetskrav med avseende på tillverkningsdefekter i kapselns alla delar, inklusive svetsar, måste utvecklas för att garantera tillförlitligheten under hela kapseltillverkningen och slutförvarsperioden. Rådet menade att dessa kriterier bör beakta materialstruktur, materialegenskaper och defekter såväl i kopparhöljet som i gjutjärnsinsatsen, liksom att kvalitetskraven måste verifieras med metoder för oförstörande provning (OFP), som exempelvis ultraljud och radiografi.

Kärnavfallsrådets synpunkter tycks vara väl tillvaratagna i Fud-program 2010. Arbetet med att framställa acceptanskriterier för kapseln pågår liksom arbetet med att fastlägga den detaljerade kravbilderna för defekter och de underliggande kraven för oförstörande provning. Teknikutveckling sker med målet att utprova tekniken för provning av kapselns komponenter och svetsar, för att säkerställa att kriterierna uppfylls.

4.2.2 Bakgrund

Kärnkraftsreaktorernas planerade drifttider i Sverige motsvarar slutdeponering av cirka 6 000 kapslar, med en deponeringstakt på cirka 150 kapslar per år. SKB har valt referensmetoder för tillverkning av kapselns komponenter samt för svetsning och förslutning. Kopparröret tillverkas genom extrusion (en process där långa raka metalleder skapas genom att metallen pressas genom ett hålrum med hjälp av en hydraulisk eller mekanisk press), kopparlock och kopparbottnar smids och den lastbärande insatsen gjuts. Svetsning av kopparbotten och förslutningen utförs med friktionssvetsning (Friction Stir Welding, FSW). Kapslarna ska kunna tillverkas och förslutas med hög tillförlitlighet. Demonstrationsserier av insatser och andra komponenter har tillverkats under produktionsliknande förhållanden och utvärderats.

Kapseln är den viktigaste barriären i KBS-3 systemet genom att den ska innesluta det använda kärnbränslet och förhindra spridning

av radionuklider till omgivningen. Kapselns uppgift är också att dämpa joniserande strålning och att förhindra fortsatt uranklyvning (kriticitet).

4.2.3 Tillverkning, provning och kontroll

De krav som måste ställas på tillverkning, provning och kontroll av kapselns komponenter och hela systemet är ännu oklara. SKB har efter Fud-program 2007 fortsatt att utveckla konstruktionsförutsättningarna för kapseln och en sammanställning av kapselns hållfasthet och skadetålighet (designanalys) har presenterats i SKB TR-10-28¹. Kapslarna ska kunna inspekteras med hög tillförlitlighet för att säkerställa att de uppfyller de fastställda kraven.

4.2.4 Acceptanskriterier

Acceptanskriterier för systemet och driften måste fastställas. Arbetet med att specificera acceptanskriterier pågår. Acceptanskriterier för insatsen baseras på skadetålighetsanalyser och brottmekanik, men för kopparhöljet baseras kraven på krypduktilitet och tjockleken av den intakta kopparbarriären. (Duktilitet är förmågan att motstå sprickbildning. Krypning innebär långsam förändring i materialstrukturen på grund av yttre påverkan och förhöjd temperatur. Krypduktilitet är alltså förmågan hos ett material att motstå sprickbildning även när det utsätts för permanent deformation över tid). Korrosionsbarriärens tjocklek är 5 cm men även 3,5 cm har föreslagits som en tillräcklig korrosionsbarriär.

Acceptanskriterier för olika defekter, kallbearbetning och materialstrukturer, speciellt i svetsgodset men också i kopparhöljet och gjutjärnsinsatserna, bör fastställas. Maximalt tillåtna defekter i kapselkomponenter som har betydelse för tillverkningskontrollen måste definieras.

¹ Raiko, Sandström, Rydén, Johansson, 2010

4.2.5 Kapselns barriärfunktion

Krypning och korrosion

Kapselns barriärfunktion i förvaret beror på korrosions-egenskaperna hos metallisk koppar och på kapselns hållfasthet. Kapseln ska motstå isostatisk belastning på 45 MPa (summa av svälltrycket i bufferten, grundvattentryck och hydrostatiskt tryck under en glaciation). Insatsens hållfasthet och kopparhöljets krypduktilitet är då viktiga. Skjuvrörelse hos berget har betydelse för insatsens brottmekaniska egenskaper liksom kopparhöljets brottförlängning och brottseghet (egenskaper hos material som beskriver duktilitet). Skjuvrörelse innebär att det sker en vridning runt ett plan eller en yta, att liknas vid när ett papper rivs sönder. Det är en intensiv deformation som uppstår snabbt, och kan uppgå ända till 5 cm i hög hastighet. I insatsen kan storleken på en kritisk defekt i ett ogynnsamt fall bara vara 4 mm djup, vilket gör insatsen mycket känslig och kommer därigenom att ställa stora krav på oförstörande provning av insatsen.

Kopparhöljets plastiska deformationer (som beror på rörelse i exempelvis det omkringliggande berget) och krypdeformationer (som beror på materialets egen förändring över tid) verkar generellt vara små, men i de mest kritiska ställena i locksvetsarna kan stora lokala töjningar uppstå (upp till 30 %). En maximal plastisk töjning i kopparhöljet kan överstiga 20 %, samma storleksordning som vid krypning.

Krypning av kalldeformerad koppar bidrar till den totala deformationen efter skjuvrörelse. Krypegenskaperna hos kopparhöljet och speciellt i svetsgodset blir nu dominerande och Kärnavfallsrådet anser att SKB behöver utreda konsekvenserna av höga lokala töjningar i kapseln med stor noggrannhet.

Kopparkorrosion har diskuterats mycket under senaste året. De lika viktiga krypegenskaperna hos koppar har också undersökts noggrant, men en validerad krypmodell fattas ännu. Speciellt krypduktiliteten hos koppar minskar med ökande kalldeformation. (Kalldeformation uppstår av olika skäl, exempelvis vid tillverkning eller på grund av bergskjuvning). Om kopparhöljets integritet kan upprätthållas under olika belastningar i förvaret måste detta visas genom krypmodellering.

Hållfasthet

Insatsens hållfasthet uppfyller hållfasthetskraven och analyserna har visat att insatsen har hög skadetålighet vid isostatisk belastning ända till kollaps. Men speciellt i samband med bergskjuvning kan ganska små defekter i insatsen initiera sprickbildning. De tekniska specifikationerna för insatsens materialduktilitet (brottöjning och brottseghet) bör därför utvecklas. De krav som i dag ställs på insatsens mikrostruktur medger att 20 % så kallad icke nodulär grafit (chunky grafit) kan accepteras, vilket motsvarar flera ton. Det är inte acceptabelt att godkänna ett sådant material i insatsen, utan att bestämma dess egenskaper.

Materialegenskaper som är möjliga att uppnå vid tillverkning är inte ännu kartlagda och en stor spridning av materialegenskaperna även inom en insats kan förväntas. De tekniska tillverknings-specifikationerna för insatsen måste utformas med hänsyn till variationer i materialstruktur inom acceptabla gränser i stora gjutgoods. Förekomst av materialdefekter är oundvikliga och det är viktigt att kartlägga olika former av defekter i insatserna.

Förslutning och oförstörande provning

Svetsprocessen bör utvecklas för att undvika defekter i svetsgodset (oxidinneslutningar, foglinjeböjning med mera) genom att använda skyddsgas. Repeterbarhet och tillförlitlighet i svetsprocessen måste vara höga och därför är automatisering av friktionssvetsprocessen mycket viktigt. Svetsprocessfönstret ska vara tillräckligt stort för att undvika olika defekter, speciellt volumetriska defekter (exempelvis porer) som kräver röntgenradiografi, och materialstrukturavvikelse som kan förekomma vid svetsning.

Utvecklingen av oförstörande provningstekniker bör fortsätta för att utveckla tekniken för provning av kapselns komponenter och svetsar – oförstörande provning måste garantera att alla defekter kan provas på ett tillförlitligt sätt. Provning med ultraljud är den viktigaste metoden att upptäcka defekter. Provningssystem som innehåller flera provningsmetoder och provningsprocedurer är viktiga, tillsammans med tolkning och utvärdering av provningsresultaten. Flera provningsmetoder kompletterar varandra.

Variation i strukturen kan speciellt påverka tillförlitligheten av kvalitetskontroll genom ultraljudprovning av kopparhöljet.

Avvikande (lokalt stor) kornstorlek jämfört med omgivningen kan orsaka förhöjd och varierande ljuddämpning, vilket medför att möjligheten att upptäcka dem försämras. Ultraljud är känsligt för variationer i kornstorleken och texturen i kopparhöljet och speciellt i svetsgods. Alla oförstörande provningar måste baseras på konstruktionsförutsättningar och hållfasthetsanalyser enligt praxis som används i kärnkraftverken. I dagens läge kallar SKB provningsmetoderna för kvalitetskontroll av gjutjärnsinsatser och kopparhöljet för preliminära, och utvärderar metodernas tillförlitlighet. De preliminära provmetodernas tillförlitlighet har studerats med avseende på konstgjorda defekter men möjligheten att upptäcka defekterna liksom provningens tillförlitlighet ska fortsatt beskrivas med verkliga naturliga defekter.

4.3 Teknikutveckling buffert

4.3.1 Kärnavfallsrådets slutsatser 2007

I sin granskning av Fud-program 2007 konstaterade Kärnavfallsrådet att mekanisk hållfasthet och kemisk stabilitet för kompakterade komponenter i bufferten ska säkerställas. Vidare påpekade rådet att de viktigaste egenskaperna hos materialet i bufferten bör specificeras och att gränsvärden med avseende på till exempel svällningspotential, retentionsförmåga för radionuklider, kemisk stabilitet, hydraulisk diffusion, motståndskraft mot erosion samt halt av föroreningar (oorganiska såväl som organiska) bör fastställas.

I de krav på installerad buffert som formulerats i Fud-program 2010 finns maximnivåer för totalsvavel, sulfider och organiskt kol fastställda, liksom haltområdet för montmorillonit och densiteten för vattenmättad buffert. Däremot finns inga övriga krav på bentonitens mineralsammansättning inklusive användning av natrium- och kaliumbentonit vilket påverkar buffertens svällningspotential och erosionsegenskaper.

4.3.2 Referensutformning och initialtillstånd

I detta kapitel beskrivs buffertens referensutformning, krav på bufferten för att uppnå initialtillståndet samt teknikutveckling som planeras under kommande år. Parallellt pågår fortsatt forskning och utveckling kring lerbarriärerna.

Buffertens primära uppgifter är att skydda kapseln från strömmande vatten och begränsa de mekaniska påfrestningarna på kapseln vid berggrörelser. Bufferten måste därför ha låg vattengenomsläpplighet (hydraulisk konduktivitet) och utgöra en effektiv barriär mot inflöde av korrosiva ämnen från grundvattnet samt fördröja spridning av radionuklider från en eventuell skadad kapsel. Den måste vara kemiskt och mekaniskt stabil under mycket lång tid och själv kunna reparera möjliga sprickor genom att svälla i vatten.

SKB har formulerat krav på den installerade bufferten som innebär att svälltryck, vattengenomsläpplighet, styvhet och hållfasthet inte ska påverkas negativt av förändringar av temperatur, tryck och berggrörelser. Det innebär bland annat att halten av montmorillonit i materialet ska utgöra mellan 75 och 90 viktsprocent, och organiskt kol ska vara mindre än en viktsprocent. Vidare ska det totala svavelinnehållet vara maximalt en viktsprocent, och den totala halten reducerat svavel ska vara maximalt en halv viktsprocent. Densiteten (tätheten) hos den vattenmättade bufferten ska ligga på mellan 1,95 och 2,05 kg/kubikdecimeter. Temperaturen i bufferten ska vara lägre än 100° C. (Därutöver finns några ospecificerade krav som är relaterade till produktion och drift.)

Det är lätt att förstå orsaken till de flesta av kraven. Halten av svällande mineral (montmorillonit) måste vara tillräckligt hög för att bufferten ska svälla i vatten tillräckligt mycket, och uppnå en hög densitet och en tillräckligt låg vattengenomsläpplighet. Kraven på låga halter av organiskt kol och svavel är relaterade till korrosion av kopparkapseln och dimensionskraven är en konsekvens av buffertens roll som spärr mot transport av korrosiva ämnen och spridning av radionuklider, och som "stötdämpare" i samband med mindre berggrörelser.

Temperaturkravet har samband med att minimera risken för kemisk omvandling till bland annat illit men kommer ändå att leda till andra typer av kemisk omvandling till exempel cementering.

SKB avser alltså att inte ställa några krav på innehållet i bentonitbufferten förutom de ovan uppräknade vilket enligt Kärnavfallsrådets mening inte är tillfredsställande. Bentonit som är ett trivialnamn på en naturlig lera innehåller i allmänhet en lång rad andra mineral som i detta sammanhang kan betecknas som föroreningar men som också kan ha positiva effekter för att upprätthålla funktionskraven på bufferten. En beskrivning av de flesta mineral som förekommer i och tillsammans med montmorillonit och deras egenskaper finns i Kärnavfallsrådets granskning av SKB:s Fud-program 2007². En mycket detaljerad genomgång av de effekter som föroreningar kan förväntas ha i en vattenmättad bentonit finns också i ovanstående rapport och ska inte upprepas här³.

SKB:s intensifierade forskning om cementering och dess inverkan på buffertens styvhet och hållfasthet är en direkt konsekvens av mineralsammansättningen hos bentoniten. De krav på bufferten som formulerats av SKB skulle därför säkrare kunna uppnås om sammansättningen specificeras. Mer detaljerade synpunkter på detta ges i kommentarerna till avsnittet om forskning om buffert och återfyllnad.

Det är naturligtvis möjligt att ställa krav på densiteten hos vattenmättad buffert i förvaret men man kan fråga sig vilket värde detta har om den aldrig kan verifieras. Vattenmättnaden är en mycket komplex process som kan ta flera hundra år och under den tiden kan mycket ske med bentoniten i bufferten. Det betyder att kravet på en snäv gräns för densiteten i en vattenmättad buffert mer kan liknas vid en målsättning.

4.4 Teknikutveckling återfyllning

4.4.1 Kärnavfallsrådets slutsatser 2007

I sin granskning av Fud-program 2007 konstaterade Kärnavfallsrådet att det slutliga valet av material och metod för återfyllning måste vara klart senast i samband med att ansökan om att anlägga ett slutförvar lämnas in. Vidare påpekade rådet att SKB även måste kunna visa att buffert och återfyllning kan uppfylla de initialtillstånd som säkerhetsanalysen utgår ifrån.

² SOU 2008:70 Appendix 2.

³ SOU 2008:70 sid. 59-67.

I Fud-program 2010 redovisas ett koncept på återfyllning som bygger på förkompakterade bentonitblock som inplaceras individuellt och där bentonitpellets sprutas in i gränsområdet mellan blocken och tak och väggar i tunnlarna. Initialtillståndet för vattengenomsläppligheten är satt till en mycket låg nivå och det återstår att visa om denna är möjligt att uppnå.

4.4.2 Tillverkning och installation

Återfyllningslinjen omfattar tillverkning, hantering och installation av återfyllning i deponeringstunnlarna och i deponeringshålets översta delar. Pluggen nära mynningen mot stamtunneln ingår som en del av återfyllningen.

Återfyllningens barriärfunktion är att begränsa vatten-transporten i deponeringstunnlarna vilket av SKB har sammanfattats till krav på en stor begränsning av den hydrauliska konduktiviteten ($< 10^{-10}$ m/s) och en miniminivå på svälltrycket (> 0.1 MPa). Vattengenomsläppligheten förväntas alltså vara lika låg i återfyllningen som i omgivande berg och frågan är om detta är helt realistiskt. Det är oklart hur detta värde står i proportion till det värde som anges för den totala sammanhängande hydrauliska konduktiviteten hos återfyllning i tunnlar, ramper och schakt och i den sprängskadade zon som omger dem ($< 10^{-8}$ m/s)⁴.

Det sägs vidare att återfyllningen ska begränsa buffertens uppåtriktade svällning i deponeringshålet. Krav på detta har Kärnavfallsrådet framfört vid sin granskning av flera tidigare Fud-program⁵, men det är oklart vad detta innebär med avseende på återfyllningens densitet och deformationsegenskaper.

Kärnavfallsrådet ser med tillfredsställelse att SKB i Fud-program 2010 i referensutformningen för återfyllning nu har bestämt sig för ett koncept med bentonitblock och pellets. Kärnavfallsrådet ansåg i sin senaste granskning av Fud-program 2007⁶ att SKB bör ha bestämt sig för val av metod och material senast i samband med att ansökan om anläggning av slutförvar ska inlämnas. Den presenterade referensutformningen innebär att en bentonitlera med en halt montmorillonit inom intervallet 45–90 % ska användas, vilket är en lera av lägre kvalitet än i bufferten. Man kan fråga sig

⁴ $1 \cdot 10^{-10}$ m/s motsvaras av 3 mm/år och $1 \cdot 10^{-8}$ m/s motsvaras av 0,3 m/år.

⁵ Senast i SOU 2008:70.

⁶ SOU 2008:70.

om detta materialval kommer att räcka till för att hindra bufferten att svälla upp ur deponeringshålet.

Troligen måste en lägre halt av svällande mineral i återfyllningen kompenseras med ökade krav på övriga mineral i bentoniten med avseende på sammansättning och partikelstorlek. Ett högt innehåll av kvarts i bentoniten torde betyda en högre genomsnittlig partikelstorlek (kvarts är ett hårt mineral) vilket är positivt, medan ett högt innehåll av mer lösliga mineral (till exempel kalcit, gips och siderit) bör undvikas.

Den mycket låga vattengenomsläppligheten i referensutformningen kräver troligen en lera med hög halt av montmorillonit, om kravet ens är möjligt att uppnå i så stora utrymmen som i deponeringstunnlar där mottrycket från omgivande berg kommer att bli betydligt lägre än i deponeringshålet. Detta gäller inte minst därför att SKB bestämt sig för att tunnarna ska återfyllas med 60 % kompakterade block och 40 % bentonitpellets. Den stora mängden pellets kommer att öka risken för erosion och att kanaler med flödande vatten lätt kan bildas i tunnarna efter förslutningen. Mängden bentonitpellets kan möjligen minskas genom att blocken närmast tak och väggar modifieras och i högre grad anpassas till tunnelperiferin.

Intrycket är att SKB har underskattat problematiken i samband med återfyllningen, och att de krav som ställs på återfyllningen i referensutformningen snarare ska ses som målsättningar än reella krav. Kärnavfallsrådet saknar en analys av konsekvenserna om kraven inte uppfylls. Konceptet för återfyllning innebär också ett ganska komplicerat tekniskt förfarande med betongpluggar som innehåller så kallad låg-pH-cement. Systemet kräver fortfarande mycket utvecklingsarbete av både material och konstruktion och Kärnavfallsrådet kommer att följa det fortsatta arbetet med stort intresse.

4.5 Teknikutveckling förslutning

4.5.1 Kärnavfallsrådets slutsatser 2007

I sin granskning av Fud-program 2007 konstaterade Kärnavfallsrådet att den slutliga utformningen av förslutningen ska bestämmas av bergets egenskaper med avseende på till exempel sprickor på olika djup samt salthalt. Detta förutsätter dock kunskap om vilka

egenskaper olika materialval – och blandningar av material – har och hur dessa kan samverka på bästa sätt.

Forskning och utveckling som specifikt avser teknik för att försluta förvaret har ännu inte genomförts och Kärnavfallsrådets kommentarer till förra Fud-programmet är fortfarande aktuella.

4.5.2 Slutförvarets utrymmen

Förslutning av förvaret omfattar återfyllning och förslutning av alla utrymmen utom de redan återfyllda deponeringstunnlarna, samt förslutning av undersökningshål.

Forskning och utveckling som specifikt avser teknik för att försluta förvaret har ännu inte genomförts. Ett krav på förslutningen innebär att den inte får försämra de övriga barriärernas funktion i någon betydande grad och ska behålla sin barriärfunktion under lång tid och förhindra att strömningsvägar för vatten bildas mellan förvarsområdet och markytan.

I sitt senaste yttrande över SKB:s Fud-program 2007⁷ gav Kärnavfallsrådet synpunkter på de förutsättningar som anges där. Förslutningen måste bland annat säkerställa att återfyllningen i deponeringstunnlarna hålls på plats och att åtminstone de övre delarna av schakt och ramp ska klara perioder med permafrost. Rådet gav också några synpunkter på de materialval som kan göras för olika delar av förslutningen och uttryckte sin förvåning över att de problem som kan uppstå i samband med klimatförändringar på grund av växthuseffekten inte alls diskuteras. Detta görs inte heller i Fud-program 2010, vilket får anses vara ännu mer anmärkningsvärt eftersom ansökningar om anläggning av slutförvar nu har lämnats till SSM.

SKB har i Fud-program 2010 gett en referensutformning för att försluta slutförvarets olika delar vilket Kärnavfallsrådet i sitt yttrande till Fud-program 2007⁸ ansåg vara viktigt för trovärdigheten i säkerhetsanalysens beräkningar. Förslutningen har utformats så att olika typer av material ska användas i olika delar av förslutningen vilket är vad rådet föreslog i sitt yttrande.

Kärnavfallsrådet förutsätter att SKB i sitt val av material för olika delar av förvaret prioriterar att vattengenomsläppligheten

⁷ SOU 2008:70 sid. 70-71.

⁸ SOU 2008:70.

uppfyller det höga krav som SKB själv har satt ($<10^{-8}$ m/s)⁹ även inom områden med höga flöden i vattenförande sprickor.

Rådet vill också upprepa sina slutsatser från sitt senaste yttrande att SKB behöver överväga de problem som kan uppstå under den förväntade klimatförändringen, nivåer och flöden av grundvatten samt förändrad vattenkemi och högre havsnivå – eventuellt även under byggtiden.

Gränstorna mellan återfyllning och omgivande berg kräver särskilda forskningsinsatser för att hitta lösningar som förhindrar erosion och bildande av transportvägar för strömmande vatten.

4.6 Teknikutveckling berg

Kärnavfallsrådet har uppdragit åt professor Ove Stephansson, Steph Rock Consulting, Berlin att bistå rådet med synpunkter avseende utvalda delar i Del III Kärnbränsleprogrammet i SKB:s Fud-program 2010. Stephanssons rapport redovisas i en bilaga till rådets granskningsrapport.

4.6.1 Kärnavfallsrådets slutsatser 2007

Kärnavfallsrådet konstaterade vid sin granskning av Fud-program 2007 att förbättrade kunskaper om bergspänningar på planerat försvarsdjup i Forsmark är nödvändiga. Vidare påpekade rådet att generella studier bör genomföras avseende vilken effekt rådande och förändrade bergspänningar kan ha på vattengenomsläppligheten i sprickor i olika riktningar och därmed konsekvenserna för detaljutformningen av förvaret. Rådet ansåg även att bättre redovisning av den så kallade störda zonens utbredning och egenskaper vid försiktig sprängning bör göras och att en motivering bör ges till varför fullortsborrning övergivits.

Rådet noterar att SKB enligt redovisningen i Fud-program 2010 inte har för avsikt att utföra ytterligare bergspänningsmätningar innan man har möjlighet att göra dessa under jord.

Rådet kan också konstatera att SKB i Fud-program 2010 utförligt redovisar resultaten från utförda försök i Äspölaboratoriet (TASS-tunneln) där man försökt klarlägga störda zonens utbredning och vattenföring. SKB redovisar också sina motiv till

⁹ $1 \cdot 10^{-8}$ m/s motsvaras av 0,3 m/år.

varför konventionell borrhning/sprängning föredras framför fullortsborrning. SKB anser att fördelarna är hög flexibilitet, mogen teknik och jämförelsevis låg kostnad, inte bara för själva berguttaget utan också för efterföljande arbeten.

4.6.2 Bergspänning, värmeledningsförmåga och värmekapacitet

Berglinjen omfattar detaljundersökningar, projektering, byggande och underhåll av kärnbränsleförvarets undermarksutrymmen.

En av de viktigaste kvarstående osäkerheterna för det bergmekaniska utvecklingsarbetet i Forsmark är bergspänningstillståndet. De spänningsmätningar som utförts är metodberoende och ger avvikande resultat. På förvarsdjup är de flesta mätningarna tämligen gamla, utförda när reaktor 3 byggdes¹⁰. SKB ämnar dock att kontinuerligt utföra spänningsmätningar under uppförandet av förvaret, vilket är mycket angeläget.

Även bergets värmeledningsförmåga och värmekapacitet kommer att undersökas under uppförandet och fältmätningssmetoder för dessa mätningar kommer att utvecklas. SKB har testat den finska borrhålssonden TERO i djupborrhålet i kapsellaboratoriet i Oskarshamn, men i Fud-program 2010 framgår inte om det är denna metod som ska vidareutvecklas. Detta anser rådet att SKB bör förtydliga.

4.6.3 Berguttag

Berguttag för uppförandet av slutförvaret för använt kärnbränsle kommer enligt SKB att utföras med konventionella borrhnings- och sprängningsmetoder. Närmare motivering till val av metod kommer att redovisas i samband med SKB:s ansökan om att få bygga förvaret (som vid framtagandet av denna text ännu inte var tillgänglig). Sprängningar innebär att spränginducerade sprickor uppstår. Mätningar av fintätningstunneln i Äspölaboratoriet visar att spränginducerade sprickor går in mellan 0,23 och 0,56 meter i berget, vilket innebär att en potentiellt sammanhängande zon med förhöjd vattentransportkapacitet kan bildas längs en sprängd tunnel. Rådet anser att ytterligare hydrogeologiska undersökningar

¹⁰ e.g. SOU 2008:70; Stephansson, 2011.

bör genomföras för att bestämma vattentransportkapacitet i den sprängstörda zonen.

4.6.4 Värmeledningstransport

I kandidatområdet i Forsmark har berggrundens värmeledande egenskaper undersökts och temperaturutbredningen i berget som genererats av värmen från kapslarna har modellerats, och ligger till grund för det projekterade kapselavståndet. Resultaten från numeriska beräkningskoder och analytiska metoder stämmer väl överens. Modellerna tar även hänsyn till bergspänningarna, portrycket samt sprickornas och förkastningarnas vattengenomsläpplighet under förvarets olika faser. SKB anser dock att tillväxt och sammanlänkning av sprickor som förekommer i deponeringshålens närhet inte är betydelsefulla och går att bortse ifrån. Detta baseras på att området kring hålen är utsatta för kompressions-spänningar, vilket skulle förhindra tillväxt av sprickor (sprickpropagering).

Enligt SKB krävs tensionsspänningar (dragspänning) för att spricktillväxt ska uppstå¹¹. En nyligen utförd modellering¹² har visat att det i närheten av deponeringshålen kan bildas sprickor som växer och förenas med existerande sprickor, om dessa är orienterade i en för sprickbildning gynnsam riktning i förhållande till det rådande spänningsfältet. Spricktillväxt kan även ske då temperaturförhållandena ändras, så kallad termisk belastning, och speciellt i samband med istider. Bildning av nya sprickor och sprickpropagering sker företrädesvis som skjuvsprickor, inte som tensionssprickor, och de leder till högre vattenströmningskapacitet och längre strömningsvägar kring deponeringshålen¹³. De versionerna av simuleringen (3DEC) som SKB har använt för termo-hydro-mekaniska processer kan enligt Stephansson dessutom inte behandla nybildning av sprickor och sprickpropagering i modellerna. Kärnavfallsrådet anser att SKB närmare behöver utreda konsekvenserna av nysprickbildning och sprickpropagering och om detta medför högre vattenströmning kring deponeringshålen.

¹¹ Hökmark, Lönnqvist, Fälth, 2010.

¹² Stephansson, 2011.

¹³ Stephansson, 2011.

4.7 KBS-3H

KBS-3-metoden gör det enligt SKB möjligt att deponera kapslarna vertikalt (KBS-3V) eller horisontellt (KBS-3H). Vertikal deponering utgör SKB:s referenskoncept, men SKB utreder även möjligheten att i ett senare skede övergå till horisontell deponering. Redovisningen i Fud-program 2010 omfattar bakgrund, nulägesbeskrivning och statusrapportering för pågående arbete med att utveckla KBS-3H-konceptet, vilket sker i samarbete med SKB:s motsvarighet Posiva i Finland.

4.7.1 Kärnavfallsrådets slutsatser 2007

I sin granskning av Fud-program 2007 ansåg Kärnavfallsrådet det angeläget att SKB tydliggör sina planer för KBS-3 med horisontell deponering (KBS-3H).

Rådet kan konstatera att SKB i Fud-program 2010 uppfyllt rådets önskemål att tydliggöra sina planer med KBS-3H.

4.7.2 Omfattande utvecklingsarbete

Kärnavfallsrådet konstaterar att det fortfarande återstår ett omfattande utvecklingsarbete innan SKB har tillräckligt underlag för att kunna ta ställning till om KBS-3H skulle kunna vara ett framtida alternativ till KBS-3V.

Med avseende på bergsspänningsfältet skulle en horisontell deponering enligt rådets konsult Stephansson vara mer lämplig än den av SKB föredragna KBS-3V¹⁴. En horisontell deponering i långa borrhål orienterade parallellt med den största maximala spänningsriktningen ger enligt Stephansson de lägsta spänningsmagnituderna runt borrhålet, vilket är gynnsammare för både stabiliteten och den långsiktiga säkerheten hos förvaret.

¹⁴ Stephansson, 2011.

4.8 Kärnavfallsrådets slutsatser avseende Kärnbränsleprogrammet

Nedanstående punkter utgör Kärnavfallsrådets slutsatser:

Kapseln

- SKB bör utveckla slutliga provningsmetoder och acceptanskriterier för kapselns alla delar som beaktar materialstruktur, materialegenskaper och defekter. Kvalitetskraven måste kunna verifieras med oförstörande provningsmetoder.

Bufferten

- SKB uppmanas att beskriva konsekvenserna av om kraven för buffertens initialtillstånd med avseende på vattenmättnad inte är uppfyllda.

Återfyllningen

- SKB uppmanas att redogöra för betydelsen av återfyllningens densitet och sammansättning, för att kravet på att begränsa buffertens uppåtriktade svällning ska uppfyllas.
- SKB bör redogöra för hur kravet på den låga hydrauliska konduktiviteten i återfyllningen ska kunna uppfyllas med bentonitblock med lägre montmorillonithalt än i bufferten.
- SKB bör överväga de problem som kan uppstå vid förslutningen på grund av förväntade framtida klimatförändringar liksom perioder av nedfrysning.

Berget

- Kärnavfallsrådet anser att SKB närmare behöver utreda konsekvenserna av nysprickbildning och sprickpropagering och om detta medför högre vattenströmning kring deponeringshålen.

- SKB bör förtydliga vilken metod för värmeledningsförmåga och värmekapacitet som man planerar att vidareutveckla.

KBS-3H

- SKB uppmanas att fördjupa utvecklingsarbetet av KBS-3H metoden.

Referenser

Hökmark H, Lönnqvist M, Fälth B, 2010. *THM-issues in repository rock. Thermal, mechanical, thermo-mechanical and hydro-mechanical evolution of the rock at the Forsmark and Laxemar sites*. SKB TR-10-23, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

Raiko H, Sandström R, Rydén H, Johansson M, 2010. *Design analysis report for the canister*. SKB TR-10-28, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

Stephansson O, 2011. *Synpunkter på valda delar av SKB:s Fud-program 2010*. Rapport till Kärnavfallsrådet.

Slutförvaring av kärnavfall, *Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud-program 2007*. SOU 2008:70.

5 Forskning för analys av långsiktig säkerhet

5.1 Bakgrund

SKB presenterar i Fud-program 2010 en övergripande struktur för de forskningsområden som har koppling till långsiktig säkerhet (bränsle, kapsel, buffert och återfyllning) och säkerhetsanalyser för slutförvaring av kärnbränsleförvaret (SR-Site) och förvaret för kortlivat låg- och medelaktivt avfall (SFR).

Vissa forskningsområden har enligt SKB en övergripande karaktär utan koppling till något specifikt förvarssystem. Dessa är säkerhetsanalys, klimatutveckling, geosfär och ytnära ekosystem.

SKB konstaterar att framtida klimatförändringar kan innebära glaciation och permafrost, och att klimatet därför indirekt kan påverka barriärerna i slutförvaret (och därmed också utfallet av en säkerhetsanalys). Vidare konstaterar SKB att en mängd processer i berget såsom sprickbildning, grundvattenströmningar, vattenkemi och jordskalv påverkar utfallet av en säkerhetsanalys.

SKB redovisar prioritering av kommande forskningsbehov som delar in området beroende på processtyp och på ingående komponenter i slutförvarssystemet¹. För kärnbränsleförvaret framgår att störst forskningsbehov finns inom bränsleupplösning, deformation och korrosion av kapsel, utveckling och omvandling i buffert och återfyllning, mikrobiella processer i berget samt DFN-utveckling. (DFN är en förkortning för Discrete Fracture Network och kan översättas med ”diskreta spricknätverk”.)

¹ Fud-program 2010, tabell 17–1, sid. 196.

5.2 Säkerhetsanalys

5.2.1 Kärnavfallsrådets slutsatser 2007

Kärnavfallsrådet betonade i sin granskning av Fud-program 2007 vikten av att SKB tydligt redogör för de bedömningar som ligger till grund för platsvalet. Eftersom den långsiktiga säkerheten är den viktigaste faktorn i platsvalet ansåg rådet att den säkerhetsargumentation som ligger till grund för valet av plats måste utgå ifrån två omfattande säkerhetsanalyser (det vill säga två SR-Site) – en för Forsmark och en för Laxemar. Rådet ville därmed betona vikten av att en vetenskapligt korrekt jämförelse görs mellan platserna inför det kommande platsvalet.

SKB:s säkerhetsanalyser ska visa att slutförvarssystemet uppfyller myndigheternas krav på långsiktig säkerhet. Kärnavfallsrådet ville här även betona säkerhetsanalysens interna roll som verktyg, dels för att följa upp förvarets säkerhet under uppförande och drift och dels för att ge riktlinjer för teknikutveckling och forskning. Rådet påpekade att SKB därför behöver säkerställa och visa att återkopplingar och informationsöverföring mellan olika delar av SKB:s organisation fungerar, till exempel avseende den återkoppling som görs från säkerhetsanalys till forskningsprogram, program för detaljerade undersökningar och teknikutveckling.

Kärnavfallsrådet konstaterar nu att det inom ramen för Fud-program 2010 inte har rapporterats några fullständiga säkerhetsanalyser sedan SR-Can. Valet av plats har inte föregåtts av rapporter om omfattande platsspecifika säkerhetsanalyser. Rådet betraktar säkerhetsanalysen som en synnerligen viktig och integrerad del av den ansökan som inlämnades den 16 mars 2011 och kommer att beakta behovet av jämförande säkerhetsanalys i sin bedömning av ansökan.

I avsnitten 5.2.3–5.2.6 i denna rapport (se nedan) diskuteras utförligt rådets uppfattning av vad som gjorts och vad som måste göras beträffande säkerhetsanalysens interna roll liksom betydelsen av denna roll för SKB:s organisation.

5.2.2 Metodik

Beträffande metodutveckling har inget väsentligt nytt tillförts sedan Fud-program 2007 och SR-Can. SKB avser att fortsätta anpassningen av SR-Can-metodiken till säkerhetsanalysen för SFR.

I Kärnbränsleförvaret deponeras standardiserade avfallspaket men avfallet i SFR är mer komplext. Detta ställer andra krav på formuleringen av säkerhetsfunktioner. Rådet finner anpassningen av SR-Can-metodiken till SFR vara en god ambition, men önskar i framtida säkerhetsredovisningar se en diskussion om huruvida de använda säkerhetsfunktionerna tillsammans är tillräckliga och nödvändiga för att garantera förvarets säkerhet.

Tidshorizonten för säkerhetsanalysen för SFR diskuteras inte i Fud-program 2010. Förekomsten av långlivade nuklider i SFR, exempelvis C-14 (se avsnitt 4.2 i denna rapport), visar på behovet att utsträcka analysen bortom 10 000 år. Det tar 40 000 år för aktiviteten av C-14 i förvaret att reduceras till en hundradel av den ursprungligen aktiviteten. Rådet förutsätter att tidshorizonten utsträcks så att säkerhetsanalysen ger en korrekt bild av dosriskerna från långlivade nuklider.

5.2.3 Säkerhetsanalysens roller

SKB identifierar både *externa* och *interna* roller för säkerhetsanalysen. I sitt yttrande till Fud-program 2007 instämde Rådet i denna rollfördelning.² Målsättningen för den externa rollen är att ge samhället underlag för att bedöma den långsiktiga säkerheten hos ett slutförvar. Rådet fann i sitt yttrande till Fud-program 2007 att säkerhetsanalysen för denna roll är välutvecklad och dokumenterad. Rådet efterlyste emellertid diskussion och dokumentation av de två *interna* rollerna:

- Management-verktyg för uppförande och drift (genomförandeskedet)
- Management-verktyg för naturvetenskaplig forskning och teknikutveckling (FoU)

I sitt yttrande över Fud-program 2007 fokuserade Kärnavfallsrådet på säkerhetsanalysen som styrinstrument för forskning och teknikutveckling. Den kritik rådet riktade mot transparensen i återkopplingen från säkerhetsanalys till FoU program kvarstår; Fud-program 2010 visar lika litet som Fud-program 2007 hur denna återkoppling går till och kommer att gå till i framtiden, och rådet hänvisar i denna punkt till sitt yttrande över Fud-program

² SOU 2008:70.

2007. Rådet vill i det följande fokusera på säkerhetsanalysens roll i genomförandeskedet, det vill säga den första av de två interna rollerna.

SKB understryker vikten av säkerhetsanalysens interna roll i genomförandeskedet. SKB konstaterar att verksamheten ”under uppförande och driftsättning /.../ delats upp i två iterativa huvudprocesser”, säkerhetsanalys och uppförande³. Rådet finner denna uppdelning rimlig. Den återspeglar det faktum att förvarets uppgift är att producera säkerhet inte bara under överskådlig tid utan under oöverskådlig tid.

Det unika för förvaret som industriellt projekt är att produktiviteten aldrig kommer att kunna mätas och kontrolleras i fysiska eller ekonomiska termer, utan kontroll av förvarets produktivitet kan endast göras mot en datorsimulering, det vill säga mot säkerhetsanalysen. Slutsatsen av detta är att *relationerna mellan de två huvudprocesserna* är av fundamental betydelse. Rådet anser att forskning och utveckling för att förstå och hantera dessa relationer är utomordentligt viktiga och bör lyftas in som en viktig post i Fud-programmet. Som en förberedelse inför ett eventuellt positivt beslut om SKB:s ansökan bör ett forskningsprojekt med inriktning på dessa relationer komma igång så snart som möjligt.

SKB inför två begrepp för att hantera relationerna mellan de två huvudprocesserna: *initialtillstånd* och *konstruktionsförutsättningar*. Begreppen diskuteras i de två följande avsnitten. Rådet avser att återkomma med ytterligare synpunkter på relationerna mellan huvudprocesserna.

5.2.4 Begreppet initialtillstånd

SKB för in ”Initialtillstånd” som det grundläggande begreppet för att hantera relationerna mellan huvudprocesserna Uppförande och Säkerhetsanalys. Genomgående för presentationen i Fud-program 2010 är att initialtillståndet är utgångspunkten för säkerhetsanalysen. Begreppets betydelse för processen Säkerhetsanalys är således klar. Kärnavfallsrådet efterlyser en motsvarande klar definition av relationen mellan initialtillstånd och processen Uppförande. Allmänt tycks SKB mena att initialtillståndet representerar förvarets tillstånd vid förslutning. För SFR konstateras att initialtillståndet ”definieras som det tillstånd som

³ Fud-program 2010 sid. 113.

råder i SFR vid förslutning” (Fud-program 2010, sid. 223). Frågan är vad som menas med ”vid förslutning”.

Det är önskvärt att initialtillståndet så långt som möjligt verifieras genom direkta mätningar. Detta innebär att initiala variabelvärden hos strategiskt viktiga barriärkomponenter fastställs oberoende av resultat framräknade från datormodeller, vilka kan innehålla osäkra moment relaterade till exempelvis hur barriärkomponenter beror av varandra. Verifiering genom mätning ”vid förslutning” kompliceras emellertid av att förslutning är en process utdragen i tiden. Det kan därför vara lockande att ge upp kravet på mätning när förvaret försluts. Beträffande buffert och återfyllning konstaterar exempelvis SKB att ”Det förväntade initialtillståndet hos olika variabler beror på hur buffert och återfyllning utvecklas efter installation och bestäms genom analyser”⁴. Eftersom sådana analyser anses kunna sträcka sig långt in i framtiden, löser inte detta problem med tidpunkten för initialtillståndet. SKB rapporten *Design premises for a KBS-3V repository* (TR-09-22) föreslår exempelvis konstruktionsförutsättningar som gäller buffertens densitet vid vattenmättnad, något som i Forsmark skulle inträffa först efter flera hundra år. Detta resulterar i ett initialtillstånd utdraget i tiden där de initiala värdena för olika komponenter och även olika variabler för dessa komponenter refererar till olika tidpunkter.

Kärnavfallsrådet anser att två rimliga krav på begreppet ”initialtillstånd” är dels att det refererar till tillståndet hos förvarets komponenter vid en och samma tidpunkt, dels att informationen om detta tillstånd så långt som det är tekniskt möjligt bygger på mätningar vid eller nära denna tidpunkt. Detta innebär att SKB måste utveckla ett mätprogram, som gör det möjligt att följa utvecklingen i buffert, deponeringshål och deponeringstunnlar efterhand som tunnarna försluts. Med nuvarande utveckling av miniatyriserade mätton och mätteknik bedöms ett mätprogram inte riskera att störa komponenternas barriärfunktion.

Kärnavfallsrådet bedömer att begreppen initialtillstånd och konstruktionsförutsättningar kan ge en god bas för att hantera relationerna mellan de två huvudprocesserna Säkerhetsanalys och Uppförande. Det krävs emellertid en systemanalys dels av relationerna mellan de två begreppen, dels av deras relationer till de två huvudprocesserna. Målet för analysen är att få stringenta

⁴ Fud-program 2010 sid. 277.

definitioner och klara applikationer, som kan användas för tydliga och kvalitetssäkrade kommunikationer mellan de två huvudprocesserna. Krav på konstruktionsförutsättningar samt organisation och projektstyrning för att realisera initialtillståndet diskuteras i följande två avsnitt.

5.2.5 Konstruktionsförutsättningar

Kärnavfallsrådet konstaterar att SKB påbörjat arbetet med att ur resultaten från säkerhetsanalysen härleda konstruktionsförutsättningar⁵. Dessa konstruktionsförutsättningar utgör de krav som förvarets komponenter måste uppfylla för att förvaret vid förslutning ska befinna sig i det initialtillstånd som säkerhetsanalysen förutsätter. Sammantaget utgör konstruktionsförutsättningarna en *byggnorm* för förvaret.

Arbetet med byggnormen måste fortsätta och bör ses som en del av Fud-programmet. Kvarstående osäkerheter om utfallet av forskning och teknikutveckling⁶ och om bergets egenskaper medför att byggnormen kommer att behöva kontinuerligt uppdateras under hela genomförandeskedet, samtidigt som varje enskild konstruktionsförutsättning måste vara realistisk, verifierbar och enkel att tolka inom hela projektorganisationen. Detta tillsammans med den nära relationen till den avancerade säkerhetsanalysen kommer att kräva ytterligare metodutveckling utöver den som gjorts i TR-09-22⁷. Rådet anser att arbetet med byggnormen ska lyftas in i och ses som en väsentlig del av forsknings- och utvecklingsprogrammet för långsiktig säkerhet.

5.2.6 Realisera initialtillståndet

Uppförande och driftsättning ska realisera byggnormen. Detta kommer att kräva omfattande planering och kontroll av varje länk i kedjan av aktiviteter för bergbyggnad, konstruktion av tekniska komponenter och deponering. Fokus hamnar på organisation, projektstyrning och samspelet människa-teknik-organisation. Kärnavfallsrådet understryker behovet av systematiska studier av hur organisationen ska se ut för att garantera att den fastställda

⁵ SKB, 2009.

⁶ Fud-program 2010 sid. 196–197.

⁷ SKB, 2009.

byggnormen följs och att det önskade initialtillståndet uppnås, under de speciella förhållanden som råder för uppförandet av ett slutförvar. Rådet anser att sådana studier bör komma igång så snart som möjligt, så att kunskapen finns inför ett eventuellt tillåtlighetsbeslut för ett KBS-3-förvar i Forsmark.

5.3 Klimatutveckling

5.3.1 Kärnavfallsrådets slutsatser 2007

I granskningen av Fud-program 2007 pekade Kärnavfallsrådet på att SKB behöver överväga de problem som kan uppstå under den förväntade klimatförändringen, till exempel högre nivåer och flöden av grundvatten samt förändrad vattenkemi och högre havsnivå, sannolikt redan under byggtiden.

Vidare ansåg rådet att SKB:s klimatforskning bör utvecklas efter tre olika tidsskalor: de närmaste 100 åren, de efterföljande 1 000 åren och de därpå kommande 100 000 åren, samt att resultaten måste beaktas i planering, projektering och byggande av slutförvaret. Rådet påpekade att hänsyn inte alltid tagits till den nya kunskapen om klimatförändringarna.

Kärnavfallsrådet noterar nu att SKB i Fud-program 2010 beaktat rådets frågeställning om havsyteökningen under byggtiden. Däremot har SKB inte följt rådets uppmaning att utveckla sin klimatforskning i tre olika tidsskalor. Synpunkten från 2007 kvarstår att SKB inte alltid tar hänsyn till ny kunskap om klimatförändringar.

5.3.2 Forskningsläget

Kärnavfallsrådet har uppdragit åt professor Per Möller, Lunds universitet, att bistå rådet med synpunkter på kapitel 19, Klimatutveckling, i SKB:s Fud-program 2010. Möllers rapport redovisas som en bilaga till rådets granskningsrapport. Nedanstående kommentarer utgör ett urval av synpunkter från Möller.

Möller konstaterar att betydande framsteg i redovisningen och förståelsen av klimatutvecklingen under den senaste istidscykeln har skett mellan Fud-programmen 2007 och 2010. Möller anser att kommande istidscykler mycket väl kan innebära både större och mindre ismaktighet (tjocklek på islagret) liksom att nuvarande och

kommande mänsklig påverkan av atmosfären kan ge stor påverkan på den naturliga klimatvariationen och i förlängningen innebära betydande avvikelser i glacial utveckling jämfört med SKB:s angivna referensutveckling.

Under rubriken inlandsisdynamik och glacial hydrologi ifrågasätter Möller den revision om glacial utveckling i Skandinavien som SKB presenterar i Fud-program 2010. Möller menar att det inte på något sätt är ovedersägligt fastslaget att det rådde isfria förhållanden i stora delar av Skandinavien under den period som kallas Marina Isotopstadium 3, det vill säga för 50 000 år sedan. Möller konstaterar också att geologiska data, lika välunderbyggda i stratigrafi och kronologi som de data som presenteras i sex referenser i Fud-programmet går helt emot dessas uppfattning om isutbredningen under denna period.

Forskningsläget, såsom Möller ser det, är att två glaciationsmodeller fortfarande står emot varandra, där antingen den ena eller den andra är fel på grund av osäkerheten i dateringar av geologiska successioner. Möller betonar att forskningsläget inte är så klart som SKB ger intryck av.

5.4 Kapsel

5.4.1 Kärnavfallsrådets slutsatser 2007

Kärnavfallsrådet påpekade i sin granskning av SKB:s Fud-program 2007 att det behövs fortsatta korrosionsstudier inom olika områden: accelererade långtidsförsök för spänningskorrosion, allmän korrosion i klorid- och sulfidhaltiga vatten med bentonit, och mikrobiell korrosion. Vidare ansåg rådet att mekanismer av kopparkorrosion i syrefritt vatten måste undersökas experimentellt för att bevisa om korrosion av koppar genom väteutveckling kan ske i rent, avjoniserat, syrefritt vatten och i grundvatten med bentonit.

SKB har tagit den senaste tidens diskussioner om förutsättningar för korrosion av kopparkapseln i slutförvaret på allvar och har nu initierat öppna experimentella försök vid ett antal laboratorier i Sverige och i Finland. Experimenten redovisas för en referensgrupp där kritiska forskare, miljöorganisationer och kommunrepresentanter ingår.

Kärnavfallsrådets synpunkter vad gäller kopparkorrosion är alltså i huvudsak väl tillgodosedda.

5.4.2 Bakgrund

Kopparkapseln utgör den viktigaste barriären i KBS-3-systemet, eftersom den förväntas vara helt tät och korrosionsbeständig. Fullständiga kunskaper om mekanismer, hastigheter och drivkrafter för kopparkorrosion under de förhållanden som råder i slutförvaret är nödvändiga. Väl underbyggda data om olika former av kopparkorrosion i slutförvarsmiljö är viktiga för allmänhetens förtroende för KBS-3-metoden.

5.4.3 Korrosion

SKB:s fortsatta forskningsprogram med avseende på kopparkorrosion omfattar både modellering och experimentella studier i såväl laboratorium som under mer förvarsliknande förhållanden. Forskningen syftar till att undersöka om kopparkapseln har tillräckligt goda egenskaper med avseende på korrosion och hållfasthet i slutförvaret. Enligt Fud-program 2010 kommer följande områden av kopparkorrosion att studeras:

- Kopparkorrosion och spänningskorrosion i systemet sulfid/vatten
- Kopparkorrosion i kompakterad bentonit
- Kopparkorrosion i förvarsliknande miljöer (LOT och MinCan)
- Kopparkorrosion i syrefritt vatten
- Oberoende experimentella försök för att upprepa resultaten från Hultquist et al, 2011⁸.

Kärnavfallsrådet ser med tillfredsställelse att SKB tar kopparkorrosionsforskningen på allvar och satsar mer på studier av kopparkorrosion. Studierna av kopparkorrosion under förvarsliknande förhållanden innebär att man vill undvika den problematik som hänger samman med tolkningen av resultat från mer kortvariga och begränsade laboratorieförsök. Det är viktigt att få

⁸ Hultquist et al., 2011.

fördjupad kunskap om utvecklingen av miljön i kompakterad bentonit och hela systemet i slutförvaret och hur detta påverkar korrosionshastigheten.

5.4.4 Krypning

Kapseln kommer under funktionstiden att deformeras mekaniskt av yttre belastning bland annat genom tryck från svällande bentonit. Krypning i koppar är en annan mekanism som kan skada kopparkapseln i slutförvaret. Kopparkapselns krypegenskaper måste studeras genom att ta hänsyn till friktionssvetsens egenskaper och de effekter av kallbearbetning som av olika skäl kan uppstå lokalt i kapseln. I samband med bergskjuvning uppkommer en plastisk deformation i kopparkapseln och samverkan mellan den plastiska deformationen och krypning blir mycket viktig. SKB har konstaterat att även om ett homogent grundmaterial av koppar inte är känsligt för artificiella brottsanvisningar gäller detta inte svetsgods som har en mycket heterogen materialmikrostruktur och verkliga svetsdefekter.

Erfarenheter från olika kraftverk och från laboratorieförsök med svetsar har visat att vid krypning är deformationen lokaliserad till den heterogena mikrostrukturen av svetsen. Vid krypning i svetsen kan den globala deformationen vara avsevärt mindre än den lokala men i något kritiskt område i svetsen kan den lokala krypdeformationen vara mycket högre. Krypegenskaper hos kopparkapseln kan inte fastställas utifrån de resultat som har fåtts vid kryptestning av ett homogent grundmaterial av koppar. Krypegenskaper hos en heterogen mikrostruktur av friktionssvetsen behövs för modellering och analys.

Utveckling av kryptöjning i svetsen är komplicerad på grund av exempelvis varierande mikrostruktur, restspänningar och kallbearbetningsgrad, samt den mycket långa tidsperioden. Information om ackumulering av krypdeformation tillsammans med kunskap av lokalisering och typ av krypskador är kritiska för att kunna utvärdera krypegenskaper hos kopparkapseln och dess svetsar. Man kan förvänta att stora krypdeformationer kan uppkomma i mycket lokala områden hos svetsen, på grund av den heterogena mikrostrukturen hos friktionssvetsen och den långa tidsperioden.

Kärnavfallsrådet ser med tillfredsställelse att SKB har gjort en bredare ansats i sin krypforskning av koppar, genom att undersöka olika materialtillstånd, fleraxliga spänningstillstånd liksom vilken inverkan väte har på koppars krypegenskaper och eventuell väteförspredning. SKB satsar också mera på kopparkorrosion. Studierna av krypning i svetsar är ännu för få och i fortsättningen måste SKB mycket mera ingående studera krypegenskaper hos friktionssvetsar liksom geometriska diskontinuiteter som visar högsta töjningar i designanalys⁹.

Kärnavfallsrådet ser med tillfredsställelse att SKB har inlett forskning om krypning och om väteets påverkan på materialgenskaper i gjutjärnsinsatsen.

5.4.5 Restspänningar

Restspänningar från tillverkning av kapselkomponenter har ännu inte beaktats med samma allvar. Kärnavfallsrådet anser att restspänningar tillsammans med lokal plastisk deformation (kallbearbetning) är viktiga och måste mätas och analyseras noggrant, speciellt i svetsar hos kapseln men också i gjutjärnsinsatsen. I svetsarna finns också stora variationer i strukturen som kan orsaka lokalisering av deformation och krypning under de yttre mekaniska belastningar som uppstår i komponenterna i slutförvaret. Dessa kan även orsaka höga lokala deformationer som kan leda till oförväntade skador under drift. Spänningskorrosion orsakas oftast också av restspänningar.

5.5 Buffert och återfyllning

I ett så långsiktigt och tekniskt-vetenskapligt utmanande projekt som att anlägga ett säkert slutförvar måste forskningsaktiviteter ha en framträdande roll.

Kopparkapseln är den enda helt täta barriären i KBS 3-konceptet, men den måste skyddas från kemiska och mekaniska angrepp för att kunna fullfölja sin uppgift. Kapseln är alltså "kungen" i förvaret och man kan fullfölja denna metafor genom att betrakta bentonitbufferten som kungens livgarde som ska isolera

⁹ Raiko et al., 2010.

honom från yttre fiender – som i detta fall består av korrosiva ämnen i grundvattnet och rörelser i omgivande berg.

Soldaterna i det kungliga livgardet har ofta handplockats på grund av sina personliga egenskaper vilket i slutförvaret motsvaras av bentonitens egenskaper i form av kemisk stabilitet, svällningsförmåga med mera. Kungliga livgardets organisation ska optimera förutsättningarna för att skydda kungen och motsvaras i förvaret av barriärernas tekniska utformning som består av bentonitblock, ringar och pellets.

5.5.1 Kärnavfallsrådets slutsatser 2007

I Kärnavfallsrådets granskning av Fud-program 2007 konstaterade rådet att transportmodeller för de viktigaste radioaktiva isotoperna (med positiv och negativ laddning) genom bentoniten bör upprättas, och att det krävs särskilda forskningsinsatser för gränsytorerna mellan återfyllning och buffert å ena sidan och berget å den andra.

En av återfyllningens prioriterade uppgifter är att förhindra en uppsvällning av bufferten i deponeringshålen. SKB har inte redovisat om detta ställer särskilda krav på materialsammansättningen av bentonitblocken i återfyllningen. Gränsområdena mellan bentonitblocken och berget ska tätas med pellets, men detta koncept innebär risker för erosion. Transportmodeller för de viktigaste radionukliderna är fortfarande inte ett prioriterat område.

5.5.2 Processer i buffert och återfyllning

Bentonitblock och pellets är alltså mycket centrala komponenter i buffert och återfyllning och det är naturligt att de är föremål för självständiga forskningsprogram. Det finns ett antal processer i buffert och återfyllning som är avgörande för deras långsiktiga funktion och några av dem redovisas i nedanstående punkter:

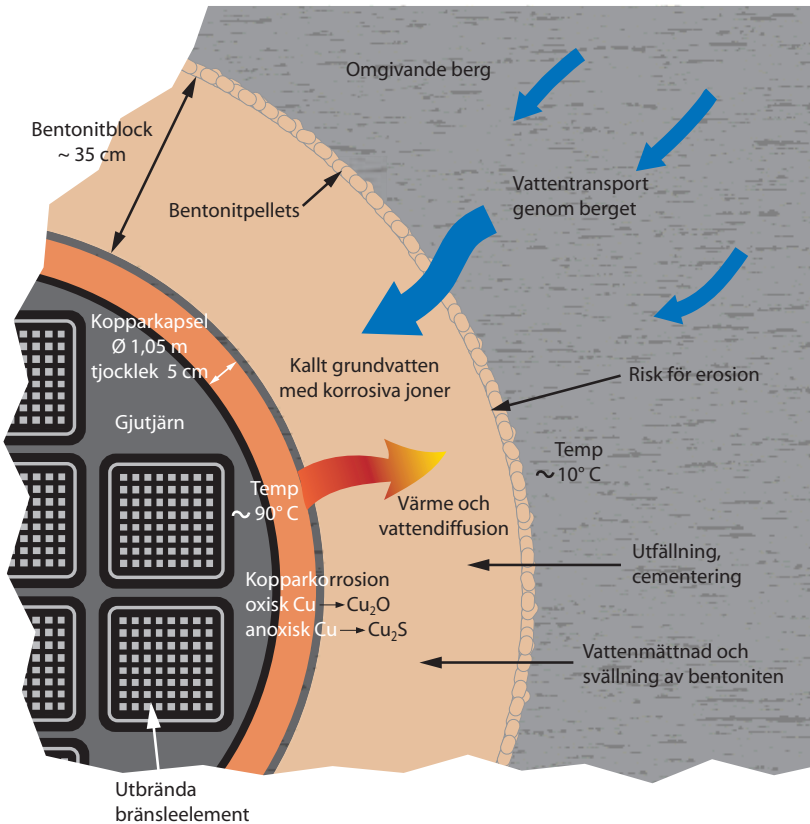
- Bufferten vattenmättas och sväller varvid ytterligare transport av vatten minskar radikalt medan buffertdensiteten ökar och liksom trycket mot kapsel och omgivande berg.

- Löst syre i buffert och grundvatten förbrukas genom reaktioner med olika föroreningar i bentoniten.
- Korrosiva ämnen och joner i grundvattnet filtreras vid transporten genom bufferten genom adsorption, utfällning och jonbyte.
- Vissa mineral i bentoniten upplöses och transporteras innan de åter fälls ut, vilket kan påverka buffertens mekaniska egenskaper (cementering).
- Eventuella radionuklider från en skadad kapsel adsorberas i bufferten så att transporten fördröjs.

Vattenmättnad och vattentransport

Vattenmättnaden av buffertblock och pellets är ett komplicerat förlopp som beror på en rad parametrar som temperatur (temperaturgradienten i deponeringshålet, se figur 1), densitet, montmorillonithalt, tillflöde av grundvatten och tid. Tiden för fullständig vattenmättad kan säkert variera från några få år till flera hundra år beroende på tillgång på grundvatten. I ett förhållandevis torrt berg som i Forsmark kommer bufferten i deponeringshålen att ibland stå i kontakt med en relativt varm kopparkapsel under lång tid vilket kan påverka dess mekaniska och kemiska egenskaper negativt.

Figur 1 De tekniska barriärerna. Illustration: Willis Forsling och Jonas Nilsson.



En vattenmättad bentonit innehåller säkert en rad olika typer av vatten till exempel porvatten som finns i hålrummen mellan olika mineralpartiklar, interkalerat (adsorberat) vatten mellan skikten i svällande mineral (montmorillonit), adsorberat vatten på partikelytor och kemiskt bundet vatten i utfällda mineral. Hur den inbördes relationen mellan dessa typer påverkas av ovan nämnda parametrar (temperatur, tid och vattenmättnad) bör vara ett område för SKB:s forskning. Mängden porvatten är sannolikt en funktion av partikelstorleksfördelning i bentoniten som i sin tur beror på mineralsammansättningen. Rådet har i tidigare

granskningar uppmanat SKB att redovisa ett kvalitetsprogram som omfattar den totala mineralsammansättningen i bentonit¹⁰.

Det är tillfredsställande att SKB förutser en omfattande forskningsinsats inom vattenmättnad av bentonitbufferten som funktion av bergets egenskaper och olika buffertparametrar som mineralsammansättningar med mera.

Vattentransporten under både omättade och mättade förhållanden utgör naturligtvis en av de mest centrala parametrarna för funktionen av buffert och återfyllning på lång sikt. Vattengenomsläppligheten genom buffert och återfyllning måste hållas på en mycket låg nivå under hela förvarstiden. En mycket lång period för att åstadkomma fullständig vattenmättnad innebär risker för att bufferten torkar ut och förändras både kemiskt och mekaniskt.

Buffertens värmeledningsförmåga sjunker när den torkar ut, vilket ytterligare förlänger tiden för att minska temperaturskillnaderna mellan inre och yttre delar av bufferten.

Frysning av bentonit

Den långa förvarstiden innebär att det periodvis kommer att vara mycket kallt och att bentoniten i återfyllningen delvis kommer att frysa. Den lägre halten av svällande mineral i återfyllningen kommer att leda till en annan vattenfördelning än i bufferten, det vill säga mer porvatten och mindre adsorberat vatten. Detta kommer i sin tur att påverka frysegenskaperna och leda till "utfrysning" av salter och föroreningar i återfyllningen. SKB uppmanas att göra frys- och tiningsförsök på bentonit med lägre svällningsförmåga på samma sätt som motsvarande studier av buffertbentoniten.

Mineralomvandling och cementering

I Kärnavfallsrådets senaste kunskapslägesrapport beskrivs några processer som måste tas i beaktande vid modellering av vattenmättnaden av buffert och återfyllnad¹¹. Bentoniten innehåller förutom montmorillonit en rad andra mineral som alla har olika

¹⁰ T.ex. SOU 2008:70.

¹¹ SOU 2011:14.

egenskaper med avseende på partikelstorleksfördelning, löslighet, hårdhet, adsorptionsförmåga med mera¹², och den ovan beskrivna temperaturgradienten i deponeringshålet innebär att värme och uppvärmt vatten kommer att transporteras ut från kapseln medan kallt grundvatten sugas in från omgivande berg. Resultatet blir att joner från de mineral som är mer lösliga i varmt vatten kommer att diffundera ut från kapseln medan mineraljoner från till exempel kalcit och gips kommer att transporteras in i bufferten mot kapseln genom att de är mer lösliga i kallt vatten.

Dessa processer kan pågå under relativt lång tid och leder till en viss materialomfördelning i bufferten (cementering) som långsiktigt kan påverka dess mekaniska egenskaper och förmåga som en bra spärr mot transport av vatten och joner.

Kärnavfallsrådet ser mycket positivt på det arbete inom SKB som pågår för att utveckla den så kallade kopplade THM-modellen, men anser att det finns en risk för att SKB underskattar betydelsen av processerna under mättnadsfasen för slutförvarets långsiktiga säkerhet.

Gastransport och erosion

Inom de så kallad Lasgit-försöken i Äspölaboratoriet bedriver SKB för närvarande forskning om gastransport genom bentonit som resultat av korrosion i en eventuellt skadad kapsel. (Lasgit = Large scale gas injection test). Kärnavfallsrådet ser fram mot den redovisning som planeras 2012.

Frågeställningar kring bentoniterosion har blivit allt mer aktuella under den senaste tiden. Kärnavfallsrådet beskrev i sin kunskapslägesrapport 2010 ett par faktorer som påverkar erosionen, nämligen jonstyrkan och fördelningen mellan kalciumjoner och natriumjoner i vattnet ($\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$)¹³. Det finns dock ytterligare riskfaktorer i samband med bentoniterosion.

Kanalbildning och erosion i buffert och återfyllning blir lätt konsekvenser av kontinuerliga inflöden av vatten genom sprickor i berget innan full vattenmättnad har uppnåtts.

Den planerade användningen av en stor mängd pellets i återfyllningen utgör en potentiell risk, eftersom vatteninflödet då

¹² Se t.ex. SOU 2008:70.

¹³ SOU 2010:6.

troligen måste ligga på en extremt låg nivå för att inte orsaka att mer eller mindre omättade pellets hinner erodera eller spolras bort.

SKB uppmanas att minska mängden pellets i återfyllningen genom att utforma bentonitblocken närmast väggar och tak så att de anpassas till den yttre tunnelkonturen och behovet av pellets därmed minskar.

Inhomogen svällning

SKB beskriver i Fud-program 2010 de mekaniska processer som genereras av inhomogen svällning av buffert och återfyllning på ett i huvudsak insiktsfullt sätt. En viktig del i forskningsprogrammet är studier av hur uppsvällningen av bufferten och bentonit-utträngning i sprickor ska begränsas, samt hur olika processer i buffert och återfyllning långsiktigt påverkar hållfasthet och sprödhet. Kärnavfallsrådet stöder ambitionen att bedriva fortsatt forskning.

Mekanismer för transport av vatten och joner

I Fud-program 2010 beskrivs ett antal processer som är viktiga i buffert och återfyllnad nämligen advektion, diffusion, osmos, jonbyte/sorption samt montmorillonitomvandling. Advektion och osmos har framför allt kopplingar till transport av vatten medan diffusion huvudsakligen utgör en process för transport av vatten, gas och komplexjoner. Transportmekanismen för komplexjoner och radionuklider är också beroende av jonbytesreaktioner och sorption (både adsorption och utfällningar) och Kärnavfallsrådet har i tidigare yttrande uppmanat SKB att upprätta mer sofistikerade transportmodeller för viktiga radionuklider. En närmare motivering för detta finns i Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud-program 2007¹⁴, och eftersom jonladdningen (positiv eller negativ) kommer att ha en stor betydelse för transporthastigheten genom bufferten borde den parametern finnas med i Fud-program 2010. En eventuell skada på kopparkapseln, som kan leda till utsläpp av radionuklider, kommer troligen att ske under syrefria förhållanden, vilket påverkar speciationen. (Speciation är den kemiska form som ett visst ämne har.)

¹⁴ SOU 2008:70.

Det är viktigt att bentonitens affinitet för (dragningskraft på) vatten inte påverkas negativt genom att kaliumjoner från betong och fältspater adsorberas mellan siloxanskikten i montmorillonit¹⁵. Det gäller framför allt om bentoniten kommer i kontakt med vatten vid höga pH-värden under längre tid, vilket ökar lösligheten av silikater som montmorillonit.

Joniserande strålning och radiolys

Bentoniten i deponeringshålet kommer att utsättas för höga doser av joniserande strålning som teoretiskt kan påverka montmorilloniten negativt och försämra dess egenskaper. En annan tänkbar konsekvens av gammastrålningen genom kapseln är att vatten sönderdelas genom radiolys som bland annat bildar OH-radikaler, syrgas och vätgas. Enligt SKB är effekterna av båda dessa processer försumbara. Kärnavfallsrådet gör för närvarande ingen annan bedömning, men dessa båda processer utgör dock orosmoment och samtalsämne för många enskilda personer som är engagerade i slutförvarsfrågan.

Mikrobiella processer

SKB har lagt ner stora resurser under lång tid på att studera mikrobiella processer i framför allt bentonitbufferten. Mikroberna kan bland annat åstadkomma reduktion av sulfat- till sulfidjoner, men i Fud-program 2010 har resonemanget kring deras negativa inverkan begränsats till att gälla gränsområdet mellan buffert och kopparkapsel. Mikrobernas aktivitet har ansetts stå i omvänd proportion mot buffertens densitet, och det finns därför anledning att förvänta sig en större bakteriell aktivitet i återfyllningen och i bufferten under perioder med partiell vattenmättnad.

Radionuklidtransport

Huvuddelen av eventuell radionuklidtransport genom bufferten förväntas ske genom diffusion i framför allt syrefri miljö. Transporthastigheten beror på vattenmättnad och kemiska

¹⁵ Se SOU 2008:70 bil. 3.

förhållanden i bufferten samt på radionuklidernas speciation som leder till olika transportmekanismer.

Eftersom en av buffertens viktigaste uppgifter är att förhindra (eller i varje fall fördröja) transport av radionuklider vid en eventuell skada på kapseln, bör transporthastighet och transportmekanismer för de viktigaste radionukliderna studeras och presenteras i säkerhetsanalysen.

Betydelsen av spridning av radionuklider genom adsorption på kolloidala partiklar, (partiklar som är mindre än 0,001 mm), ska inte heller underskattas, och Kärnavfallsrådet ser positivt på de studier som gjorts av buffertens filtrerande förmåga på oorganiska och organiska nanopartiklar.

5.6 Geosfären

Kärnavfallsrådet har uppdragit åt doktor Lars Marklund, Marksman Consulting, Sörberge, att bistå rådet med synpunkter avseende hydrologiska processer och DFN (discrete fracture network) modellering, det vill säga modeller över spricknätverk¹⁶. Marklunds rapport redovisas i en bilaga till rådets granskningsrapport.

Kärnavfallsrådet har även uppdragit åt professor Ove Stephansson, Steph Rock Consulting, Berlin att bistå rådet med synpunkter avseende kapitel 25 Geosfären i SKB:s Fud-program 2010. Även Stephanssons rapport redovisas i en bilaga till rådets granskningsrapport.

5.6.1 Kärnavfallsrådets slutsatser 2007

I Kärnavfallsrådets granskning av Fud-program 2007 konstaterade rådet att det är nödvändigt med ytterligare forskning och utvecklingsarbete vad gäller injektering för tätning av sprickor, det vill säga hur och med vilket material sprickor ska tätas. Rådet ansåg även att en tidplan för olika moment i detta program bör redovisas.

Vidare pekade rådet på att ytterligare aspekter om förändringar vid öppet förvar bör utredas, såsom förändringar i grundvattenkemin, ”kortslutning”, det vill säga sammankoppling av olika grundvattenförande zoner samt ändrade bergspänningsförhållanden.

¹⁶ Se kapitel 25 Geosfären i SKB:s Fud-program 2010.

Rådet menade också att de ändrade hydrologiska, hydrogeologiska och hydrokemiska förhållandena vid en förväntad klimatförändring bör modelleras. Fortsatt modellering av transport och hydrokemi i det ytnära grundvattnet och i övergångszonen mellan geosfär och biosfär bör genomföras med beaktande av olika klimatscenarier.

Rådet kan nu konstatera att SKB har utfört ett fintättningsprojekt och att detta forskningsprogram fortsätter.

Rådet kan även konstatera att omfattande hydrogeologiska modelleringsstudier utförts, men på grund av det hydrogeologiska systemets komplexitet är osäkerheten i modellerna stora. Grundvattenbildningens storlek är enligt rådet inte tillräckligt tillförlitligt bestämd.

Den yhydrologiska modelleringen har utvecklats med ökad förståelse för grundvattnet i jordlagren och dess kopplingar till ytvatten, atmosfär och grundvatten i berg. Ytvattenmodelleringar har även försett biosfärsmodelleringarna med indata. SKB avser även att studera specifika hydrologiska objekt som representerar de olika stadierna i landskapsutvecklingen.

Rådet noterar att SKB enligt redovisningen i Fud-program 2010 har tagit fram platsspecifika modeller för grundvattenströmning vid olika tidsperioder och vid förändringar mot kallare klimat, samt integrerade hydrogeologiska-yhydrologiska modeller för olika klimatscenarier. En beskrivning om hur grundvattensammansättningen påverkas av olika klimatförändringar kommer att redovisas i säkerhetsanalysen SR-Site och kopplingen mellan hydrogeologi och hydrokemi kommer att göras på ett sätt som liknar metoden som utvecklats för SR-Can.

5.6.2 Grundvattenströmning

Nya modelleringsverktyg har utvecklats, och platsspecifika undersökningar har utförts för grundvattenströmningen i Forsmark. Grundvattenbildningens storlek är dock inte tillförlitligt bestämd. Rådet anser att flera oberoende metoder bör användas för att erhålla mer pålitliga värden. Grundvattenflödesmodelleringarna (under långa tidsperioder) är anpassade till platsspecifik data och i Forsmark har ett högkonduktivt lager inkluderats i modellens övre

del. Med detta lager i modellerna dämpas effekten av den lokala topografin, men i större skala spelar topografin en betydande roll.¹⁷

SKB har utfört en studie om vad förvarets lokala egenskaper har för betydelse för de regionala flödesvägarna. Topprandvillkoret som använts är baserat på grundvatteninfiltration, till skillnad från tidigare studier där det är baserat på grundvattenytans läge. (Topprandvillkoret är det villkor som utgör simuleringsmodellens övre del, i detta fall markytan.) Fluxrandvillkoret som SKB tillämpat är ofta att föredra, men det kräver att det finns representativa infiltrationsdata. (Fluxrandvillkor är specifika vattenhastigheter i simuleringsmodellen.) I fluxrandvillkoren har ytvattenavrinningen använts, men det framkommer inte vad som menas och rådet anser att detta bör förtydligas.

5.6.3 Integrerad modellering

SKB:s forskningsprogram inom hydrogeologi är mycket omfattande. Modellerna är välutvecklade, men eftersom det hydrogeologiska systemet är heterogent finns det stora osäkerheter i modellberäkningarna som täcker större områden. Generellt kan påpekas att SKB bör presentera hur osäkerheter i mätningar och konceptualiseringar hanteras.

5.6.4 Reaktivering – rörelser längs befintliga sprickor

Förskjutningar i fast berg utmed befintliga sprickor är relaterad till storskaliga geologiska plattrörelser (plattektionik) och återjustering av jordskorpan efter senaste nedisningen utmed post-glaciala förkastningar. För att kunna utvärdera berggrundens stabilitet bör enligt rådets uppfattning, kontinuerliga mätserier utföras under långa tidsperioder för att få en bättre uppfattning om eventuella rörelser i berggrunden.

SKB har gjort en konsekvensanalys av magnitud 6 jordbävningar för att bestämma skjuvrörelser hos sprickor i närheten av de, i modellen, seismiskt aktiva större zonerna, det vill säga de zoner där den huvudskaliga rörelsen sker under ett jordskalv. Skjuvrörelser innebär att det sker en vridning runt ett plan eller en yta, att liknas vid när ett papper rivs sönder. Resultatet visar att rörelser utmed

¹⁷ Marklund, 2011.

sprickor belägna 200 meter eller mer från de seismiskt aktiva zonerna är liten och ligger med god marginal under kapselskadekriteriet.

För att uppfylla kapselskadekriteriet ska deponeringshål förkastas om fem eller fler hål genomsätts av en och samma spricka. Det är dock oklart hur strömningsmönstret för ytvatten påverkas om nya sprickor öppnas eller om existerande sprickor sammanlänkas med vattenförande system. Därmed kan andra aspekter vara viktiga än bara kapselskadekriteriet för hur många deponeringshål som förkastas.

Sprickor är potentiellt vattenförande och uppkomst av nya sprickor eller förändringar i existerande sprickors utbredning kan påverka vattnets strömningsmönster genom kanalbildning, vilket kan ha en negativ effekt på förvaret. Det är också oklart för rådet vad sprickorna har för signifikans vid eventuell aseismisk aktivitet (krypning) utmed de större deformationszonerna. Aseismisk aktivitet är när spänning kontinuerligt frigörs genom att det kryper i materialet, till skillnad från när spänning byggs upp och frigörs under en abrupt rörelse med jordbävningar som resultat.

Av förklarliga skäl är den exakta utbredningen och positionerna för alla sprickor i Forsmark inte känd. Sprickornas fördelning, orientering och frekvens är viktiga, inte bara för vattenströmningen, utan även för modeller över andra processer som till exempel glacial hydrologi och bergmekanik. Att få en bättre kännedom om sprickorna är därför enligt rådet mycket angeläget. De modeller och simuleringar som SKB har utfört är lovande¹⁸, men med bättre vetenskap om fördelning och orientering av verkliga sprickor ökar modellernas tillförlitlighet. Denna kunskap kan erhållas med ett tätare nätverk av seismiska profiler (3D seismik). Kärnavfallsrådets rekommendationer är att en sådan undersökning utförs i kandidatområdet.

Under en femårsperiod på 1990-talet undersöktes Forsmarksområdet med avseende på förskjutningar av markytan, oavsett process, med den så kallade *Differential SAR Interferometry* (dInSAR) metoden, en satellitradarteknik¹⁹. Undersökningarna kunde inte påvisa några vertikala aseismiska rörelser (det vill säga "krypningar" i höjdled) utmed geologiska sprickplan. Mätserien är dock begränsad och metoden är inte optimerad för att upptäcka rörelser i sidled, som därmed inte kunde uteslutas. Små rörelser i

¹⁸ Ericsson et al., 2006.

¹⁹ Dehls, 2006.

sidled kan uppmätas med hög precision genom kontinuerliga, stationära GPS-mätningar.

Sedan 2005 utförs GPS-mätningar i Forsmarksområdet och detta mätprogram ska enligt SKB fortsätta. Rådet anser att det är av största vikt att stationära GPS-stationer installeras för att erhålla en högre precision, och att mätningarna sker kontinuerligt under långa tidsperioder. Dessa mätningar bör kombineras med dInSAR eller motsvarande geodetiska metoder, och utplacerade reflektorer för dessa bör installeras. (Med geodetiska metoder mäts geografiska referenspunkter in med hög noggrannhet, och på så sätt kan eventuella förskjutningar av positionerna bestämmas.) Kärnavfallsrådet anser även att det är angeläget att det lokala seismiska nätverket (permanenta markrörelsedetektorer), installeras före byggstart, för att övervaka den lokala förekomsten av mikrojordskalv

5.6.5 Sprickbildning

Vad gäller sprickbildning är redovisningen i Fud-program 2010 motsägelsefull. Samtidigt som uppfattningen om att sprickbildning i närheten av deponeringshålen inte behöver beaktas²⁰ redovisas resultat från bergbrottmekanisk modellering, som visar att sprickbildning och spricktillväxt kan ske vid ändarna av existerande sprickor²¹. Kärnavfallsrådet anser att SKB bör förtydliga konsekvenserna av nysprickbildning och spricktillväxt i anslutning till deponeringshål.

5.6.6 Tidsberoende deformation

Resultat av studier kring tidsberoende deformation i fast berg visar att det finns ett spänningströskelvärde. Detta tröskelvärde är troligen för lågt för att vara rimligt²², vilket innebär att tidsberoende deformation av berget inte helt kan uteslutas. Rådet anser i likhet med Stephansson att betydelsen av denna typ av deformation för förvarets långsiktiga säkerhet bör belysas bättre.

²⁰ Avsnitt 25.2.2 i Fud-program 2010.

²¹ Avsnitt 25.2.8.

²² Stephansson, 2011.

5.7 Ytnära ekosystem

Kärnavfallsrådet har uppdragit åt doktor Lars Marklund, Marksmen Consulting, Sörberge, att bistå rådet med synpunkter avseende akvatiska ekosystem, samt hydrologi och transport²³. (Akvatiska ekosystem är alla organismer och deras fysiska miljö i ett definierat område i söt eller saltvatten. Terrestra ekosystem gäller områden på land.) Marklunds rapport återfinns som en bilaga till rådets granskningsrapport.

5.7.1 Kärnavfallsrådets slutsatser 2007

I Kärnavfallsrådets granskning av Fud-program 2007 konstaterade rådet att ett samlat program för långtidsobservationer av försvarsområdet och dess omgivande miljö måste presenteras – och snarast genomföras – dels för tidsperioden före och under byggskedet, dels för perioden efter förslutningen.

Rådet pekade vidare på att SKB tydligare måste belysa hur resultaten av biosfärbetet integreras i säkerhetsanalysen och MKB-processen och vilken betydelse biosfären kommer att få för lokaliseringen.

Utöver detta ansåg Kärnavfallsrådet att SKB bör ta fram känslighetsanalyser av modelleringsresultaten beträffande biosfären, samt att SKB bör ta fram ett program för modellering av förhållandena vid en förväntad klimatförändring.

Rådet finner nu att de uppfattningar som rådet framförde 2007 delvis har beaktats.

5.7.2 Terrestra och akvatiska ekosystem

I en kortfattad programförklaring för den fortsatta forskningen inom terrestra och akvatiska ekosystem, pekar SKB på inriktningen av denna forskning. Baserat på de senaste årens forskningsresultat har SKB som en av de viktigaste frågorna i detta sammanhang identifierat upptags- och ackumulationsprocesser i våtmarker. Av särskilt intresse är då frågan huruvida framtida våtmarker kan komma att utnyttjas för jordbruk, och i så fall i vilken utsträckning

²³ Jfr kapitel 26 Ytnära ekosystem i SKB:s Fud-program 2010.

radioaktiva ämnen då kan komma att överföras till jordbruksgrödor och vad detta innebär för befolkningen.

I den akvatiska miljön finner SKB, liksom tidigare, att omsättning av kol fortsatt behöver utredas, och speciellt i våtmarker som angränsar till hav eller sjöar.

De ekomodellsystem som används är komplexa och därför är det en svår uppgift att utvärdera och validera modellberäkningarna. Det är därför viktigt att SKB nu avser att validera modellerna med fältdata från Forsmark. I detta arbete bör även ingå känslighets- och osäkerhetsanalyser.

Det är dock fortfarande oklart om SKB härmed avser det samlade program för långtidsobservationer som rådet efterlyste vid granskningen av Fud-rapporten 2007.

Rådet anser att de frågeställningar som tas upp i programmen är relevanta i sammanhanget, men efterlyser samtidigt en omfattande och mer detaljerad beskrivning av de olika projekten. SKB bör även redogöra för hur man avser att utnyttja de modeller man utvecklar i det fortsatta arbetet.

5.8 Andra metoder

5.8.1 Kärnavfallsrådets slutsatser 2007

I Kärnavfallsrådets granskning av Fud-program 2007 konstaterade rådet att det har stor betydelse för tilltron till SKB:s arbete att en samlad och klagörande redogörelse utarbetas kring alternativa metoder för slutförvaring av använt kärnbränsle. Rådet ansåg att SKB borde presentera en sådan redogörelse senast i samband med att bolaget ansöker om tillstånd enligt kärntekniklagen och miljöbalken, samt att SKB i en sådan redogörelse tydligt skulle motivera sina ställningstaganden avseende konceptet djupa borrhål.

Rådet påpekade vidare att det är angeläget att SKB studerar alternativa metoder som kan förväntas vara tekniskt genomförbara och att detta kan visas i samband med miljöprövningen.

Kärnavfallsrådet kan nu konstatera att SKB i Fud-programmet 2010 har angett att motiv saknas för att genomföra ett eget forskningsprogram kring frågan om djupa borrhål²⁴. Som skäl anges att SKB

²⁴ Jfr. sid. 391 i Fud-program 2010.

- anser att ingenting nytt har framkommit som tillräckligt starkt talar för metodens fördel
- av säkerhetsmässiga skäl vill koncentrera sina resurser till KBS3 metoden
- anser att en likvärdig utredning av djupa borrhålsmetoden skulle försena hela projektet med cirka 30 år, vilket inte anses acceptabelt.

Kärnavfallsrådet noterar att SKB har frågan under bevakning, samt att man nyligen gett ut en rapport där man utförligare än tidigare jämför djupa borrhål med KBS-3 metoden²⁵. Rådet anser att detta är ett steg i rätt riktning, men konstaterar samtidigt att alternativa metoder inte utvärderats lika grundligt.

5.8.2 Transmutation och separation

Transmutation och separation är en tänkbar teknik för att avsevärt minska mängden långlivade radionuklider som måste deponeras i ett slutförvar. Detta är en process som är möjlig i teorin och i laboratorieskala, i större skala är tekniken hittills testad i mycket begränsad utsträckning. Kärnavfallsrådet beskrev i korthet tekniken i sin kunskapslägesrapport 2011²⁶. Slutsatsen där var att detta är en intressant metod, men på grund av dess komplexitet görs bedömningen att den måste utvecklas och drivas i ett Europeiskt samarbete. Metoden eliminerar inte heller behovet av ett geologiskt slutförvar, även om det inte kommer att krävas under lika lång tid. Det bedöms också som osannolikt att metoden skulle kunna användas i större utsträckning förrän om mycket lång tid.

Kärnavfallsrådet noterar med tillfredsställelse att SKB stödjer forskning om transmutation och separation vid universitet och högskolor. Kärnavfallsrådet stödjer även målet med forskningen, att granska tekniken ur ett "avfallsperspektiv" och att bedöma om och när det är realistiskt att utnyttja den för att förbättra och förenkla avfallshanteringsprocessen.

²⁵ Grundfelt, 2010.

²⁶ SOU 2011:14.

5.8.3 Djupa borrhål

Det har från Kärnavfallsrådets sida tidigare framhållits att alternativet att deponera avfallet i djupa borrhål är otillräckligt utrett av SKB. Som följd av denna uppmaning har SKB även tagit fram en rapport ”Jämförelse mellan KBS-3-metoden och deponering i djupa borrhål för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle”²⁷. Rapporten utgör en sammanställning av publicerat material och material som tagits fram av egna experter, och syftet är att jämföra förutsättningarna för de båda metoderna. Rapporten presenterades tillsammans med övriga handlingar vid ansöknings-tillfället. I föreliggande Fud-program redovisas sammanfattningsvis studier över deponering i djupa borrhål, från Storbritannien och Nordamerika.

Slutsatsen som redovisas i Fud-program 2010 är dock densamma som tidigare, att deponering i djupa borrhål inte är ett realistiskt alternativ. I SKB:s Rapport R-10-13²⁸, där djupa borrhål jämförs med KBS-3, konstaterar man att den bedömning kvarstår som SKB gjorde för 10 år sedan, nämligen att det skulle ta ytterligare 30 år för att nå samma kunskapsnivå för djupa borrhål som för KBS-3 metoden.

Som Kärnavfallsrådet redovisat i sin kunskapslägesrapport 2011, finns det rapporter från andra aktörer som ser djupa borrhål som ett möjligt alternativ för deponering av avfallet²⁹. Kärnavfallsrådet anser att kompletterande kunskapsinhämtning behövs för att kunna utvärdera om djupa borrhål är ett alternativ till KBS-3 metoden. SKB behöver därför:

- undersöka om fysiska förutsättningar föreligger inom landet
- uppgradera kunskapen om grundvattnets densitetsskiktning så att det åtminstone finns en relevant hydrogeologisk modell av normal svensk berggrund ned till 5 kilometers djup
- uppgradera kunskapen om borrhål och deponeringsteknik samt om förvarets funktion över tid, så att det är möjligt att göra allsidiga och säkerhetsrelaterade jämförelser vid prövning av ansökan.

²⁷ Grundfelt, 2010.

²⁸ Grundfelt, 2010.

²⁹ Åhäll, 2011; Brady et al., 2009.

5.9 Kärnavfallsrådets slutsatser avseende forskning för analys av långsiktig säkerhet

Nedanstående punkter utgör Kärnavfallsrådets slutsatser:

Säkerhetsanalysen

- Rådet förutsätter att tidshorizonten för säkerhetsanalysen av SFR utsträcks så att säkerhetsanalysen kan ge en korrekt bild av dosriskerna från långlivade nuklider.
- Rådet upprepar sitt krav från 2007 att SKB klargör säkerhetsanalysens interna roll som verktyg för att styra FoU och teknikutveckling.
- Rådet anser att SKB snarast ska genomföra en systemanalys för att klargöra relationerna mellan de två iterativa huvudprocesserna Säkerhetsanalys och Uppförande och rollerna för de två nyckelbegreppen Initialtillstånd och Konstruktionsförutsättningar.
- Rådet konstaterar att studier av de processer som ska garantera att initialtillståndet uppfylls är utomordentligt viktiga och anser:
 - att arbetet med att utforma *konstruktionsförutsättningar* ska lyftas in i Fud-programmet och ses som en väsentlig del av rapporteringen av FoU-programmet för långsiktig säkerhet
 - att SKB snarast initierar systematiska studier av hur *organisationen* ska se ut för att garantera att alla konstruktionsförutsättningar följs och önskat initialtillstånd uppnås under de speciella förhållanden som råder för genomförande av slutförvar
 - att SKB utvecklar ett *mätprogram* som gör det möjligt att verifiera utvecklingen i buffert, deponeringshål och deponeringstunnlar efterhand som tunnlarna försluts.

Kapseln

- SKB bör fortsätta korrosionsstudier inom flera olika områden. Forskning är på gång och det är viktigt att slutsatserna är vetenskapligt säkra och att korrosionsdata är tillräcklig

underbyggda, för att ge underlag till en trovärdig analys som garanterar den långsiktiga säkerheten mot korrosion av kapseln.

- Vid krypanalys av kopparkapseln bör mera hänsyn tas till krypegenskaperna hos heterogena friktionssvetsar och geometriska diskontinuiteter som uppvisar de största lokala deformationerna i kopparkapslar enligt designanalysen.
- Gjutjärnsinsatsens materialegenskaper (variation i mikrostruktur och mekaniska egenskaper) behöver utredas vidare. Spridningen av duktilitet och brottseghet i stora gjutgods blir viktigt om skadetålighetsanalysen visar att den kritiska storleken av materialdefekten är liten.

Buffert och återfyllning

- Rådet uppmanar SKB att redovisa ett kvalitetsprogram som omfattar den totala mineralsammansättningen i bentonit.
- Rådet uppmanar SKB att göra upprepade frys- och tiningsförsök på bentonit med lägre halt av montmorillonit på samma sätt som för bentonit i bufferten.
- Rådet uppmanar SKB att utreda betydelsen av en mycket lång period innan full vattenmättnad för buffertens kvalitet på lång sikt.
- Rådet rekommenderar SKB att överväga en sänkning av mängden pellets i återfyllningen genom att anpassa bentonitblocken bättre till tunnlarnas yttre kontur.
- Rådet uppmanar SKB att redovisa transportmekanismer och transporttider genom bufferten för de viktigaste radionukliderna vid ett eventuellt läckage av kopparkapseln.

Geosfären

- Rådet anser att SKB ska förtydliga hur fluxrandvillkoren (ytvattenavrinningen) har använts i modellerna av förvaringsplatsens betydelse för de regionala flödesvägarna.

- Rådet föreslår SKB att utföra seismiska undersökningar i ett tätt nätverk för att skapa en bättre 3D bild av fördelning och orientering av betydande spricksystem i Forsmark.
- Rådet föreslår SKB att upprätta ett lokalt seismiskt nätverk i Forsmark.
- Rådet föreslår SKB att i Forsmark installera stationära GPS stationer samt artificiella reflektorer för dInSAR (satellitradartechnik) och att mätningar av eventuella förändringar av ytan utförs kontinuerligt under lång tid.
- Rådet föreslår SKB att utföra en konsekvensanalys av modellerna för mekaniska bergbrott.

Ytnära ekosystem

- Rådet efterlyser en mer omfattande redogörelse för innehållet i de forskningsprogram kring terrestra och akvatiska ekosystem som planeras.

Andra metoder

- SKB bör undersöka om fysiska förutsättningar för förvaring i djupa borrhål föreligger inom landet, med hänsyn tagen till uppgraderad kunskap om borr- och deponeringsteknik.

Referenser

Brady P, Arnold B, Freeze G, Swift P, Bauer S, Kanney J, Rechar R, Stein J, 2009. *Deep Borehole Disposal of High-Level Radioactive Waste*. SAND2009-4401, Sandia National Laboratories.

Dehls J, 2006. *Permanent Scatterer InSAR processing: Forsmark*. SKB R-06-56, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

Ericsson L O, Holmén J, Rhén I, 2006. *Storregional grundvattenmodellering – fördjupad analys av flödesförhållanden i östra Småland. Jämförelse av olika konceptuella beskrivningar*. SKB R-06-64, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

Grundfelt B, 2010 *Jämförelse mellan KBS-3-metoden och deponering i djupa borrhål för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle*. SKB R-10-13. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

Hultquist G, Graham M J, Szakalos P, Sproule G I, Rosengren A, Grasjo L, 2011.

“Hydrogen gas production during corrosion of copper by water”. *Corrosion Science* 53 (2011) 310-319.

Marklund L, 2011. *Granskning av SKB:s forskningsprogram för geohydrologi*. Rapport till Kärnavfallsrådet.

Raiko H, Sandström R, Rydén H, Johansson M, 2010, *Design analysis report for the canister*. SKB TR-10-28, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

SKB, 2009. *Design premises for a KBS-3V repository*. SKB TR-09-22, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

Stephansson O, 2011. *Synpunkter på valda delar av SKB:s Fud-program 2010*. Rapport till Kärnavfallsrådet.

Åhäll K-I, 2011. *Deponeringsdjupets betydelse vid slutförvaring av högaktivt kärnavfall i berggrunden – en karakterisering av grunda och djupa slutförvar*. Rapport till Kärnavfallsrådet.

Slutförvaring av kärnavfall. *Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud-program 2007*. SOU 2008:70.

Kunskapsläget på kärnavfallsområdet – utmaningar för slutförvarsprogrammet. SOU 2010:6.

Kunskapsläget på kärnavfallsområdet – geologin, barriärerna, alternativen. SOU 2011:14.

6 Samhällsvetenskaplig forskning

6.1 Inledning

Frågan om den samhällsvetenskapliga och humanistiska forskningens betydelse för slutförvarsfrågan diskuterades redan i slutet av 1980-talet. Dåvarande KASAM (Samrådsnämnden för kärnavfalls frågor) överlämnade sin första kunskapslägesrapport 1986 och behandlade i denna SKB:s forsknings- och utvecklingsprogram från samma år. KASAM gjorde också en bedömning av dåvarande SKN:s (Statens kärnbränslenämnd) forskningsprogram, som bland annat omfattade samhällsvetenskaplig forskning.

I 1989 års kunskapslägesrapport återkommer KASAM till frågan om samhällsvetenskaplig forskning och konstaterade bland annat att tvärvetenskapliga program med inslag av etik och samhällsvetenskap är av central betydelse och att ”det finns ett avsevärt behov av från SKB fristående och obunden kompetens för uppföljning och granskning av forskning och utredning rörande slutförvaring av kärnavfall”.¹ För att trygga tillgången på obunden kompetens föreslog KASAM att det skulle inrättas ett tiotal forskartjänster för grundläggande tvärvetenskaplig forskning i kärnavfallsfrågan. Förslaget förverkligades inte, men i en livlig seminarieverksamhet belystes kärnavfallsfrågans samhällsvetenskapliga och etiska aspekter under början av 1990-talet.

1997 anordnade dåvarande KASAM ett seminarium om beslutsprocessen i samband med lokalisering av ett slutförvar, där både samhällsvetare och humanister deltog. KASAM:s och dåvarande SKI:s (Statens kärnkraftsinspektion) intresse för den samhällsvetenskapliga kärnavfallsforskning stimulerande också fristående universitetsforskare. Ett exempel är den av samhällsvetaren Rolf Lidskog redigerade antologin om kommunen och kärnavfallet.²

¹ KLR 1989 sid. 43.

² Lidskog, 1998. Svensk kärnavfallspolitik på 1990-talet.

Vetenskapssociologens Göran Sundqvists arbete³ framhävs med rätta i Mats Aldéns och Urban Strandbergs samlingsvolym *Kärnavfallens politiska utmaningar*, 2005⁴. I denna volyms slutkapitel riktas också hård kritik både mot SKB och KASAM för att de (SKB i 2004 års Fud-program och KASAM i 2004 års kunskapslägesrapport) uttrycker ”en vilja att bortse från de samhälleliga sammanhangen...ett bortseende från att kärnavfallet bildar en politisk, ekonomisk, social och ideologisk fråga”.⁵ Man bör dock framhålla att KASAM redan 2002 (i sin granskning av SKB:s Fud-program 2001) gjorde avsevärda försök att få tillstånd ett program för fristående samhällsvetenskaplig och humanistisk kärnavfallsforskning.⁶ Försöket blev inte framgångsrikt, men i stället initierade SKB sitt samhällsforskningsprogram 2004. När detta skrivs (april 2011) närmar sig detta samhällsforskningsprogram sin utvärdering och eventuella avslutning. Frågan är då om de kunskaper som SKB:s program alstrat har försett SKB och beslutande instanser (SSM, Miljödomstolen och regeringen) med ett samhällsvetenskapligt beslutsunderlag för att ta ställning i slutförvarsfrågan.

6.2 Rådets tidigare synpunkter

6.2.1 Kärnavfallsrådets slutsatser i granskningen av SKB:s Fud-program 2007

Kärnavfallsrådet ägnade SKB:s samhällsforskningsprogram utförlig uppmärksamhet i sin granskning av Fud-program 2007. Rådet påtalade bland annat att det finns ett stort behov av ett sådant program, men att det borde ha en bredare och mer kritisk inriktning. Rådet framhöll också att programmet borde kompletteras på två olika sätt:

1. med studier av framtida ekonomiska konsekvenser av kärnavfallsfrågans hantering, främst ekonomiska kostnadsnyttoanalyser. Detta behövs bland annat för att bedöma den samhälleliga resursåtgången för alternativa lösningar, och

³ Sundqvist, 2002. *The Bedrock of Opinion. Science, Technology and Society in the Siting of High-level Nuclear Waste.*

⁴ Andrén & Strandberg (red.), 2005.

⁵ Se sid. 143 i Andrén & Strandberg (red.), 2005.

⁶ SOU 2002:63 sid. 115–124.

2. med forskningsprojekt angående omvärldsförändringar och säkerhetskultur (för precisering se punkt 2 i avsnitt 14.2.4, SKB:s Fud-program 2007). Detta bedömdes i rådets granskning vara ett mycket angeläget forskningsfält, eftersom sådan forskning kan bidra till att belysa den sociala barriären för säkerheten i slutförvarslösningen.

Inga av dessa synpunkter beaktades i SKB:s fortsatta arbete och de beaktas inte heller i Fud-program 2010.

6.2.2 Kärnavfallsrådets synpunkter i Kunskapslägesrapporten 2010.

I sin kunskapslägesrapport från 2010 har Kärnavfallsrådet utförligt behandlat SKB:s samhällsforskningsprogram. Kärnavfallsrådets generella slutsats är att forskningsverksamheten inom programmet håller hög kvalitet och har bedrivits med hög vetenskaplig integritet. De kunskaper som genom programmet tillförts kärnavfallsfrågan bedöms av Kärnavfallsrådet som tillförlitliga. Rådet påtalar emellertid att det finns kunskapsluckor och att det kritiskt samhällsvetenskapliga perspektivet på till exempel alternativfrågan kunde ha fått större uppmärksamhet.⁷ Rådet påminner också om behovet av från SKB fristående kärnavfallsforskning på det samhällsvetenskapliga området. I likhet med SKB:s beredningsgrupp ställer vi frågan ”varför statliga forskningsråd och myndigheter inte skapat egna större program för att finansiera forskningsprojekt på ett sådant viktigt område som kärnavfallens sociala och samhälleliga dimensioner”.⁸ SKB återupprepar denna synpunkt i Fud-program 2010 och framhåller att ”det skulle vara till gagn för hela forskningsfältet om även andra aktörer än SKB tog initiativ till att finansiera samhällsforskning”.⁹ Kärnavfallsrådet återkommer till denna fråga i avsnitt 6.4.

⁷ SOU 2010:6 sid 74.

⁸ Berner, Drott-Sjöberg, Holm, 2009 sid. 8.

⁹ Fud-program 2010 sid. 399.

6.3 Aktuella synpunkter

6.3.1 Behovet av fristående samhällsvetenskaplig kärnavfallsforskning

Kärnavfallsrådet har sedan 1986 i olika sammanhang påtalat behovet av fristående kärnavfallsforskning, bland annat inom det samhällsvetenskapliga och humanistiska området. (Med fristående avses i detta sammanhang att rådet eftersträvar oberoende av ekonomiska och politiska intressen och att basera sina ställningstaganden på vetenskaplig grund och på vedertagna och redovisade etiska principer). Senast i rådets kunskapslägesrapport 2010 underströks behovet av resurser för sådan forskning vid sidan av det forskningsprogram SKB bedrivit och nu ska utvärdera.

Den samhällsvetenskapliga forskning som SKB finansierat kan karaktäriseras som tillämpad sektorforskning, direkt knuten till frågor om platsvalet, demokratisk process och etiska frågor i arbetet med att ta fram ansökan.

Med tanke på att SKB nu lämnat in sin ansökan om slutförvar går kärnavfallsfrågan eventuellt in i en ny fas av byggande, drift och förslutning av förvaret. Om allt går enligt planerna, kommer denna fas vara avslutad år 2065. Det kommer att behöva göras uppföljningar och utvärderingar av de olika delprojekten under denna period, inte minst för att skapa en transparent och demokratiskt hållbar process. Under denna tidsrymd kommer också behovet av samhällsvetenskaplig forskning i kärnavfallsfrågan att behöva tillgodoses på ett sammanhållet och strukturerat sätt.

Det finns ett uppenbart behov av mer kunskap om avfallssystemets hållbarhet och genomförbarhet ur olika aspekter. En framtida ökad konkurrens på den globala marknaden om råvaror, till exempel koppar, skulle kunna sätta press på kärnavfallsprogrammet genom väsentligt ökade kostnader. Detta är ett exempel på ett förhållande som kan förändra förutsättningarna för slutförvarsprogrammet. Andra strukturella samhällsförhållanden, som kan föra med sig avgörande förändringar, är ett ökat internationellt ägande och inflytande över kärnkraftsbolagen eller ett ökande inflytande från EU, vilket kan medföra en uppluckring i synen på ansvarsprincipen och ett minskat förtroende för slutförvarets legitimitet. Avgörande för ett säkert slutförvar är också att vår generation kan säkra ett sätt att lämna

över tillförlitlig och ingående information om systemet till framtida generationer. Hur ska samhället åstadkomma detta?

Kärnavfallsrådet, eller liknande organ, har en långsiktigt viktig uppgift och ett ansvar för att bevaka att det genomförs en kontinuerlig utvärdering och uppföljning av avfallsprogrammets fortsatta utveckling. Dessutom behövs en mer generell kunskapsuppbyggnad både när det gäller specifika utredningar av särskilda frågor som kan uppstå kopplade till programmet och när det gäller forskning om relationerna mellan teknik, politik, ekonomi och samhälle. Detta är frågor som inte bara kan relateras till kärnavfallsprogrammet, utan som gäller ett allmänt eftersatt behov av mer kunskap om de sociotekniska system på vilka samhället vilar.

6.3.2 Samhällsprogrammets inriktning och arbetsformer

I Fud-program 2010 preciserar SKB syftet med sitt samhällsforskningsprogram på följande sätt:

- Bredda perspektivet på Kärnbränsleprogrammets samhälls-aspekter. Därmed underlättas möjligheterna att utvärdera och bedöma programmet i ett större sammanhang.
- Ge djupare kunskap och bättre underlag för plats- och projektanknutna utredningar och analyser. Därmed utnyttjas kunskap och resultat från samhällsforskningen till att höja kvaliteten på olika beslutsunderlag.
- Bidra med underlag och analyser till forskning, som rör samhällsaspekter av stora industri- och infrastrukturprojekt. Därmed kan Kärnbränsleprogrammets erfarenheter tas tillvara för andra likartade projekt.¹⁰

Kärnavfallsrådet vill fästa uppmärksamheten att denna syftesformulering på en avgörande punkt skiljer sig från den som formulerades i 2004 års Fud-program. Där relaterades samhällsforskningsprogrammet på ett tydligt sätt till den Miljökonsekvensbeskrivning som bifogas ansökan. Den andra punkten formulerades då på följande sätt:

¹⁰ Fud-program 2010 sid. 397.

- Därmed utnyttjas kunskap och resultat från samhällsforskningen till att höja kvaliteten på beslutsunderlag och MKB-dokument.¹¹

I själva inledningen till kapitlet om samhällsvetenskaplig forskning underströks i Fud-program 2004 den nära relationen till MKB-dokumentet på följande sätt:

Till ansökningarna om att få bygga inkapslingsanläggningen respektive slutförvaret för använt kärnbränsle ska bifogas en miljökonsekvensbeskrivning – ett MKB-dokument. Detta ska innehålla beskrivningar av påverkan och effekter på grund av planerade anläggningar och verksamheter. MKB-dokumentet ska även innehålla beskrivningar av bedömda konsekvenser för miljö, natur, hälsa och samhälle. För att kunna presentera ett brett och fullständigt underlag om samhällsaspekter till ansökan om tillstånd avser SKB att bedriva och finansiera forskning inom det samhällsvetenskapliga området.¹²

*Under programmets gång har samhällsprogrammets syfte på ett avgörande sätt förskjutits. I Fud-program 2010 framhåller SKB att ”programmet är fristående från såväl MKB som ansökningar”.*¹³

Denna avgörande förändring av programmets inriktning har inte på ett tillfredsställande sätt förklarats av SKB, vare sig i Fud-program 2010 eller i något annat av SKB publicerat dokument. SKB skriver att ”samhällsforskningen inte i första hand [är] kommunspecifik utan syftar till att ta fram ny och generell kunskap”. Detta påstående kan ifrågasättas på två olika punkter:

För det första berör flera av de genomförda forskningsprojekten kommunspecifika förhållanden och *för det andra* är även ny och generell kunskap i hög grad relevant för olika delar av ansökan. Kärnavfallsrådet vill redan i detta sammanhang återigen framhålla att flera av de förändringar som skulle kunna motivera en långtgående omprövning av kärnavfallsprogrammets genomförande och SKB:s huvudtidtabell sammanhänger med olika typer av samhällsförändringar, som skulle kunna göras till föremål för samhällsvetenskaplig forskning (se avsnitt 2.2.2).

Kärnavfallsrådet anser – i likhet med dåvarande SKI i sin granskning av 2007 års Fud-program – att löskopplingen av samhällsforskningsprogrammet från SKB:s övriga arbete med ansökan är olycklig. Detta framhölls av rådet redan i Fud-

¹¹ Fud-program 2004 sid. 301 (Rådets kursivering).

¹² Fud-program 2004 sid. 301.

¹³ Fud-program 2010 sid. 398.

granskningen 2004 och återupprepades i rådets granskning av Fud-program 2007, där rådet bland annat konstaterade att SKB:s samhällsforskningsprogram och dess resultat kommer in mycket sent i planerings- och tillståndsprocessen. Rådet pekade på att det därför är desto mer angeläget att koppla platsval och teknislösningar till resultat av samhällsforskningen, samt att visa hur dessa resultat kan belysa slutförvarsfrågan och bidra till SKB:s ansökan om att bygga ett slutförvar för använt kärnbränsle. Kärnavfallsrådet ansåg vidare att formuleringarna av syftet skulle kunna vara mer tydliga och kopplade till specifika kunskapsbehov i SKB:s eget arbete, bland annat när det gäller arbetet med miljökonsekvensanalysen, MKB.¹⁴

Det är anmärkningsvärt att SKB i Fud-program 2010 inte berör denna avgörande fråga i avsnittet *Slutsatser i Fud-program 2007 och dess granskning*.¹⁵

Det leder över till frågan om samhällsprogrammet arbetsformer och framför allt till frågan om hur SKB fördelat de närmare 24 miljoner som anslagits till samhällsforskningsprogrammet.¹⁶ En beredningsgrupp tillsattes tidigt i processen. Efter två förberedande forskningsseminarier 2002 och 2003 med forskare och representanter från kommuner, myndigheter och dåvarande KASAM, identifierades fyra generella forskningsområden som bedömdes som relevanta för avfallsfrågan och för kommunerna:

- Socioekonomisk påverkan – samhällsekonomiska effekter
- Beslutsprocesser
- Opinion och attityder – psykosociala effekter
- Omvärldsförändringar

En första inbjudan att komma in med idéskisser och projektbeskrivningar inom dessa områden skickades våren 2004 ut till ett antal högskolor och universitet. Ytterligare utlysningar utgick 2005 och 2009. Dessa bedömdes sedan av beredningsgruppen och resulterade i 18 olika forskningsprojekt, vars resultat sammanfattas i Fud-program 2010, kap. 30–32. Tre forskningsseminarier har genomförts 2007, 2008 och 2009.

Två huvudkriterier har enligt Fud-program 2010 varit utgångspunkten för beredningsgruppens bedömning av inkomna ansökningar. För det första ska ansökan vara inomvetenskapligt

¹⁴ SOU 2008:70 sid. 102.

¹⁵ Sid. 398 i Fud-program 2010.

¹⁶ Berner, Drottz-Sjöberg, Holm, 2009.

relevant och av god kvalitet och för det andra relevant för SKB:s uppdrag. Det sistnämnda villkoret är förbryllande med tanke på att samhällsforskningsprogrammet ska vara fristående från såväl MKB som ansökningar.¹⁷

Kärnavfallsrådet anser att SKB:s samhällsforskningsprograms procedur och arbetsformer i alltför begränsad omfattning varit bestämt av SKB:s uppdrag, nämligen ”att svara för kärnavfallshanteringen från det att avfallet lämnar kärnkraftverken”.¹⁸ Detta sammanhänger bland annat med att programmet etablerades relativt sent i SKB:s förberedelser av sin ansökan. Men i och med att programmet i själva inledningsskedet lösgjordes och blev fristående från såväl MKB som ansökningar (framför allt ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle) har villkoret att samhällsforskningsansökningar ska vara relevanta för SKB:s uppdrag i själva verket satts ur spel. Kärnavfallsrådet är positivt till SKB:s planer på en generell utvärdering av samhällsforskningsprogrammet¹⁹ men vill framhålla att också en kritisk och ingående utvärdering av procedur och arbetsformer bör komma till stånd. Med SKB:s utvärdering som underlag anser Kärnavfallsrådet att det finns behov av att rådet under 2012 genomför en självständig och ingående granskning av programmets former och resultat.

6.4 Den samhällsvetenskapliga forskningens framtida former och uppgifter

Under 2011 kommer SKB att utvärdera det samhällsvetenskapliga forskningsprogrammet. Rådet kommer att avvakta slutsatserna av denna utvärdering, och avser att efter fortsatt analys återkomma till frågan om hur den samhällsvetenskapliga forskningen inom kärnavfallsområdet lämpligen finansieras och organiseras.

Med ledning av SKB:s utvärdering och Kärnavfallsrådets egen kommande granskning vill rådet uppmana regeringen att utreda formerna för hur den samhällsvetenskapliga kärnavfallsforskningen ska bedrivas i framtiden och i kommande forskningsproposition tillse att medel från kärnavfallsfonden avsätts under kommande decennier för samhällsvetenskaplig forskning.

¹⁷ Fud-program 2010 sid. 398.

¹⁸ Fud-program 2010 sid. 23.

¹⁹ Fud-program 2010 sid. 399.

6.5 Kärnavfallsrådets slutsatser avseende samhällsvetenskaplig forskning

Nedanstående punkter utgör Kärnavfallsrådets slutsatser:

- Det är rådets uppfattning att SKB på ett otillfredsställande sätt lösgjort sitt samhällsforskningsprogram från sitt grundläggande slutförvaringsuppdrag.
- Det finns ett fortsatt stort behov av samhällsvetenskaplig kärnavfallsforskning, som så långt det är möjligt är (1) fristående från ekonomiska och politiska intressen men samtidigt (2) av relevans för svensk kärnavfallshantering.
- Den framtida forskningen bör bland annat studera konsekvenserna av ökad konkurrens på den globala marknaden om råvaror (till exempel koppar), konsekvenserna av avgörande förändringar i kärnkraftens ägandeförhållanden samt villkoren för samhällelig planering och beslutsfattande.
- Flera av de förändrade förutsättningar som skulle kunna motivera en långtgående omprövning av kärnavfallsprogrammets genomförande och SKB:s huvudtidtabell sammanhänger med olika typer av samhällsförändringar, som skulle kunna göras till föremål för samhällsvetenskaplig forskning (se även 2.2.2).
- Med ledning av SKB:s utvärdering och Kärnavfallsrådets kommande granskning bör regeringen (1) utreda formerna för hur den samhällsvetenskapliga och humanistiska fristående kärnavfallsforskningen ska bedrivas i framtiden och (2) i kommande forskningsproposition tillse att medel från kärnavfallsfonden avsätts under kommande decennier för samhällsvetenskaplig forskning.

Referenser

- Andrén M, Strandberg U (red.), 2005. *Kärnavfallens politiska utmaningar*. Hedemora: Gidlunds Förlag. ISBN/ISSN:91-7844-679-1.
- Berner B, Drottz-Sjöberg B-M, Holm E, 2009. *Samhällsforskning 2004-2009. Teman, resultat och reflektioner*. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Lidskog R, 1998 (ed). *Kommunen och kärnavfallet. Svensk kärnavfallspolitik på 1990-talet*. Carlsson 1998.
- Sundqvist G, 2002. *The Bedrock of Opinion. Science, Technology and Society in the Siting of High-level Nuclear Waste*. Springer 2002.
- KASAM:s yttrande över SKB:s Fud-program 2001*. SOU 2002:63.
- Slutförvaring av kärnavfall, Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud-program 2007*. SOU 2008:70.
- Kunskapsläget på kärnavfallsområdet – utmaningar för slutförvarsprogrammet*. SOU 2010:6.



KÄRNAVFALLSRÅDET

Uppdragsavtal: Granskning av SKB:s

Fud-program 2010

Avtalsnummer/ Dnr: 36/10

RAPPORT

Granskning av SKB:s
forskningsprogram för geohydrologi

En del av Kärnavfallsrådets granskning av
Fud-program 2010

Antal sidor: 11

Marksmen Consultings projektnummer: M 010-129

Innsbruck 2011-03-15

Marksmen Consulting

.....
Lars Marklund

GRANSKNING AV SKB:S FORSKNINGSPROGRAM FÖR GEOHYDROLOGI

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	2
INTRODUKTION.....	3
Uppdrag.....	3
Beställare.....	3
Förutsättningar	3
GENERELLA SLUTSATSER.....	4
21 TEKNISKA BARRIÄRER I SFR.....	6
21.1.7 Hydrovariabler och hydrologiska randvillkor	6
21.2.3 Frysning.....	6
21.2.4 Vattentransport.....	6
21.2.5 Tvåfasflöde/gastransport.....	6
21.2.14 Advektion och blandning.....	6
21.2.15 Kolloidbildning/kolloidtransport.....	6
25. GEOSFÄREN	6
25.2.3 Grundvattenströmning.....	6
25.2.10-11 Advektion/blandning.....	8
25.2.12-13 Diffusion	8
25.2.14-15 Reaktionen med berget.....	8
25.2.16 Mikrobiella processer.....	9
25.2.17 Nedbrytning av oorganiskt konstruktionsmaterial	9
25.2.18-19 Kolloidomsättning.....	9
25.2.21 Metanisomsättning	10
25.3 MODELLERING	10
25.3.1 DFN.....	10
25.3.2 Integrerad modellering – termo-hydro-mekanisk utveckling.....	10
25.3.3 Integrerad modellering – hydrogeokemisk utveckling.....	10
25.3.4 Integrerad modellering – radionuklidtransport.....	11
26 YTNÄRA EKOSYSTEM.....	11
26.4 Akvatiska ekosystem.....	11
26.6 Hydrologi och transport	12
REVISIONSFÖRTECKNING.....	13

INTRODUKTION

Uppdrag

Arbetet innefattar granskning av specifika delar av SKB:s forskningsprogram (Fud-program 2010). De sidor i som har granskats är: 242-243, 245-248, 329-332, 339-352, 353-360, 366-369 samt 372-375.

Beställare

Statens råd för kärnavfallsfrågor, M1992:A
Att: Holmfridur Bjarnadottir
103 33 Stockholm

Förutsättningar

Underlaget för granskningen är rapport: Fud-program 2010 samt dess referensmaterial. Kapitelnumreringen som används i denna granskning är desamma som används i Fud-program 2010.

GENERELLA SLUTSATSER

SKB:s forskningsprogram inom geohydrologi är omfattande och i vissa avseenden världsledande. SKB använder sig av flera välutvecklade modeller som sannolikt ger bästa möjliga representation av verkligheten. Dock kvarstår det faktum att det system som skall modelleras är väldigt svårt att observera eftersom det bokstavligen är begravt under jord. Systemet är också mycket heterogent vilket innebär att de få observationer man har gjort oftast inte är representativa för ett större område. Många av de modeller som används beskriver också ett tidsförlopp som sträcker sig tusentals år framåt i tiden. Att utvärdera dessa modellberäkningar med observationer blir därför omöjligt. Stora osäkerheter karakteriserar därigenom modellberäkningarna i SKB:s forskningsprogram. Därför skulle jag vilja se en tydligare handlingsplan för hur man utvärderar dessa osäkerheter samt hur osäkerheterna inkorporeras i säkerhetsanalysen. Det verkar saknas en tydlig styrning för hur osäkerhet skall behandlas. Osäkerheter i resultat från såväl mätningar som modelleringar behandlas ingående i vissa avseenden men i andra avseenden saknas det helt.

Här nedan redogör jag för några exempel på problem som man som modellerare ofta konfronteras med och som SKB borde ha en tydlig handlingsplan för.

- Många av SKB:s experiment utförs på liten skala (μm -m). Resultaten från dessa försök används i storskaliga transportmodeller (m-km), vilket oftast kräver en uppskalning av processerna. Hur genomförs detta på bästa sätt?
- Vilka generella slutsatser kan man dra ifrån platsspecifika försök? Hur stort område kring en provplats kan anses vara representerade av ett prov?
- Många av modellerna som används är väldigt komplexa och innefattar en stor andel parametrar som måste kalibreras. Under kalibreringen av modellerna finns risk att förändringar i olika parametrar leder till samma slutresultat, så kallat ekvifinalitetsproblem. Detta innebär att modellen kan tyckas räkna rätt trots att den på processnivå ger en felaktig beskrivning av verkligheten. Hur hanterar man detta problem?
- Det verkar inte finnas en tydlig systemanalytisk metodik för hur man på bästa sätt skall bestämma vilka processer som kan negligeras eller förenklas i modellerna. Istället beror det på modellerarens expertis samt datatillgång. Att detta genomförs på bästa sätt är inte bara viktigt för modellernas prestationsförmåga, det är även viktigt för planeringen av nya experiment och för hur resurser skall fördelas.

Det finns även andra delar av forskningsprogrammet som borde behandlas med mer konsekvens. Ett exempel är publicering av forskningsresultat i granskade vetenskapliga tidskrifter. Att få sina forskningsresultat publicerade i internationella vetenskapliga tidskrifter är en slags kvalitetsgaranti. Därför är det önskvärdt att SKB publicerar så många av sina studier som möjligt. Jag har full förståelse för att det inom vissa områden är problematiskt att publicera, men i SKB:s fall verkar det snarare bero på vilken forskningsgrupp som har genomfört studien.

Ett annat område där jag efterfrågar mer stringens och konsekvens är presentationen av tidsplanerna. I de flesta fall där framtida planer presenteras framgår inte vad som skall göras snarast och vad som ligger längre fram i tiden. Det skulle vara önskvärt om granskarna fick ta del av planeringen och ha möjlighet att uttala sig om den. Inom forskning är det alltid brist på tid och resurser, därför är en viktig del av granskningen att tycka till om prioriteringsordningen, såväl inom som mellan olika forskningsområden.

21 TEKNISKA BARRIÄRER I SFR

21.1.7 Hydrovariabler och hydrologiska randvillkor

SKB beskriver hur förvaret fungerar både under nuvarande förhållanden (dränerade) och framtida (vattenfyllda). De har dock inte presenterat några belägg för sina påståenden. De presenterar inte heller några undersökningar eller försök som är genomförda eller planerade.

21.2.3 Frysning

Det genomförda arbetet som presenteras i Fud-program 2010 baseras uteslutande på litteraturstudier och teoretiska resonemang och inga laborativa försök har genomförts. Planerade studier innefattar hur betongens frysegenskaper förändras med tiden samt närmare undersökningar av betongens porstorlek. Huruvida dessa studier skall baseras på nya laborativa försök eller teoretiska resonemang framgår ej.

21.2.4 Vattentransport

Se 21.1.7

21.2.5 Tvåfasflöde/gastransport

Analyserna av gastransport baseras framförallt på studier från Grimsel. Där har man studerat gastransport genom betongsilon, ventilen samt genom bentonit/sandbarriären. Det är dock önskvärt att SKB redogör för hur dessa studier skall kunna ge svar om den långsiktiga säkerheten. SKB bör exempelvis utreda hur långsiktig degradering av ventil och bentonit/sandbarriären påverkar gastransporten.

21.2.14 Advektion och blandning

SKB anser att den advektiva transporten blir viktig när betongen åldras och dess kemiska och mekaniska egenskaper ändras. Följaktligen anser de även att det är viktigt att utreda konsekvenserna av detta för att få en ökad förståelse kring radionuklidtransporten ut ur förvaret i den åldrade betongen. De presenterar dock inte några konkreta planer för att utreda dessa konsekvenser. Inga undersökningar eller försök är gjorda eller planerade.

21.2.15 Kolloidbildning/kolloidtransport

Se 25.2.18-19

25. GEOSFÄREN

25.2.3 Grundvattenströmning

Såväl SKI som Kärnavfallsrådet var överlag nöjda med utredningsarbetet rörande grundvattenströmning i Fud-program 2007. Detta gällde såväl utvecklandet av nya modelleringsverktyg och de platsspecifika undersökningarna i Forsmark och Laxemar.

Dock fanns vissa brister. Redan i Kärnavfallsrådets granskning av Fud-program 2004 föreslogs att grundvattenbildningens storlek borde bestämmas med flera oberoende metoder. Detta utreddes inte i Fud-program 2007 och inte implicit i Fud-program 2010 där det inte heller planerades för att göra detta. Det som har gjorts som tangerar denna fråga är att man i Åspölaboratoriet har uppmätt mängden grundvatten som når tunnelsystemet med hjälp av flödesmätningar i rännor. Dessutom har flödeshastigheterna på försvarsdjup uppskattats i modellberäkningar.

De studier som presenteras i Fud-program 2010 har främst anpassat grundvattenflödesmodellering till plats specifika data. I den slutliga grundvattenmodellen för Forsmark har ett högkonduktivt lager inkluderats i modellens övre del. Detta är en viktig utveckling av modellen som totalt förändrar flödesmönstret. SKB påstår att det högkonduktiva lagret dämpar topografins betydelse för grundvattenströmningens flödesmönster på större djup. Det är dock viktigt att poängtera att det endast är den lokala topografins betydelse som begränsas. Det är fortfarande skillnaden mellan havsnivån och grundvattenytans läge i områden längre inåt land som är den huvudsakliga drivkraften för grundvattenflödet på försvarsdjup.

Inom SR-Site och för platsvalet har platsmodellerna för Forsmark och Laxemar tillämpats för de olika tidsperioder som ingår i analysen, vilket efterfrågades i granskningen av Fud-program 2007.

I Fud-program 2010 presenteras de storregionala simuleringar som pågått sedan tidigare. Här har en uppföljande studie genomförts där fokus ligger på konceptuella osäkerheter. Det är dock svårt att göra en djupare granskning exakt av vad som har gjorts eftersom referensen (/25-33/) uppenbart är felaktig. SKB har även genomfört en studie av försvarsplatsens lokala egenskapers betydelse för regionala flödesvägar. I denna studie har man använt ett topprandvillkor som är baserat på ytvattenavrinningen. Toppvandvillkoret skiljer sig från tidigare studier eftersom randvillkoret är baserat på grundvatteninfiltration och inte som tidigare, baserat på grundvattenytans läge. SKB påstår att ett så kallat fluxrandvillkor är att föredra framför föreskrivna nivåer på grundvattenytans läge. Detta är ofta sant men det kräver att man har representativa data för infiltrationen. SKB säger sig ha använt sig av ytvattenavrinning men det är oklart vad de menar med det. Detta bör förtydligas. En studie har genomförts för att studera hur det tunga saltvattnet beläget på större djup än försvarsdjup förhindrar flödesvägar från att nå ned till ännu större djup. Detta är en intressant studie och det skulle vara önskvärt om denna studie skulle inkludera tänkbara spatiala och temporala skillnader av det tunga saltvattnets utbredning. En viktig fråga är hur flödesvägarna från olika möjliga försvarsplatser påverkas av det tunga saltvattnet.

SKB planerar att utreda om ventilationsluften från SFR för ut betydelsefulla mängder vatten, som kan påverka kalibreringen av flödesmodellen. Detta är ett välkommet initiativ som har efterfrågats i tidigare granskningar. För SFR-utbyggnad planeras även viss förbättring av aktuell hantering av ytvattenhydrologin inom den nuvarande versionen av DarcyTools. Det är dock oklart vilka förändringar som skall genomföras samt vad bristerna är i nuvarande versionen. Detta bör preciseras.

Annan vidareutveckling av DarcyTools och ConnectFlow planeras också för kommande period. Det är dock mycket anmärkningsvärt att SKB uttrycker att denna utveckling inte kommer att påverka slutsatserna i SR-Site. Två frågor som man ställer sig är: 1) Varför fokusera på modellutveckling som är helt oviktigt för SR-Site? 2) Om modellutvecklingen skulle leda till betydande upptäckter, skall då inte dessa inkluderas i SR-Site?

25.2.10-11 Advektion/blandning

SKB har genomfört ett omfattande arbete om osäkerheterna i blandningsmodellerna. Dessutom har en intressant studie av orsaker till kanalbildning och dess effekter gjorts. Detta arbete verkar väl genomfört och kommer att vara betydelsefullt för säkerhetsanalysen SR-Site.

SKB planerar att utföra beräkningar av salthaltsutvecklingen vid omfattande klimatförändringar över långa tidsintervall. Detta kommer vara en betydande komponent i SR-Site och det är därför viktigt att arbetet fortskrider.

I Äspölaboratoriet planerar SKB att installera fasta grundvattenstationer och att använda nya provtagningsmetoder. Vilka nya provtagningsmetoder som planeras är ej angivet. Detta bör utvecklas.

25.2.12-13 Diffusion

SKB har undersökt matrisporvatten i Äspölaboratoriet, inom det så kallade Matrisförsöket. För tillfället finns dock inga planer för ytterligare omfattande analyser av matrisporvatten.

SKB:s arbete inom diffusion kopplat till radionuklidtransport är omfattande och inkluderar ett antal olika försök med olika metodik. SKB har tagit till sig och utfört de tester som efterfrågades i granskningen av Fud-program 2007. Det bör dock förtydligas hur resultaten från dessa försök skall användas i transportmodelleringen där diffusionen pågår under tusentals år.

25.2.14-15 Reaktionen med berget

Användningen av sprickmineral för ökad förståelse av paleohydrogeologi är ett intressant tillvägagångssätt. Det verkar dock vara aningen spekulativt och en viss försiktighet bör tas innan man drar allt för stora slutsatser från metoden.

I Laxemar såväl som i Forsmark har fördelningen av redoxkänsliga sprickmineral studerats. Syftet för försöken har varit att utvärdera risken för att glacialt smältvatten når försvarsdjup. SKB bör utveckla resonemanget över noggrannheten i denna metod, speciellt känsligheten för kortvariga (i geologisk mening) förändringar. Är det möjligt att metoden exempelvis kan missa förekomst av oxiderande förhållanden på försvarsdjup under ett antal hundra år?

Ett omfattande arbete har gjorts för att öka förståelsen av relationen mellan K_d -värden och olika geologiska parametrar. Det presenteras dock inga metoder för uppskalning och tillvägagångssätt för att möjliggöra användandet av de nya upptäckterna i transportmodellerna.

Grönlandsprojektet är intressant och kan förhoppningsvis ge viktig information om penetration av syresatt vatten i glacialområden. Det bör dock noggrant utredas vilka slutsatser från denna studie som även kan gälla för ett förvar i ett framtida klimat.

I Äspölaboratoriet planeras ett så kallat LTDE-SD-försök. Detta förväntas ge platsspecifika *in situ* K_d -värden. Resultaten från detta försök gäller dock bara för en plats. SKB bör förklara hur detta försök kan ge generell vetskap om exempelvis skillnad mellan *in situ* K_d -värden och diffusionsvärden.

25.2.16 Mikrobiella processer

SKB har genomfört omfattande undersökningar av sulfatreduktion. Det är glädjande eftersom det var något som efterfrågades i granskningen av Fud-program 2007. Något som också efterfrågades i den granskningen var en beskrivning av mikrobiell aktivitet under perioder med permafrost och glaciation. Detta har inte presenterats men SKB planerar att göra det inom SR-Site.

25.2.17 Nedbrytning av oorganiskt konstruktionsmaterial

Se 25.2.18-19

25.2.18-19 Kolloidomsättning

SKB har utrett jämviktskoncentrationerna för kolloider från bentonit i såväl avjoniserat vatten som i syntetiskt Grimsel-vatten. För att förstå hur dessa relaterar till erosionen av bufferten måste dock detta arbete kopplas till vattenomsättningen. Det är något som inte verkar vara genomfört men som absolut borde vara det.

Inom SR-Site modelleras radionuklidtransport med kolloider. Både reversibel sorption på kolloider samt irreversibel sorption på bentonitkolloider studeras inom ramen för SR-Site. Det föreligger stora osäkerheter i hur mycket kolloider som kommer att bildas, hur dessa transporteras samt hur radionukliderna sorberas till kolloiderna. SKB bör beskriva hur dessa osäkerheter hanteras i transportberäkningarna.

SKB:s planerade arbete inkluderar både utveckling av modelleringsverktyg för att inkorporera radionuklidtransport med kolloider, samt studier för att förbättra förståelsen av de styrande processerna, specifikt kopplat till bentoniterosion och kolloidbildning. Detta område är mycket viktigt och bör prioriteras.

25.2.21 Metanisomsättning

SKB genomför ett antal undersökningar för att fastställa förekomster av metanis. Däremot presenteras inga undersökningar om hur metanis påverkar förvaret.

25.3 MODELLERING

25.3.1 DFN

För att krympa utfallsrummet och minska antalet modellvarianter har SKB beaktat fler parametrar. Metodiken är ändamålsenlig och nödvändig men SKB bör presentera hur osäkerheter i mätningar och konceptualiseringar hanteras.

Det planerade programmet för DFN-modellering är omfattande och innefattar en rad viktiga punkter. Det som skulle vara önskvärt är en tydligare tidplan som indikerar vilka programpunkter som är nära förestående och vilka som ligger längre fram i tiden.

25.3.2 Integrerad modellering – termo-hydro-mekanisk utveckling

SKB:s forskning inom detta område beskrivs utförligt i avsnitten 25.2.4 och 25.2.6-9. Dessa har jag ej granskat ingående.

SKB planerar att vidareutveckla DFN-modelleringen och då även beakta möjliga (T)HM-kopplade applikationer. Dessutom planerar de att genomföra sprödtektoniska generiska modelleringar i en relativt homogen kristallin bergart. Målet är att efterlikna typiska konceptuella sprickmönster som kan förekomma i Baltiska skölden. Detta är ett intressant tillvägagångssätt, som trots dess svårighet att utvärdera och dra praktiska slutsatser från, ändå är en metod som bör utvecklas mer.

25.3.3 Integrerad modellering – hydrogeokemisk utveckling

För denna hydrokemiska modellering används koden M3. Resultatens rimlighet kontrolleras med alternativa modelleringar, till exempel geokemiska simuleringar med koden PhreeqC. Det är oklart hur PhreeqC-modelleringarna är gjorda. Det finns många olika tolkningsmöjligheter och därför borde fler konceptualiseringar och modeller jämföras.

Med hjälp av modeller som kopplar hydrogeologi med reaktiv transport säger sig SKB kunna återge de viktigaste vattenkemiska trenderna som man har funnit i Laxemars platsundersökning. Det indikerar givetvis att SKB har utvecklat bra metoder för att modellera systemet. Dock ser jag två oklarheter som bör förtydligas. 1) SKB säger ingenting om Forsmark. Har man inte gjort samma modellbeskrivning där eller lyckas man inte återge de verkliga förhållandena? 2) SKB kalibrerar de hydrogeologiska modellerna för Forsmark och Laxemar genom jämförelser mellan beräknade resultat och kemiska fältdata. Är detta samma kemiska fältdata som man sedan säger sig kunna

återskapa i Laxemar? I princip innebär detta att man validerar och kalibrerar modellen med samma data. Modellen borde givetvis utvärderas mot en dataserie som inte har använts för kalibrering?

SKB förespråkar användandet av så kallade strömlinjesimulatorer, där man adderar de geokemiska processerna längs flödeslinjer som beräknats med de hydrogeologiska modellerna. SKB borde då även redogöra för hur de tänker beakta temporära skillnader för strömlinjernas geometri?

25.3.4 Integrerad modellering – radionuklidtransport

Det är positivt att SKB har utrett frågan om hur resultat från retentionsförsök utförda under begränsad tid (månader-år) ska föras över till transportmodeller för långsiktig säkerhet.

Modeller som sammankopplar hydrogeokemi och radionuklidtransport har utvecklats och testats, specifikt koden Fastreact. Detta arbete redovisas inom ramen för SR-Site. Metodiken bygger på användandet av strömrör som erhålls från hydrogeologisk modellering. SKB borde då även redogöra för hur de tänker hantera faktumet att stömrören kommer förändras med tiden, exempelvis på grund av den pågående landhöjningen.

Enligt SKB skall den integrerade transportmodelleringen sammanhållet hantera transport av radionuklider med hänsyn till hela systemet, det vill säga grundvattenflöde, geokemiska reaktioner och radionuklidtransport i både geosfär och biosfär. Hur detta skall genomföras beskrivs dock inte närmare. Planerar man att göra en enda modell som skall representera hela transportsystemet, kommer den behöva hantera vissa processer på ett väldigt förenklat sätt. Är så fallet bör SKB tydligt redovisa hur dessa förenklingar är gjorda samt vad dessa förenklingar innebär för systemet som studeras. Rimligare är dock att man planerar att väga samman resultat från flera olika modeller. Det är dock oklart hur de olika modellerna kommer att användas i säkerhetsanalysen. Det borde finnas en tydlig plan för hur de olika modellernas resultat skall vägas samman. Dessutom är tidsplanen otydlig (vad menas med ”i förlängningen”).

26 YTNÄRA EKOSYSTEM

26.4 Akvatiska ekosystem

Enligt SKB:s analyser är det endast en mindre andel av det kol som fixeras av primärproducenter i sjöarna som förs vidare i födoväven till toppkonsumenterna. Största delen av kolet cirkulerar i den mikrobiella födoväven och återförs till vattenmassan eller binds i organiska sediment. SKB tydliggör inte om dessa slutsatser endast baseras på modellberäkningar eller om mätningar också stödjer slutsatserna. Detta behöver förtydligas.

Flödesmodellerna som används inom ekosystemmodelleringen visar att mycket material ackumuleras i sjöarnas sediment. Hur överensstämmer dessa resultat med resultaten från MIKE-SHE-modelleringen? Är dessa olika modeller kopplade på något sätt?

Vissa radionuklider binder starkt till partiklar. I ekosystemmodellerna ackumuleras därför en stor del av radionukliderna i sedimenten. Två viktiga processer för radionuklidtransporten blir därför sedimentation och resuspension i dessa miljöer. Därför bör processerna kvantifieras med såväl modellberäkningar och mätningar.

SKB planerar att validera sina modellbeskrivningar med befintlig fältdata från Forsmark. Dessa modeller är komplexa och har stora osäkerheter i indata liksom i parametrar som inte kan mätas. Därför är det en svår uppgift att utvärdera och validera modellberäkningarna. Den spatiala heterogeniteten är stor, det är osäkert hur områdena kommer utvecklas samt det finns parametrar som inte direkt kan mätas. Det är viktigt att det finns en tydlig plan för hur modellerna skall utvärderas. Denna plan bör även innehålla känslighets- och osäkerhetsanalyser.

Inom ramarna för ekosystemmodelleringen bör SKB utreda hur anläggandet av förvaret kommer att påverka de närliggande akvatiska ekosystemen. Det är anmärkningsvärt att detta inte redan har gjorts och inte heller verkar vara planerat.

26.6 Hydrologi och transport

För den hydrologiska modelleringen används beräkningsverktyget MIKE-SHE, som representerar ett flertal transportvägar i berg, jordlager och ytvattensystemet. Transport av radionuklider bundet till partikulärt material kan vara av stor betydelse. Därför är sedimenttransport en viktig process som borde utredas mer. I FUD-program 2007 var sedimentationsprocesser högt prioriterade men i FUD-program 2010 lyser de med sin frånvaro. Det finns inga planerade undersökningar rörande sedimentationsprocesser. Att så är fallet borde motiveras, antingen genom att frågan redan är tillräckligt utredd eller att processerna anses irrelevanta.

SKB har ett välutvecklat program för att utvärdera modellberäkningarna. Beräkningsresultaten stöds av ett betydande dataunderlag från hydraultester i grundvattenrör, flödesmätningar i vattendrag och nivåmätningar i grund- och ytvatten, vilket har använts för jämförelser mellan mätningar och beräkningsresultat i modellkalibreringar och känslighetsanalyser. Dessa modeller är så komplexa att det i utvärderingen av modellen finns risk att förändringar i olika parametrar leder till samma slutresultat, så kallat ekvifinalitetsproblem. Detta innebär att modellen kan tyckas räkna rätt trots att den på processnivå ger en felaktig beskrivning av verkligheten. SKB bör presentera en plan på hur sådana problem kan undvikas.

SKB säger helt riktigt att utströmning ofta sker i sjöar och våtmarker, och därför är förståelsen av kopplingen mellan ytvatten och grundvatten i markens mättade och omättade zoner i sådana områden av särskild betydelse. Sedermera har förhållandena kring sjöar och våtmarker därför specialstuderats i såväl datautvärderingar som numeriska modelleringar. Liknande studier borde göras för vattendrag som även de är

utströmningsområden för grundvatten och som dessutom länkar samman olika våtmarker och sjöar.

Detaljerade studier av specifika hydrologiska objekt görs i den pågående säkerhetsanalysen för att utveckla och beräkna parametervärden till modellerna för landskapsobjekten i Forsmark. Det borde även vara av intresse att studera andra typer av sjöar, våtmarker och vattendrag som kan komma att förekomma i andra klimatsituationer.

SKB finansierar ett forskningsprojekt i anslutning till Krycklan catchment study. Där studeras ytnära radionuklidtransport i anknytning till våtmarker. Detta är ett spännande och säkert givande projekt men det saknas referenser (enda referensen är från ett examensarbete som behandlar ett annat område) vilket gör det svårt att granska mer ingående. SKB planerar att koppla nyvunnen kunskap från Krycklanstudien till SKB:s undersökningsområden, det vill säga att utvärdera vilka resultat och slutsatser som kan vara giltiga även i Forsmark och Laxemar-Simpevarp. Det skulle också vara önskvärt att genomföra liknande plats specifika studier i exempelvis Forsmark för att säkerställa sig om regionala skillnader.

Forskare vid Stockholms universitet har utfört omfattande studier baserade på data från Forsmark och Laxemar-Simpevarp. Det är oklart hur studierna skall användas i SKB:s säkerhetsanalys. En plan för detta borde utformas och presenteras.

Den processbaserade modelleringen av advektiv-reaktiv radionuklidtransport har hittills utförts enbart för den vattenmättade delen av jordlagren. I det fortsatta arbetet ska dessutom markens omättade zon och nyckelprocesser såsom upptag i växter inkluderas. En viktig del för processförståelsen är att utöka kunskapen om marklager som växelvis är mättade och omättade.

SKB planerar att fortsätta sitt arbete med att karaktärisera utströmningsområdets storlek, lägen och de processer som styr transporten där. De avser att studera specifika hydrologiska objekt som representerar alla successionsstadier i landskapsutvecklingen, från marina bassänger över igenväxande sjöar till våtmarker och vattendrag. Detta är ett otroligt viktigt (i mitt personliga tycke det enskilt viktigaste i hela säkerhetsanalysen) forskningsområde som bör prioriteras.

REVISIONSFÖRTECKNING

Rev	Datum	Upprättad av	Information
00.01	2011-12-11	Lars Marklund	
01.01	2011-03-12	Matti Marklund	
01.02	2011-03-13	Lars Marklund	
01.03	2011-03-15	Lars Marklund	
01.04	2011-04-08	Lars Marklund	



**LUNDS
UNIVERSITET**

*Institutionen för geo- och
ekosystemvetenskaper
Enheten för geologi
Professor Per Möller*

2011-03-27

Statens råd för kärnavfallsfrågor
Att: kanslichef Holmfridur Bjarnadóttir
M 1992:A
103 33 Stockholm

Granskning av avsnittet "klimatutveckling" (19) inom SKB:s Fud-program 2010

Inledningsvis kan konstateras att betydande framsteg i redovisningen och förståelse av klimatutvecklingen under den senaste istidscykeln (Weichsel) har skett mellan Fud-program 2007 och föreliggande redovisning (Fud-program 2010).

19.1 "Klimatutvecklingar i SKB:s säkerhetsanalyser"

Framtida scenarier av klimatutveckling får med Fud-program 2010 en klart tydligare beskrivning med införandet av så kallad "referensutveckling" med föregående istidscykel (Weichsel) som en modell för en framtida istidscykel och dess tidsindelning och successiva progression i olika tidsperioder av tempererat, periglacialt och glacialt klimatillstånd. Samtidigt görs ett mycket viktigt påpekande: den faktiska klimatutvecklingen i tid och rum under en kommande glacialcykel är inte det viktigaste i ett säkerhetsperspektiv för ett slutförvar av kärnavfall. Mer viktigt är att förvarett uppfyller säkerhetskraven för angivna klimatillstånd, oberoende av deras tidsuccession! Förtjänstfullt är också förståelsen att en framtida istidscykel inte fullt ut behöver följa utvecklingen enligt vår nuvarande kunskap om Weichsel-istiden - och denna är på inget sätt komplett! Variabler av större eller mindre ismaktighet än under Weichsel är viktig som alternativa scenarier, likväl som att nuvarande och kommande antropogen påverkan av atmosfären kan ge stor påverkan av naturlig klimatvariation och i förlängning kan ge betydanden avvikelser i glacial utveckling jämfört med angiven "referensutveckling".

19.2 "Inlandsdynamik och glacial hydrologi"

I Fud 2007 utnyttjades en termodynamisk inlandsmodell för rekonstruktion av Weichselglaciationernas utbredning, främst byggande på klimatdata tagna t ex ur iskärnearkiv och havsnivåförändringsdata till skillnad från så kallad "invers" modellering som utgår från geologiska "gränsvärden" i form av känd, daterad utbredning i form av t ex israndlägen och daterade stratigrafiska sekvenser. Det konstaterades att svagheter i modelleringen enligt det första alternativet var kända, men avsaknaden av bra geologiska data, speciellt gällande Tidig- och Mellan-Weichsel, gjorde det svårt att ta fram andra scenarier för glacial utbredning under dessa tidsperioder då vi här delvis ligger utanför ¹⁴C-metodens tidsbestämningsram. I Fud-programmet för kommande år angavs emellertid att "SKB kommer enligt planerna att studera hur vissa specifika delar av den senaste glaciale gick till i Skandinavien för att minska nuvarande osäkerhet i de geologiska tolkningarna. Därför planeras dateringar och korrelationer av befintliga interstadiala sedimentprover och lagerföljder från utvalda nyckellokaler i Sverige".

Sidorna 209-213 beskriver hur detta mål implementerats och texten sammanfattar kortfattat en mängd rapporter inom detta område, en imponerande kraftansamling som också resulterat i en temadel i den internationella tidskriften *Boreas* (vol 39, 2010) (referenserna i Fud 2010: 19-2; 19-3; 19-4; 19-5; 19-6; 19-9). På sidan 209, 3:e stycket finns dock en mycket märklig formulering som inledning till redogörelsen: "Medelutbredningen hos inlandsisar under kvartärperioden är dock betydligt mindre än så, i medeltal har områdena kring Forsmark och Oskarshamn med stor sannolikhet varit fria från inlandsis". Som fackman kan jag möjligen förstå vad som åsyftas (troligen att under en istidscykel om normalt 100 000 år så är nämnda områden endast täckta av is under en mindre del av en sådan period), men för andra måste det vara mycket svårt att förstå vad som menas!

På sidorna 210-211 ges en kortare sammanfattning om glaciala utvecklingen i Skandinavien, baserat på den forskningsutveckling som skett genom arbetet i ovanstående referenser. I dessa studier har särskild vikt lagts vid det s.k. MIS 3 (Marine Isotope Stage 3), c. 60,000-30.000 år före nutid. Redan inför programperioden var det klarlagt att det fanns motsägande bevis för graden av isutbredning under denna relativt sett långa period: (i) den klassiska uppfattningen att större delen av Skandinavien var mer eller mindre täckt av is under denna period, mot (ii) indicier att isutbredningen under samma period varit betydligt mindre än tidigare tänkt, varför den klassiska bilden behövde "revideras". Den revision som här presenteras är att det mer eller mindre skulle vara klarlagt att "isfria förhållanden i stora delar av Skandinavien och Sverige under MIS 3" skulle vara fallet. Min uppfattning är att ett sådant förhållande inte på något sätt är ovedersägligt fastslaget; av någon anledning refereras det i Fud 2010 inte till Houmark-Nielsens (2010) artikel i nämnda *Boreas*-volym. Geologiska data, lika välunderbyggda i stratigrafi och kronologi som de data som presenteras i referenserna 19-3/19-4/19-5/19-9/19-22/19-25 (se reflista i Fud-rapport) går helt emot dessa senare referensers uppfattning om isutbredning under MIS 3. Houmark-Nielsens (2010) paleomiljörekonstruktioner påvisar två stora isframstötter längs baltiska sänkan fram till och över Danmark under denna period (*Ristinge advance*, c. 50±5 kyr samt *Klintholm advance*, c. 32±4 kyr). Samma scenario uppvisar nyligen genomförda undersökningar i Småland (Möller, 2010).

Forskningsläget, som jag ser det, är således att två glaciationsmodeller fortfarande står emot varandra, där antingen den ena eller den andra är fel på grund av osäkerheten i båda modellernas använda dateringar av geologiska successioner. Dessa två endmember-scenarier ger helt olika tidsutsträckning för isutbredning under de c. 30,000 år som MIS 3 omfattar. Ett annat alternativ är att båda scenarierna till sina delar är riktiga, dvs. både två isframstötter under MIS 3 kombinerat med snabb deglaciation och isfria förhållanden i mellersta och norra Skandinavien däremellan. I ett sådant scenario måste vi starkt revidera vår uppfattning om dynamiken i tillväxt och avsmältning i olika skeden av Skandinavisk inlandsis. Jag vill här således starkt framhålla att forskningsläget inte är så klart som det ges intryck av i Fud 2010 under denna punkt (och även senare i kap. 19.5).

Under "program" utvecklas tankar som redan framfördes i Fud 2007 att SKB planerar att initiera ett projekt på Grönland (GAP; Greenland Analogue Project) syftande till att använda den grönländska inlandsisen som en analogi, främst avseende hydrologiska och geokemiska förhållanden. Beskrivningen av planerat framtida arbete, också omfattande inlandsismodellering och därtill kopplad till basal hydrogeologi, kombinerat med simuleringar kring de aktuella områdena i Sverige, lovar gott (se 19.6.

19.3 "Isostatiska förändringar och strandlinjeförskjutning"

Grundläggande för dessa problemställningar är den tidigare rapporten TR-03-23 (SR-Can), där ett omfattande arbete lagts ner för att förutse framtida havsyttehöjningar, prognostiserade från tillgängliga landhöjningsdata och modellering. I mellanperioden till Fud 2010 har frågeställningarna på ett utmärkt sätt utvidgats och fördjupats (ref. 9-15; 9-16). Frågeställningen om havsytteökning fram till 2100, vilket i förlängningen skulle kunna betyda höjd grundvattennivå under byggperiod för slutförvar har också beaktats (ref. 9-17).

Föreslaget program för förfinande av prognoser för havsyttehöjning i olika scenarier för ett varmare klimat är utmärkt.

19.4 "Permafrosttillväxt"

Det i Fud 2007 ambitiöst föreslagna programmet för prognostisering av permafrosttillväxt och dess betydelse för hydrogeologisk interaktion med slutförvar under "periglacialt klimattillstånd" har till synes implementerats på utmärkt sätt.

19.5 "Klimat och klimatvariationer"

Utlövade projekt syftande till att ge en mer nyanserad bild har utförts och rapporterats som planerat. Resultaten för den refererade paleoklimatologiska studien vid Sokli i norra Finland (ref. 19-5, samt flera andra relaterade) är naturligtvis spektakulär, men slutsatserna från denna står i stark konflikt – som jag anfört under 19.2 – med andra studier i sydvästra Skandinavien, varför klimatscenariot för MIS 3 kanske inte är så klart som framförs i Fud 2010.

Ett andra projekt med inriktning på klimatmodellering över en 100 000-årscykel med syfte mot att beskriva extremer inom vilket klimatet kan variera har resulterat i en mycket ambitiös och utmärkt rapport, samt internationell publicering. Problematiken kvarstår dock med att indata i modelleringsarbetet är i konflikt med data/tolkning av isutbredning i SV Skandinavien under MIS 3.

I programpunkten för kommande period planeras klimatmodellering för tidig-Weichsel och Holocen, vilket är utmärkt. Skandinavien under tidig-Weichsel hade betydligt mindre isutbredning, centrerad till mer nordlig/västlig utbredning, och jag ser inte här några konflikter i proxy-data från södra Skandinavien.

19.6 Greenland Analogue Projekt (GAP)

Det i Fud 2007 förvarnade projektet GAP, syftande till en "ökad processförståelse för att bättre kunna skapa konceptuella och numeriska modeller av grundvattenflöde, grundvattenkemi och hydromekaniska kopplingar under glaciala perioder" genom studier i ett område av den Grönländska inlandsisen som analog till nedisning i Skandinavien, mer specifikt Forsmarksområdet, är ett utmärkt och spännande initiativ som i mellanperioden har implementerats. Det något diffust beskrivna programmet i Fud 2007 har utvecklats till ett multinationellt och diversifierat projekt. Uppställda frågeställningar på s. 219 är i högsta grad relevanta för en säkerhetsanalys av planerat slutförvar.

Hitintills föreliggande resultat verkar enbart vara olika möte/symposier-rapporter. Projektet avses vara avslutat 2013. Det hade varit av visst intresse att få en mer utförlig bild av projektledning/organisation av denna stora mängd medverkande aktörer.



Per Möller

Referens angiven i texten:

Möller, P., 2010: Subtill sediments on the Småland peneplain – their age, and implications for south-Swedish glacial stratigraphy and glacial dynamics. *LUNDQUA Report 40*, 16 pp. Lund University, Department of Earth- and Ecosystem Sciences, Division of Geology/Quaternary Sciences. (Slutrapport till SGU för FoU-projekt vid SGU)

Synpunkter på valda delar av SKB:s Fud-program 2010

Professor Ove Stephansson

Steph Rock Consulting

Berlin

Mars 2011

Innehåll

Sammanfattning.....	3
1. Allmänna observationer.....	5
2. Viktiga tekniska och vetenskapliga kommentarer.....	6
Del I.....	6
Del II.....	7
Del III.....	8
Del IV.....	15
3. Redaktionella kommentarer.....	23
4. Tack.....	23
5. Referenser.....	24

Sammanfattning

I denna rapport lämnas synpunkter på samtliga delar av Fud-program 2010 utom Del IV Samhällsvetenskaplig forskning. Strukturen på de enskilda delarna i Fud 2010 har stora likheter med redovisningen i de senaste årens Fud-program frånsett ordningsföljden och rubriksättningen för de enskilda sektionerna och avsnitten. I Fud 2010 lämnar SKB en mer utförlig beskrivning av Loma-programmet jämfört med tidigare Fud-program.

Del I Övergripande handlingsplan

SKB förändrar för närvarande sin organisation från att tidigare varit en beställarorganisation med ett fåtal experter inom vissa speciella teknikområden till att bli en organisation som driver och förvaltar kärntekniska anläggningar. Denna förändring av SKB och hur den nuvarande och framtida organisationen av verksamheten ser ut går inte att utläsa av Fud-Program 2010.

Bergets värmeexpansion och spänningstillskott på deponeringsnivån kan leda till brottbildning och tillhörande seismisk aktivitet kring slutförvaret. En seismisk aktivitet från slutförvaret samtidigt som kärnkraftsreaktorer är i drift på markytan kan inte helt uteslutas med nuvarande kunskaper. Att i en framtid eventuellt förlägga ett ytterligare slutförvar under det nu planerade som SKB redovisar som en möjlighet innebär att värmen från det första slutförvaret sprids även nedåt och kommer att adderas till det djupare slutförvaret vilket leder till en högre bergtemperatur och termospänningar på den understa försvarsnivån. Värmen som kommer från det undre slutförvaret kommer också att öka temperaturen i det övre slutförvaret. Den ökade volymen berg med förhöjd temperatur ökar också sannolikheten för ökad seismicitet i området.

Del II Loma-programmet

Enligt de nuvarande planerna kommer en utbyggnad av SFR att förses med ytterligare en tillfartstunnel placerad vid sidan av de redan befintliga. I samband med att den nya tunneln kommer att drivas bör SKB försöka åstadkomma en passage genom Singözonen för samtliga tunnlar som är tätare än de nuvarande passagerna för bygg- och drifttunnlarna till den befintliga anläggningen.

I samband med att utbyggnaden av SFR planeras och projekteras bör SKB intensifiera arbetet med att undersöka och bestämma återfyllning av de olika bergsalarna och anvisa metod för förslutning av anläggningen.

Del III Kärnbränsleprogrammet

I Fud-program 2010 saknas moment innan eller under samfunktionsprövningen, t ex en större värmetest utförd i huvudbergarten på slutförvarsnivån under aktuellt spänningstillstånd. Det är av största vikt att tidigt i projektet få en uppfattning om bergmassans reaktion på borrning av deponeringshål, buffertens reaktion under de torra förhållanden som antas råda på försvarsdjupet och de spjälkbrott som kan utvecklas till följd av värmelasten.

SKB har den höga målsättningen att kunna simulera all verksamhet vid Kärnbränsleförvaret. Denna målsättning är helt i linje med ställda krav från myndigheter och allmänheten om att förvaret skall ha en långsiktig säkerhet och att information om verksamheten i anläggningen under uppförandet och i drift skall vara spårbar.

Kärnbränsleförvaret kommer att bli ett av de allra första stora undermarksprojekt i Sverige där den nya europanormen Observatiometoden kommer att tillämpas. SKB har mot den

bakgrunden ett extra ansvar för att metoden och dess tillämpningar implementeras på ett korrekt sätt bland berörda konsulter och entreprenörer samt SKB:s personal.

För det bergmekaniska utvecklingsarbetet poängterar SKB helt riktigt att en av de viktigaste kvarstående osäkerheterna i platsmodellen för Forsmark gäller det mekaniska spänningstillståndet. SKB har presenterat en modell av bergspänningarna som till allt väsentligt bygger på mätdata från överborrningsmetoden och som för deponeringsnivån i slutförvaret till största delen bygger på gamla mätdata från tidpunkten för uppförande av reaktorbyggnaden för Forsmark 3. SKB har valt att mer förlita sig på överborrningsarna och en motsvarande högspänningsmodell för Forsmark. Spänningsfältets magnitud och orientering i Forsmark lämpar sig bättre för ett förvar enligt KBS-3H-metoden än för KBS-3V. Radarmätningar med GPR-metoden har visat sig vara en bra metod för kontinuerlig registrering av EDZ i tunnlar. Metoden har använts i fintätningstunneln i Äspölaboratoriet och resultaten tyder på att sprängningen sannolikt skapar en kontinuerlig transmissiv zon med djupet ca 0.5 m längs tunnelväggen.

Del IV Forskning för analys av långsiktig säkerhet

SKB har utvecklat en ny beräkningsmodell som gör det möjligt att gränssätta tryckökningen för en given temperatur i ett system av frusen bentonit. Trycket från frysningen av bentoniten i bufferten kan skada berget kring deponeringshålet. SKB har uppskattat det maximala trycket vid den lägsta möjliga temperaturen till 26 MPa. Tryckökningen till följd av frysningen överstiger betydligt draghållfastheten för det intakta berget i Forsmark. Skadan som kan ske är helt beroende av det initiala spänningstillståndet i bergmassan där en högre spänning (enligt SKB:s spänningsmodell) motverkar uppsprickning och sprickpropagering. Med nuvarande kunskaper om spjälkbrotten från den termiska belastningen (vilka med säkerhet sker för SKB:s presenterade spänningsmodell) och svälltrycket från bufferten är det svårt att uppskatta hur situationen med tidigare utbildad sprickbildning och spänningsavlastning stört berget kring deponeringshålen när permafrosten inträder och svällningstrycket från frysningen sätter in. En ökning av skadezonen är mest sannolikt.

SKB argumenterar för att man helt kan bortse från sprickpropagering och förenande (coalescence) av redan existerande sprickor i närområdet kring deponeringshålen bl. a. därför att området kring hålen är utsatt för kompressionsspänningar. SKB menar att det krävs tensionsspänningar vid sprickspetsarna för att propagering skall kunna ske. Så är det emellertid inte. En nyligen utförd modellering med bergbrottmekaniska koden FRACOD har visat att sprickinitiering, sprickpropagering och förenande av redan existerande sprickor sker i närområdet av deponeringshålen för gynnsamt lokaliserade sprickor med hänsyn till spänningsfältet hos en typisk spricknätsmodell från Forsmark. Sprickpropageringen sker under den termiska belastningen och speciellt i samband med glaciation. Sprickinitieringen och propageringen sker företrädesvis som skjvsprickor (Mode II) och inte som tensionssprickor och resultatet kan leda till instabilitet, längre strömningsvägar och ökad strömning kring deponeringshålen.

Den största osäkerheten när det gäller att bedöma risken för spjälkbrott är värmetransporten i deponeringshålen och speciell inverkan av vattenmättnadsgraden hos berget. Denna bedömning bekräftas av fältförsöket Caps där testhålen i blött berg resulterade i mer spjälkbrott jämfört med torra borrhål. Detta betyder att SKB måste utveckla designkriterier för deponering i berg med olika vattenmättnad och bestämma de termiska parametrarna som funktion av vattenhalten.

1. Allmänna observationer

I denna rapport lämnas synpunkter på samtliga delar av Fud-program 2010 (Fud 2010) utom Del IV Samhällsvetenskaplig forskning. Strukturen på de enskilda delarna i Fud 2010 har stora likheter med redovisningen i de senaste årens Fud-program frånsett ordningsföljden och rubriksättningen för de enskilda sektionerna och avsnitten. I Fud 2010 lämnar SKB en mer utförlig beskrivning av Loma-programmet jämfört med tidigare program.

Under mars månad 2010 avser SKB att lämna in en ansökan om att få bygga Kärnbränsleförvaret enligt kärntekniklagen om slutförvaring av använt kärnbränsle och en ansökan enligt miljöbalken för KBS-3-systemet. Platsundersökningarna för Kärnbränsleförvaret är avslutade och i juni 2009 valde SKB Forsmark som plats för slutförvaret. Arbetet med att uppföra Kärnbränsleförvaret och inkapslingsanläggningen beräknar SKB starta ca 2015-2016 och under 2025 börja provdrift av förvaret och Clink. Med nuvarande planeringshorisont beräknas förvaret vara förslutet om ca 75 år. Eftersom förutsättningarna för planeringen med säkerhet kommer att ändras med åren har SKB i sitt planeringsunderlag räknat med en viss flexibilitet, bl.a. möjligheten att utvidga förvaret med en ytterligare deponeringsnivå under den nu planerade.

Redovisningen av Fud 2010 och ansökan om att få bygga Kärnbränsleförvaret ligger nära varandra i tiden. SKB har för den skull valt att presentera vissa resultat från undersökningar och studier i den kommande ansökan i stället för att redovisa resultat och ställningstaganden i Fud 2010. Detta gäller bl.a. valet av metod för berguttag i anläggningen. Detta betyder i praktiken inte så mycket eftersom både Fud 2010 och ansökan kommer att granskas av myndigheterna men sättet att redovisa försvårar en bedömning av helhetsbilden av kunskapsläget inom SKB.

SKB förändrar för närvarande sin organisation från att tidigare varit en beställarorganisation med ett fåtal experter inom vissa speciella teknikområden till att bli en organisation som driver och förvaltar kärntekniska anläggningar. Denna förändring av SKB och hur den nuvarande och framtida organisationen av verksamheten ser ut går inte att utläsa av Fud 2010. Frågor huruvida SKB har nödvändig och tillräcklig kompetens att driva och förvalta de olika kärntekniska anläggningarna och dess olika system går inte att utläsa av Fud-programmet.

Det totala vetenskapliga och tekniska innehållet i SKB:s arbeten så som det redovisas i Fud 2010 är mycket omfattande och visar att SKB är en stor vetenskaplig producent och användare inom en lång rad tekniska och vetenskapliga discipliner. SKB har dessutom en stark internationell position inom branschen och deltar aktivt i en lång rad nationella och internationella projekt och studier med hög vetenskaplig kompetens. SKB har också genom åren förstått att värdesätta publiceringen av sina resultat i internationella vetenskapliga media. Många exempel på detta kan utläsas av de mer än 700 referenser som lämnas i Fud 2010.

2. Viktiga tekniska och vetenskapliga kommentarer

Del I Övergripande handlingsplan

1.4 Kompetens och organisation

I detta avsnitt redovisar SKB hur arbetsorganisationen för projektet förändrats från att ha varit en typisk managementorganisation med ett antal experter som lett och styrt arbetet till att nu övergå till att bli en bredare och verkställande organisation som driver sina anläggningar i egen regi för omhändertagande av det svenska kärnavfallet. I Fud-programmet saknas organisationstablåer som visar hur SKB organiserat sin nya verksamhet i stort och speciellt hur organisationen byggs upp fram till dess att Kärnbränsleförvaret, utbyggnaden av SFR och Clink tas i drift.

2.1 Huvudtidsplan

I Figur 2-1 redovisar SKB den övergripande tidsplanen för hela kärnavfallsprogrammet samt när SKB planerar att lämna in ansökningar och andra lagstadgade redovisningar. I tidsplanen saknas tidpunkter när SKB avser lämna förnyade säkerhetsanalyser efter provdrift och rutinmässig drift för såväl Kärnbränsleprogrammet som Loma-programmet. När det gäller utbyggnaden av SFR redovisar SKB en detaljerad tidplan för PSAR och SAR fram till tidpunkten för rutinmässig drift i Figur 5-2.

3.2 Nya kärnkraftsreaktorer

I detta avsnitt av Fud-programmet redovisar SKB möjliga och tänkbara förändringar av kärnkraftsbeståndet och konsekvenserna av detta för SKB:s anläggningar i framtiden. Om nya reaktorer fasas in i det nuvarande systemet innebär det att drifttiden för kärnkraften ökas till ca 130 år under antagandet att de nya reaktorerna utnyttjas under 60 år. SKB redovisar två möjliga exempel på hur kärnavfallet kan tas om hand vid en utökning av programmet.

I det första exemplet antas att ersättningsreaktorerna har motsvarande nettoeffekt som dagens system och att detta kräver ett slutförvar av ungefär samma storleksordning som det som planeras i Forsmark. SKB är då beredd att utreda möjligheten att bygga ytterligare ett plan i det planerade slutförvaret efter det att detta har fyllts och förslutits. En sådan lösning har två effekter på bergstabiliteten i slutförvarsområdet. Det första är att värmen från de först deponerade kapslarna i det planerade förvaret kommer att uppnå maximal temperatur och spänningstillskott under den angivna drifttiden 130 år. I det fall SKB planerar att bygga ett ytterligare slutförvar under det planerade kommer detta att ge ändrade förutsättningar för planeringen och dimensioneringen av bägge slutförvaren. Detta kommenteras vidare under avsnitt 15.3 i denna granskning.

Bergets expansion och spänningstillskott på deponeringsnivån kan leda till brottbildning och tillhörande seismisk aktivitet kring slutförvaret. En seismisk aktivitet från slutförvaret samtidigt som kärnkraftsreaktorerna är i drift på markytan kan inte helt uteslutas med

nuvarande kunskaper. Den andra effekten från att förlägga ett ytterligare slutförvar under det nu planerade är att värmen från det första slutförvaret sprids även nedåt och kommer att adderas till det djupare slutförvaret vilket leder till en högre bergtemperatur och termospänningar på den understa försvarsnivån. Värmen som kommer från det undre slutförvaret kommer också att öka temperaturen i det övre slutförvaret. Den ökade volymen berg med förhöjd temperatur ökar också sannolikheten för ökad seismicitet i deponeringsområdet.

Temperaturändringar i bergmassan förändrar spänningstillståndet och förändringarna kan leda till deformationer i befintliga sprickor och förkastningar i och omkring slutförvaret. Det ändrade spänningstillståndet kan generera jordskalv. Det ökade intresset för geotermisk värmeenergi i berg har gjort att fler och fler bergvärmeprojekt projekteras, testas och tas i drift, särskilt i områden med förhöjt värmeflöde i jordskorpan, t ex gamla spridningszonen i Rhendalen, Island och andra vulkaniska områden samt Australien med sedimenttäckta granitområden. I samtliga fall medför en ändring av temperaturförhållandena i källområdena till följd av inpressning eller uttag av vatten att seismiciteten ökar. Viss del av den ökade seismiciteten tillskrivs också de ändrade tryckförhållandena i sprick- och förkastningssystemen som berörs av inpressningen och uttaget. En ändring av temperatur- eller tryckförhållanden förändrar spänningsfältet och denna förändring genererar jordskalv.

SKB har fram till nu inte redovisat risken för seismicitet i förvarsområdet från värmelasten i slutförvaret och hur seismiciteten och magnituderna kan förväntas ändras med tiden. Behovet att undersöka detta ökar ytterligare för det fall att SKB planerar att bygga ett ytterligare förvar på större djup under det planerade Kärnbränsleförvaret i Forsmark. Om SKB:s uppfattning om höga bergspänningar i Forsmark besannas och de planerade spänningsmätningarna i tillfartstunneln, schakt och centralområde visar att så är fallet, kan detta leda till bergtekniska svårigheter när det gäller att bygga ett ytterligare slutförvar under det planerade. Det förhöjda spänningsfältet på större djup tillsammans med termospänningarna ökar också förutsättningarna att generera jordskalv.

Del II Loma-programmet

5.4 Teknikutveckling för slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall

SKB har utfört en första layout och presenterat en översiktlig struktur för framtagande av projekteringsunderlag (Figur 5-5) för utbyggnaden av SFR. Den slutliga utformningen av utbyggnaden vad gäller antalet bergsalar och placeringen av dessa har ännu inte bestämts. Enligt de nuvarande planerna kommer en utbyggnad att förses med ytterligare en tillfartstunnel placerad vid sidan av de redan befintliga (Figur 5-6). Den nya tillfartstunneln ansluter till bergsalarna som placerats sydöst om den befintliga anläggningen. I samband med att den nya tunneln kommer att drivas bör SKB försöka åstadkomma en passage genom Singözonen för samtliga tunnlar som är tätare än de nuvarande passagerna för bygg- och drifttunnlarna till den befintliga anläggningen, se vidare Sektion 21.1.

SFR har nu varit i drift sedan 1988. I samband med utbyggnaden förutsätts att driftsystemen för den gamla och nya anläggningen samordnas och att flera av inredningsdetaljerna i den

gamla anläggningen ersätts och att gemensamma funktioner och utrustning samordnas, t ex ventilation och dränering.

I samband med att den nya anläggningen planeras och projekteras bör SKB intensifiera arbetet med att undersöka och bestämma återfyllning av de olika bergsalarna i första hand och anvisa metod för förslutning av anläggningen. Denna information bör bilda underlag för den kommande säkerhetsanalysen inför tillståndsgivningen. Enligt SKB:s planer beräknas byggstart av utbyggnaden ske i början av år 2017.

Del III Kärnbränsleprogrammet

8.2 Huvudskeden och tidsplan

Kärnbränsleprogrammet består av de två delarna Kärnbränsleförvaret och inkapslingsanläggningen Clink och bägge anläggningsprojekten är användare av den teknikutveckling som görs i KBS-3-systemet. Kärnbränsleprogrammet inom SKB är beställare av anläggningarna. Det saknas här en organisationstablå som visar hur SKB organiserat genomförandet av de bägge anläggningarna och hur samordningen organisatoriskt skall ske mellan de bägge delprogrammen under konstruktion och drift.

SKB lämnade år 2006 in en ansökan om att få uppföra inkapslingsanläggningen och mot bakgrund av att ansökan är under granskning hos myndigheterna är beskrivningen i Fud-program 2010 också något begränsad. Den redovisade tidsplanen för Kärnbränsleprogrammets två anläggningar är överskådlig och bra.

8.3 Inkapsling

I avsnittet 8.3.2 som behandlar uppförande av Clink beskriver SKB hur driften av Clab kommer att fortgå under hela uppförandet av inkapslingsanläggningen och att man avser dra nytta av erfarenheterna från utbyggnaden av Clab2. Driften av Clab1 pågick under hela utbyggnaden av Clab2. En viktig komponent i kontrollen av Clab1 och dess bestånd under sprängningsarbetena för Clab2 var det seismiska övervakningssystem som byggdes upp och användes som kontroll av sprängsalvornas funktion och effekter på den befintliga anläggningens funktion och eventuella sprängskador. För uppförandet av Clink kommer det krävas omfattande bergschaktning direkt ovanför de befintliga bergrummen i Clab. För övervakningen av den befintliga anläggningens funktion och bestånd förordas ett motsvarande seismiskt system under schaktningsarbetena för Clink.

8.4 Slutförvarsanläggning

Det slutförvar som SKB presenterar och illustrerar i Figurerna 8-4 och 8-5 är resultatet av en serie platsbeskrivningar och anläggningsutformningar som till slut resulterat i den presenterade platsanpassade slutförvarslösningen. Animeringen och sprängskisserna som visar slutförvaret fullt utbyggt (Figur 8-4 och 8-5) och sprängskisserna som redovisar anläggningen under olika etapper i samband med uppförandet (Figur 8-6,7,8) är av god kvalitet och förmedlar en bra bild av hur anläggningen successivt växer fram tills tidpunkten när centralområdet är utsprängt.

I avsnitt 8.4.2 Uppförande, beskriver SKB hur man avser att göra undersökningar för första deponeringsområdet, hur man driver deponeringstunnel och borrar de första deponeringshålen. Syftet med att färdigställa delar av första deponeringsområdet under pågående utsprängning av centralområdet är att samla geovetenskaplig information för att underbygga en säkerhetsredovisning före provdrift. Det färdigställda området efter samfunktionsprovning används senare för deponering. I Fud-program 2010 saknas moment innan eller under samfunktionsprovningen, t ex en större värmetest utförd i huvudbergarten på slutförvarsdjupet under aktuellt spänningstillstånd. Det är av största vikt att tidigt i projektet få en uppfattning av bergmassans reaktion på borrning av deponeringshål, buffertens reaktion under de torra förhållanden som antas råda i förvaret och de spjälkbrott som kan utvecklas till följd av värmelasten.

I det finska kärnavfallsprogrammet genomför man olika geovetenskapliga tester i nischer som sprängts ut från tillfartstunneln i de djupast belägna delarna av tillfartstunneln till ONKALO och i bergmassor som motsvarar förhållandena i det kommande förvaret. Resultaten av värmetesten som man är i färd med att starta kan komma att leda till modifiering av deponeringssätt, teknik och material som behöver beaktas i säkerhetsredovisningen inför provdrift.

I avsnitt 8.4.4 Arbetsmetodik under uppförande och driftsättning redovisar SKB huvudprocesserna Säkerhetsanalys och Uppförande. Säkerhetsanalysen ger styrningen med krav och restriktioner som krävs för att uppföra en säker anläggning. I den del av Huvudprocesserna som gäller Uppförande saknas t ex rubriken Kontroll och Kontrollprogram.

SKB bör presentera en sammanställning av samtliga kritiska tester och eventuellt långtidstester som behöver genomföras inom de olika geovetenskapliga disciplinerna inför säkerhetsredovisningen före provdrift.

9.2 Styrning och redovisning

Kapitel 9 i Fud-programmet lämnar en översikt av teknikutvecklingen för Kärnbränsleförvaret. Efter en kort beskrivning av utgångspunkterna för teknikutvecklingen, där målsättningen är att finna lösningar som är anpassade till en industriell process, så beskriver SKB den så kallade Leveransstyrmodellen som är en metodik som utvecklats inom Kärnbränsleprogrammet för styrning av teknikutvecklingen. Leveransstyrmodellen indelar teknikutvecklingen i följande faser: konceptfas, konstruktionsfas, implementeringsfas och förvaltningsfas. I Fud-programmet lämnas en beskrivning av de enskilda faserna. Under implementeringsfasen och/eller den inledande delen av förvaltningsfasen bör upprättas de kontrollprogram för system, komponenter och processer som skall gälla under förvaltningsfasen. I arbetet med att utveckla Leveransstyrmodellen har SKB utelämnat upprättande av kontrollprogram och återkommande inspektioner och kontroller. Detta är en brist som SKB bör åtgärda.

9.3 Behov av teknikutveckling

I avsnitt 9.3.6 Förslutningslinjen, beskriver SKB översiktligt behoven av teknikutveckling för förslutningen av Kärnbränsleförvaret när allt använt bränsle har deponerats. SKB poängterar

vikten av att berguttaget i tillfartstunneln ges en god utformning så att förslutningen blir ändamålsenlig. SKB kan här ta lärdom av bristerna vad gäller tunneldrivningen för tillfarten i ONKALO i Finland. Under de inledande ca 100 m av tunneldrivningen i ONKALO använde entreprenören ett ålderdomligt borrhaggregat med gamla riktinstrument vilket resulterade i överberg och mycket ojämn kontur på tunneln. I samband med att ett modernt borrhaggregat sattes in i tunneldrivningen skedde en betydande förbättring av tunnelkonturen. Det är av största vikt för Kärnbränsleförvaret och säkerheten att maskiner, utrustning och personal är intrimmade vid tidpunkten när bergarbetena startar.

Inom området maskiner för berguttaget framhåller SKB att dessa behöver vidareutvecklas men att de maskiner som idag finns tillgängliga för berguttag och injektering av tillfarternas har förutsättning att klara de krav som ställs. SKB behöver bättre specificera vilka ytterligare krav som kommer att ställas på de maskiner som skall användas för berguttag på deponeringsnivån i Kärnbränsleförvaret.

SKB skriver vidare att dokumentation av var och hur tunnarna uppförts i Kärnbränsleförvaret kommer att vara viktigt underlag för säkerhetsredovisningen. Denna information är också av största vikt för redovisningen beträffande safeguard för slutförvaret.

SKB nämner i avsnitt 9.3.7 Berglinjen, att tillämpning av Observationsmetoden kommer att bli särskilt viktigt när det gäller bestämning av deponeringshålens positioner i deponeringstunnlarna. Denna slutsats är riktig.

I avsnittet 9.3.8 Produktionssystem och logistik framhåller SKB att produktionssystem som idag används inom gruvindustrin är av särskilt intresse för SKB eftersom likheterna mellan slutförvarsanläggningen och en gruva är stora. Denna slutsats är riktig och det förhållandet att Sverige fortsatt har en stark teknikutveckling inom gruvbranchen kan säkert komma att vara SKB till hjälp.

I Fud-programmet 2010 redovisar SKB en preliminär struktur för produktionssystemet för slutförvarsanläggningen (Figur 9-2). Den indelning i rubriker och underrubriker som presenteras är inte logisk och övertygande och behöver utvecklas ytterligare.

SKB har den höga målsättningen att kunna simulera all verksamhet vid förvarsanläggningen och har under år 2009 inventerat befintliga programvaror som kan uppfylla SKB:s krav. Denna målsättning är helt i linje med ställda krav från myndigheter och allmänheten om att Kärnbränsleförvaret skall ha en långsiktig säkerhet och att information om verksamheten i anläggningen under uppförandet och senare i drift skall vara spårbar.

Posiva och SKB bedriver tillsammans sedan början av 2000-talet utvecklingsarbetet om horisontell deponering, KBS-3H. I avsnitt 9.3.9 konstaterar SKB att horisontell deponering enligt KBS-3H-metoden kan utgöra ett alternativ till vertikal deponering. I inledningen till Kapitel 16 i Fud-programmet 2010 nämner SKB att vertikal deponering enligt KBS-3V utgör referensutformning men att SKB utreder möjligheten att i ett senare skede övergå till horisontell deponering enligt KBS-3H. Detta kan tolkas så som att KBS-3H-metoden inte skall ses som ett alternativt deponerings sätt såsom bland annat djupa borrhål.

I avsnitt 27.2 presenterar SKB kunskapsläget vad gäller djupa borrhål som en alternativ metod till KBS-3-metoden. SKB upprepar sin bedömning från tidigare Fud-program att deponering i djupa borrhål inte är en realistisk metod för deponering av utbränt kärnbränsle. SKB följer dock teknikutvecklingen vad gäller borrning och deponering i djupa borrhål. SKB kommer också att genomföra en jämförande studie av deponering i djupa borrhål och med KBS-3-metoden vilket är positivt.

12.2 Nuläge och program för teknikutveckling buffert

I detta avsnitt redovisar SKB en referensutformning för bufferten (Figur 12-1). Den totala längden på deponeringshålet för de delar som omfattas av bufferten är 6.7 m. Enligt kriteriet för FPI (Full Perimeter Intersection) och EFPC (Extended Full Perimeter Criteria) vad gäller enskilda sprickor i bergmassan runt deponeringshålet diskvalificeras deponeringshålet för det fall en och samma spricka korsar deponeringshålet. I en nyligen publicerad artikel av A. Hedin (2010) i tidskriften *Mathematical Geosciences* redovisas en analytisk och semi-analytisk lösning på det stereologiska problemet med genomgående sprickor i deponeringshålen för ett KBS-3V-förvar. I artikeln pekar Hedin på möjligheten att i det fall det förekommer en eller flera genomgående sprickor som skär över deponeringshålet kan borrhålet fördjupas så att de genomgående sprickorna hamnar utanför området som omfattas av kapselns position i deponeringshålet. Ett sådant avsteg från referensutformningen innebär en ändring av buffertens längd. I de fortsatta diskussionerna om teknik- och metodutveckling för bufferten bör SKB undersöka och bekräfta att den föreslagna metodiken med fördjupade deponeringshål är en möjlig och säker metod för deponering.

13.2 Nuläge och program – återfyllning

SKB har bestämt att referensutformningen för återfyllning kommer att bestå av förkompakterade bentonitblock och bentonitpellets. Bentonitblocken staplas på varandra och vilar på en bädd av kompakterad bentonitpellets. Den förväntade torra miljön i deponeringstunnlarna bör göra det möjligt att utforma en stabil golvavjämning på vilken blocken maskinellt kan staplas. Den föreslagna lösningen ställer stora krav på sprängningen av tunnelsulan. Den nu föreslagna tekniska utformningen med hjälp av sprängning är dock betydligt bättre än den i Fud-program 2007 föreslagna linsågningen av tunnelsulan för att erhålla ett plant underlag för stapling av bentonitblocken. Linsågning har föreslagits som teknik för att utforma avfasningen av den översta delen av deponeringshålet, se avsnitt 15.5. Linsågning kräver stor och tung utrustning med omfattande vattenspolning under bearbetningen. Vidare krävs särskild utrustning för att transportera ut blocken som bildas vid sågningen. Det framgår inte av Fud-programmet huruvida SKB har övervägt att använda slitsborrning, som tillämpats för försöken i Äspö, för utformning av avfasningen.

14.2 Nuläge och program för teknikutveckling av förslutning

SKB redovisar i detta avsnitt referensutformningen för förslutning av stam- och transporttunnlar samt centralområdet (Figur 14-1) och ramp och schakt (Figur 14-2). Det framgår inte av beskrivningen till de föreslagna förslutningsmaterialen och deras användning i olika delar av anläggningen vilka konceptuella modeller, beräkningsmetoder och

materialegenskaper som har använt vid upprättande av referensutformningen av förslutningen av de olika delarna av Kärnbränsleförvaret.

15.3 Metodik för bergprojektering

SKB har valt att genomföra bergarbetena för Kärnbränsleförvaret enligt europainormen Eurocode EN 1997-1 (2004) - den så kallade Observationsmetoden. Metoden är helt ny och i Sverige är man för närvarande i färd med att författa anvisningar och informera svenska bergbyggare om den nya metoden. Kärnbränsleförvaret kommer att bli ett av de allra första stora undermarksprojekt i Sverige där metoden kommer att tillämpas. SKB har mot den bakgrunden ett extra ansvar för att metoden och dess tillämpningar implementeras på ett korrekt sätt bland berörda konsulter och entreprenörer samt egen personal.

SKB har redovisat resultaten av projekteringen i skede D2 av slutförvaret (SKB, 2009). Om SKB avser att i framtiden bygga ut slutförvaret med ytterligare en deponeringsnivå under den nu planerade på ca 460 m nivå så måste detaljprojekteringen göras om och anpassas till den ökade värmelasten som kommer att bli för fallet med två deponeringsnivåer.

15.4 Verktyg för detaljundersökningar

I avsnittet som behandlar utveckling av teknik och metoder för geologi och geofysik poängterar SKB vikten av att utveckla metoder och instrument för att kunna detektera långa sprickor i närområdet av deponeringshålen och tunnarna. De långa sprickorna har en större sannolikhet att deformeras jämfört med de korta sprickorna och en skjuvning längs långa sprickor kan komma att skada kapseln. I den utveckling som kommer att ske är det också viktigt för SKB att beakta möjligheten att det kan komma att ske sprickpropagering från sprickspetsarna hos de långa sprickorna och att de förlängda sprickorna kan nå kontakt med deponeringshålen och därmed kan skada kapseln och förändra grundvattenströmningen i närområdet. Att kunna karaktärisera geometri och egenskaper hos sprickorna – särskilt de långa - och att karaktärisera de korta sprickorna kring deponeringshålen på förvaringsnivån blir därför en viktig uppgift för SKB i det fortsatta utvecklingsarbetet.

För det bergmekaniska utvecklingsarbetet poängterar SKB att en av de viktigaste kvarstående osäkerheterna i platsmodellen för Forsmark gäller det mekaniska spänningstillståndet. SKB har presenterat en modell av bergspänningarna som till allt väsentligt bygger på mätdata från överborrningsmetoden och som för deponeringsnivån i slutförvaret till största delen bygger på gamla mätdata från tidpunkten för uppförande av reaktorbyggnaden för Forsmark 3. Under platsundersökningarna i Forsmark kunde SKB bara få tillförlitliga mätresultat med överborrningsmetoden ner till ca 200 m djup i borrhålen. Med de hydrauliska metoderna lyckades man mäta ner till större djup i borrhålen men den största och minsta horisontella bergspänningen som mättes upp med dessa metoder är bara ca hälften så stor som resultaten från överborrnningen. SKB har valt att mer förlita sig på överborrnningarna och en motsvarande högspänningsmodell för Forsmark. I slutskedet av platsundersökningarna stoppade SKB alla spänningmätningar och har i stället beslutat att bestämma spänningarna under tunnelarbetena och utsprängningen av centralområdet.

I samband med tunnelarbetena i ONKALO i Finland har Posiva utvecklat en metod med att mäta med en storskalig överborrningsmetod på flera punkter i tunnelväggarna och därefter integrera de punktvisa märesultaten och därur beräkna spänningstillståndet för en större volym berg runt tunneln. Metoden som kallas LSG-LVDT (Long Strain Gauges – Linear Variable Differential Transformer) tar också hänsyn till tunnels geometri vid bestämning av spänningstillståndet för platsen. Metoden är lovande och bör kunna ge tillförlitliga resultat på de mer sprickfattiga delarna under ca 125 m djup i Forsmark förutsatt att sprängskadorna är små. SKB nämner också en andra ny metod kallad SLITS (SLim borehole Thermal Spalling) som ger en möjlighet att bestämma riktningen på huvudspänningarna i horisontal och vertikalplanen. Enligt SKB:s planer kommer fortsatta mätningar med såväl överborrning som hydrauliska metoder att ske i samband med tunnelarbetena för tillfarten till Kärnbränsleförvaret.

När det gäller de termiska egenskaperna för berg avser SKB fortsätta vidareutvecklingen av fältmetoderna för bestämning av värmeledningsförmågan och värmekapaciteten. SKB har under den tid platsundersökningarna pågick testat den finska borrhållsonden TERO i djupborrhålet vid kapsellaboratoriet i Oskarshamn med relativt goda resultat. Borrhållsonden har gett goda resultat vid testningar i Finland. Vilken fältmetod SKB avser att vidareutveckla och senare använda framgår inte av texten i Fud-rapporten vilket är en brist.

Inom ämnesområdet monitorering av teknikutvecklingen som SKB avser genomföra nämner SKB att man börjat utreda förutsättningarna för att installera ett lokalt seismiskt nät i Forsmark. Avsikten är att nätet skall registrera både naturlig seismicitet och inducerad seismicitet från sprängningarna. Ett sådant system finns idag installerat i Olkiluoto. Ett lokalt seismiskt nät bör också planeras på så sätt att det kan användas för att övervaka safeguard för anläggningen och övervaka seismiciteten Kärnbränsleförvaret med hänsyn till de befintliga kärnkraftverken i området. Systemet bör också utformas så att det kan fånga upp seismiciteten från potentiella termoinducerade mikro- och makroskalv från kärnbränslet.

SKB har under de senaste åren genomfört stora forskningsinsatser inom injekteringsområdet för tätning av berg. Injekteringsbehoven på förvaringsdjupet i Forsmark bedöms bli små med undantag för vattenförande sprickor som skär tunnarna. Två olika injekteringsmaterial har använts under forskningsarbetet, ett cementbaserat bruk samt Silica sol. Det återstår för SKB att visa att de utvecklade injekteringsmaterialen i bergsprickorna klarar av den termiska belastningen utan att krackelera eller på annat sätt förlora sin funktion som tätningsmaterial.

15.5.2 Berguttag

SKB slår fast att konventionell borrning/sprängning kommer att användas som metod för berguttaget i Kärnbränsleförvaret. Motivet för detta val kommer SKB att redovisa i ansökan om att få bygga förvaret. Myndigheterna förutsätter dock att SKB noga följer teknikutvecklingen vad gäller tunnelborrningsmetoderna, TBM, i den händelse TBM visar sig vara en bättre och billigare metod för tunneldrivningen på förvaringsnivån.

GPR-radarmätningar har visat sig vara en möjlig metod att bestämma EDZ och dess djup runt tunnelöppningarna. I Fud-programmet 2010 redovisar SKB inmätt tvärsnittsarea (Figur 15-3) och djupet på dispersionszonen enligt radarmätningar i fintätningstunneln i Äspölaboratoriet

(Figur 15-4). Djupet på dispersionszonen som redovisas i figuren speglar den relativa sprickfrekvensen i tunnelväggen och zonen djup ger ett mått på hur djupt sprickfrekvensen är förhöjd. Djupet på dispersionszonen som redovisas i Figur 15-4 kan tolkas så att längs hela den redovisade tunnelsträckan 36 till 44 m varierar djupet på dispersionszonen och därmed djupet på zonen med förhöjd sprickfrekvens mellan 0.23 och 0.56 m in i bergväggen och att det kan tolkas som att potentialen för en sammanhängande zon med förhöjd transmissivitet är stor. Myndigheternas framförda åsikt att SKB bör genomföra en större geohydrologisk fälttest för att bestämma transmissiviteten i hos den störda zonen (EDZ) kvarstår.

15.5.4 Deponeringshål

SKB avser att fortsätta med att vidareutveckla metoden med omvänd stigortsborrning för att borra deponeringshålen. Resultaten från de utförda försöken har gett positiva resultat. I Fud-programmet 2007 redovisade SKB möjligheten att fasa av den översta delen av deponeringshålet för att underlätta för deponeringsmaskinen att föra ner kapseln i deponeringshålet. En avfasning innebär också att tunnelhöjden kan reduceras och utsprängd bergvolym minska. SKB redovisar i Fud-programmet 2010 hur avfasningen av deponeringshålet kan ske med hjälp av linsågning. Alternativa metoder till linsågning föreslås vara sömborrning eller slitsborrning.

16.1 Nuläge och program för KBS-3H – horisontell deponering

I avsnittet 16.1.1 Utformning av ett KBS-3H-förvar, presenterar SKB den teknikutveckling som skett sedan Fud-program 2007. Eftersom berget på förvarsdjupet med största sannolikhet kommer att ha en låg permeabilitet har SKB valt att införa en teknik som tillåter dränering, artificiell bevätning och avluftning enligt Dawe som referensutformning. Mellan supercontainrarna placeras sektionsspargar av kompakterad bentonit som har till syfte att underlätta bevätningen av supercontainrarna och skapa ett gynnsammare temperaturfält i deponeringshålet. En av de viktigaste frågorna för den långsiktiga säkerheten är deponeringshålets stabilitet och särskilt risken för kanalbildning och erosion av bufferten och distansblocken.

Under förutsättning att deponeringshålen riktas parallellt med den största huvudspänningen ($N120^\circ$ till 150°) kommer den mellersta och minsta huvudspänningen att bli dimensionerande för initiering och propagering av spjälkbrotten kring deponeringshålen. I SKB:s spänningsmodell som presenterats i resultaten från platsundersökningarna för Forsmark (SKB TR-08-05) redovisas magnituden 23 MPa för den mellersta och 13 MPa för den minsta (vertikala) huvudspänningen. Dessa värden baserar sig på spänningsmätningar med överborrningsteknik. Med största sannolikhet innebär dessa magnituder att borrhålen förblir stabila i samband med borrning och deponering men att den termiska belastningen i kombination med svälltrycket från bentoniten (initielt och under permafrostskedet) samt det hydrauliska trycket från glaciationsskedet kommer att leda till spjälkbrott i det intakta berget kring deponeringshålen samt propagering av befintliga sprickor i närområdet. Dessa slutsatser kan dras av de bergbrottmekaniska modelleringar som utförts av Backers och Stephansson (2010) för SSM:s räkning. Spjälkbrottens utbredning mot djupet och sektoriellt kring deponeringshålen kommer delvis att motverkas av svälltrycket från bufferten.

SKB har beräknat spjälkbrottens dimensioner med ledning av utförda fältförsök i det s.k. APSE-projektet i Åspölaboratoriet samt undersökningar av spjälkbrott i URL i Kanada. SKB har därefter gjort uppskattningar av permeabilitetsökningen som kan tänkas ske i spjälkbrotten. Denna uppskattning används senare i säkerhetsanalysen för bestämning av radionuklidtransporten. Fält- och laboratorieförsök som belyser permeabilitetsökningen till följd av spjälkbrott runt deponeringshålen saknas ännu.

Bergspänningsmätningarna i Forsmark har visat att riktningen på den största horisontella huvudspänningen i stort sett överensstämmer för de olika metoder som använts, hydrauliska metoder (124°), spjälkbrott (136°) och överborring ($145^\circ \pm 15^\circ$) och att den NW-SE riktningen också överensstämmer med den dominerande horisontella huvudspänningsriktningen i Fennoscandia. Eftersom den valda platsen för slutförvaret kännetecknas av ett relativt stort område med bara två olika bergmassor med likartade egenskaper samt ett begränsat antal stora deformationszoner så kan man förvänta sig ett relativt homogent och likformigt spänningsfält i förvarsområdet.

Kring de större deformationszonerna kan man dock förvänta sig störningar av såväl magnitud som riktning hos spänningsfältet. Eftersom de större deformationszonerna kommer att försees med respektavstånd (100 m) som utesluter deponering i närområdet av zonerna så kan man troligtvis räkna med att spänningsfältet är homogent till både magnitud och riktning i de områden där deponering får ske. Ett homogent spänningsfält i Kärnbränsleförvaret är en stor fördel eftersom deponeringstunnlarna för ett KBS-3V-förvar och deponeringshålen för ett KBS-3H-förvar orienteras så att dessa sammanfaller med riktningen på den största horisontella huvudspänningen. För vertikal deponering kommer alltid den största och mellersta horisontella huvudspänningen att bestämma tangentialspänningen runt deponeringshålet.

16.1.3 Långsiktig säkerhet, KBS-3H – horisontell deponering

I detta avsnitt nämner SKB att teoretiska studier av spjälkning av deponeringshål har utförts och att resultaten visar att den redovisade spänningsmodellen för Forsmark inte kommer att leda till spjälkning. SKB har inte angett någon referens till den teoretiska studien. Samma resultat redovisas av Backers och Stephansson (2010) vid en bergbrottmekanisk analys av vertikal deponering i Forsmark och med tillämpning av SKB:s spänningsmodell och bergparametrar.

Så snart den termiska belastningen från kapslarna tillförs bergmassan sker en spjälkning i borrhålsväggen. Denna spjälkning motverkas delvis av svälltrycket från bufferten.

Sammanfattningsvis ger den nuvarande kunskapen om spänningssituationen i Forsmark att oavsett om spänningsmagnituderna är i överensstämmelse med resultaten från överborringarna eller hydrauliska mätningarna så är en horisontell deponering enligt KBS-3H gynnsammare med hänsyn till stabilitet och långsiktig säkerhet än vertikal deponering. En horisontell deponering i långa borrhål som orienteras parallellt med den största horisontella spänningen ger de lägsta spänningsmagnituderna runt borrhålen. Detta är gynnsamt för stabiliteten och den långsiktiga säkerheten hos Kärnbränsleförvaret.

Del IV Forskning för analys av långsiktig säkerhet

21.1 Initialtillståndet hos tekniska barriärer i SFR

Förstärkningselementen bergbultar och sprutbetong är avgörande för långtidsstabiliteten i SFR. För att kontrollera bultarnas och sprutbetongens bestånd under drift genomför SKB regelbundna testningar, utdragsförsök av bergbultar och vidhäftningstestning av sprutbetong. För att testa bergbultarnas bestånd har SKB låtit installera ett antal testbultar i samband med att anläggningen byggdes för ca 20 år sedan och ett givet antal av dessa bultar har testats fram till nu vad avser korrosion och bärkraft.

Inför den planerade utbyggnaden av SFR behöver SKB upprätta ett nytt kontrollprogram som beaktar den ökade livslängden hos anläggningen och hur testning av befintliga ingjutna bultar skall ske i en framtid för att säkerställa långtidsstabiliteten hos bultarna i den befintliga anläggningen och den planerade tillbyggnaden.

Testningen av sprutbetongen kan i stort sett följa nuvarande rutiner och är inte beroende av platsval i anläggningen. Den utrustning som används för vidhäftningstestningen är emellertid speciell och tillgängligheten till testutrustningen för en längre framtid bör säkerställas av SKB.

I samband med de regelbundet återkommande besiktningarna av berg- och betongkonstruktionerna i SFR har noterats att ytligt belägna armeringar i betongkonstruktionerna rostar till följd av den relativt höga fukthalten i anläggningen, särskilt sommartid. Fortsatta mätningar av vattenmättnadsgraden hos betongen är därför befogat.

Vatteninläckningen till SFR mäts och kontrolleras regelbundet alltsedan driften startade. Med åren kan konstateras att vatteninläckningen minskar med tiden. En betydande mängd av inläckningen till anläggningen kommer från tillfartstunnlarnas passage genom Singözonen. Det inläckande vattnet rinner från Singözonsens passage i öppet dike längs tunnelväggen ner till pumpgropen i botten av Nedre byggtunneln vilket motsvarar den djupast belägna delen i anläggningen. Det rinnande vattnet bidrar till att öka fukten i anläggningen vilket påverkar vattenmättnadsgraden hos betongen vilket i sin tur kan öka korrosionen av armeringen och försämra barriärernas funktion i anläggningen. Enligt de redovisade planerna för utbyggnaden av SFR avser SKB driva en ny tillfartstunnel i direkt anslutning och söder om de två befintliga tunnlar. I samband med den planerade tunneldrivningen bör SKB överväga att förbättra tätningen av samtliga tunnelpassager genom Singözonen och därigenom minska vattenflödet och därigenom förbättra klimatet i anläggningen.

24.2.4 Frysning av buffert och återfyllning

Om densiteten hos buffert och återfyllning minskar genom exempelvis erosion och vattnet fryser i samband med permafrost så leder det till en tryckökning som skulle kunna skada kapseln och berget. SKB har genomfört en studie vilken gör det möjligt att gränssätta tryckökningen för en given temperatur i ett system av frusen bentonit. Studien har visat att det uppkomna trycket inte skadar kapseln. För berget kan dock trycket från frysningen av bentoniten i bufferten skada berget kring deponeringshålet. SKB har uppskattat det maximala trycket vid den lägsta möjliga temperaturen för fallet med ett extremt

permafrostscenario till 26 MPa. Tryckökningen till följd av frysningen överstiger draghållfastheten för det intakta berget som bestämts med indirekta draghållfasthetstester till intervallet 8,4 – 20,9 MPa för sprickdomän FFM01 respektive intervallet 12,8 – 16,6 MPa för sprickdomän FFM06. Tryckökningen kan leda till en viss begränsad uppsprickning och sprickpropagering kring deponeringshålen. Omfattningen är helt beroende av det initiala spänningstillståndet i bergmassan där en högre spänning (enligt SKB:s spänningsmodell) motverkar uppsprickning och sprickpropagering. Vidare är det med nuvarande kunskaper om spjälkbrotten från den termiska belastningen (vilka med säkerhet sker för SKB:s presenterade spänningsmodell) och svälltrycket från bufferten svårt att uppskatta hur situationen med tidigare utbildad sprickbildning och spänningsavlastning stört berget kring deponeringshålen när permafrosten inträder och svällningstrycket från frysningen sätter in.

24.2.5 Vattentransport vid omättade förhållanden för buffert och återfyllning

SKB har utfört modellberäkningar av bevättningsförloppet för olika hydrauliska förhållanden i bergmassan kring deponeringshålen (SKB TR-10-11). Vid antagande om extremt låg hydraulisk konduktivitet i bergmassan 5×10^{-13} m/s och ingen spricka i deponeringshålet som leder in vatten, vilket är en sannolik situation för det täta berget på deponeringsdjupet i Forsmark, visar beräkningarna att det kommer att ta 1 200 år tills dess att full vattenmättnad nås. Det betyder att den maximala temperaturen hos kapseln har passerats och bufferten har hunnit torka och sannolikt krympt och spruckit. Det betyder också att värmeledningsförmågan hos bufferten och pelleten närmast bergväggen i deponeringshålet har ändrat egenskaper och att det med stor sannolikhet skapats ytterligare luftrum mellan bufferten och berget vilket försvårar värmeledningen från kapseln till berget. SKB nämner i detta avsnitt att ytterligare uttorkningsscenarioer vid mycket torrt berg kommer att göras. Den beskrivna uttorkningen av bufferten minskar eller utesluter den förstärkningseffekt som bufferten förväntas ha för att motverka den termoinducerade spjälkningen av berget i deponeringshålet.

Det är av allra största vikt för den långsiktiga säkerheten att de kommande modellberäkningarna av olika uttorkningsscenarioer också innefattar de termo-hydro-mekaniska processerna i berget och speciellt initiering och propagering av spjälkbrott.

24.2.9 Mekaniska processer i buffert och återfyllning

Vid horisontell deponering enligt KBS-3H konceptet kommer supercontainerns metallhölje att korrodera. SKB menar att omvandlingen från järn till magnetit innebär en volymsökning som leder till ett ökat tryck mot kapseln och berget. Det framgår inte av texten vilken tryckökning som omvandlingen kan komma att leda till.

25.2.2 Värmetransport

I samband med platsundersökningarna och redovisning av resultaten av dessa presenterade SKB en stokastisk metod att bestämma bergarternas och bergmassans termiska egenskaper för var och en av platserna Laxemar och Forsmark. Tillsammans med analytiska och semi-analytiska metoder för att bestämma temperaturutbredningen i berget från kapslarna i tid och rum har SKB utvecklat en dimensioneringsmetod för bestämning av centrumavståndet

mellan deponeringstunnlarna och deponeringshålen. Metoden som redovisas i SKB R-09-04 innebär att SKB tar hänsyn till den rumsliga korrelationen av bergets värmelednings-egenskaper för de olika bergdomänerna i designarbetet och på det sättet kan utnyttja den tillgängliga bergvolymen för det givna gränstillståndet att bufferttemperaturen ingenstans får överstiga 100°C för någon kapsel. Den sammanlagda osäkerheten i beräkningsmetoden uppgår till 3.8–6.3 °C. Resultaten från en omfattande serie beräkningar av dels de termiska egenskaperna och den numeriska modelleringen (explicit finit differensmetod) av den termiska processen har redovisats i en serie nomogram för givna ingångsdata på kapselns initialeffekt, tunnelavstånd, luftspalt mellan kapsel och buffert samt bergets värmekapacitet.

Beräkningsresultaten från tillämpning av numeriska 3DEC, och Code Bright-beräkningskoderna har så långt möjligt bekräftats med analytiska metoder och visat sig ge mycket god överensstämmelse vilket starkt bidrar till tillförlitligheten hos metoden att dimensionera den termiska delen av kapselavståndet för givna parametervärden. För den fullständiga analysen av kapselavståndet ingår dessutom att beakta den termomekaniska och hydro-mekaniska utvecklingen av bergmassans respons på den tillförda värmebelastningen från kapslarna. Det betyder att bergspänningarna, portrycket och sprickornas och förkastningarnas transmissivitet under Kärnbränsleförvarets olika faser måste beaktas. Detta har SKB redovisat i den så kallade THM-rapporten, SKB TR-10-23. I rapporten lämnas en sammanfattning av resultaten av den termiska utvecklingen av slutförvaret (kapitel 5) samt ett tillvägagångssätt att utvärdera modellresultaten (kapitel 3). I rapporten argumenterar SKB för att man helt kan bortse från sprickpropagering och förenande (coalescence) av redan existerande sprickor i närområdet kring deponeringshålen bl. a därför att området kring hålen är utsatt för kompressionsspänningar medan det enligt rapportförfattarna och med stöd av en studie av Damjanac och Fairhurst (2010) krävs tensionsspänningar vid sprickspetsarna för att propagering skall kunna ske. Så är det emellertid inte. En nyligen utförd modellering med bergbrottmekaniska koden FRACOD har visat att sprickinitiering, sprickpropagering och förenande av redan existerande sprickor sker i närområdet av deponeringshålen för gynnsamt lokaliserade sprickor med hänsyn till spänningsfältet hos en typisk spricknätsmodell från Forsmark (Backers och Stephansson, 2010). Sprickpropageringen sker under den termiska belastningen och speciellt i samband med glaciation. Sprickinitieringen och propageringen sker företrädesvis som skjvsprickor (Mode II) och inte som tensionssprickor och resultatet leder till längre strömningsvägar och ökad strömning kring deponeringshålen.

För modellering av de kopplade THM processerna i olika skalor hos Kärnbränsleförvaret använder SKB 3DEC modeller. Den använda versionen av 3DEC kan inte behandla sprickinitiering och sprickpropagering hos modellerna.

SKB har beräknat totala spänningarna från spänningsfältet i Forsmark enligt SKB:s spänningsmodell och de termiska spänningarna för tre olika tvärsnitt genom förvaret (A, B och C enligt Figur 6-16 i THM-rapporten). För den centralt belägna panelen B genereras ett kompressionstillskott på ca 15 MPa på förvarsdjupet ca 100 år efter depositionen. På markytan fås tensionsspänningar av storleksordningen 4-5 MPa. Övergången från tension till kompressionsspänningar sker ca 150 m under markytan. Mot bakgrund av att de översta 125 m i Forsmark har betydande bankningsplan innebär detta att det intakta berget under bankningsplanen ner till förvarsnivå (totalt ca 335 m) kommer att transmitta de termiska spänningarna. En mindre mäktighet på det intakta berget innebär en viss ökning av

dragspänningarna i den översta delen av det intakta berget över Kärnbränsleförvaret. En 3DEC simulering av inverkan av mindre hållfast berg för de översta 125 m för den centrala profilen B behöver utföras för att studera inverkan av bankningsplanen på den globala spänningsskildningen kring förvaret.

I SKB:s analyser av den hydro-mekaniska kopplingen används en kontinuerlig flytgränsmodell enligt Itasca som ursprungligen bygger på Barton-Bandis sprickmodell och Bartons empiriska modell för sambandet mellan mekanisk och hydraulisk apertur hos sprickor eller förkastningar. Sambandet mellan djupet och effektivspänningen respektive relativa transmissiviteten i bergmassan kring förvaret (Figur 6-18 – 6-22 i THM rapporten) visar på nödvändigheten av att studera de kopplade hydromekaniska processerna av flödet kring förvaret. Denna slutsats är i linje med SKB:s framförda slutsatser i delen Program i avsnitt 25.2.3 Grundvatten (sid. 332).

I kapitel 8 av THM-rapporten redovisar SKB resultaten av transmissivitetsförändringarna till följd av skjuvning längs ett antal antagna sprickor i närfältområdet till förvaret. Det återstår för SKB att visa hur flödet i närområdet kring deponeringstunnel och deponeringshåll förändras vid tillämpning av upprättade och presenterade hydrauliska DFN-modeller. Vidare bör SKB vidareutveckla materialmodellen för de spänningsinducerade transmissionsmodellerna.

25.2.5 Rörelser i intakt berg

I avsnittet som behandlar "Slutsatser i Fud 2007 och dess granskning" beskriver SKB de utvecklingsinsatser som gjordes under platsundersökningarna för att förbättra metoderna att bestämma bergspänningarna. När det gäller mätningarna i Laxemar, där magnituderna uppmättes till att motsvara normala förhållanden för Fennoscandia, gav mätningarna tillförlitliga resultat. För Forsmark saknas ännu en övergripande sammanställning av erfarenheter och möjliga förklaringar till de problem som uppstod under mätningarna. I remissyttrandet från Kärnavfallsrådet (SOU 2008: 70) till Fud-program 2007 riktar rådet skarp kritik kring avsaknaden av tillförlitliga mätresultat på förvaringsnivån och de stora kontrasterna i mätresultaten mellan överborring och hydrauliska metoderna. SKB framhåller med rätta att de bägge metoderna ger tämligen samstämmig bild av riktningen på största huvudspänningen ner till nivån för Kärnbränsleförvaret. Sett ur ett bergmekaniskt perspektiv visar spänningsmagnituderna som mättes upp för de bägge metoderna däremot stora skillnader och inte "vissa skillnader" som SKB skriver.

Enligt SKB visar resultaten av Apse-försöken i Äspölaboratoriet bl. a. att det behövs små mothållande krafter av gummiblåsan för att motverka spjälkbrotten i deponeringshållens väggar. Ett liknande resultat fick SKB i fältförsöket Caps där mothållet utgjordes av lecakulor i de 0,5 m diameter stora borrhålen. Såväl gummi som lecakulor kännetecknas av en relativt hög friktion i kontakten med berg. Det är därför av största vikt att SKB provar ut den mothållande effekten för bentonit eller andra material med motsvarande friktionsegenskaper. För att kunna få en riktig uppfattning om lecakulornas mothållande effekt mot spjälkbrott borde ett eller flera av värmesterna i Caps utförts i borrhåll utan lecakulor.

Den största osäkerheten när det gäller att bedöma risken för spjälkbrott är värmetransporten i deponeringshål och speciell inverkan av vattenmättnadsgraden hos berget. Denna bedömning bekräftas av fältförsöket Caps där testhål som borrats och hettats upp i blött berg resulterade i mer spjälkbrott jämfört med torra borrhål. Detta betyder att SKB måste utveckla bestämda designkriterier för deponering i berg med olika vattenmättnad. Under platsundersökningarna i Laxemar och Forsmark testades de termiska egenskaperna för vattenmättade bergartsprover. Resultaten från bl. a fältförsöket Caps visar att testning av de termiska egenskaperna behöver göras för olika vattenhalter.

25.2.6 Termisk rörelse

De preliminära resultaten av Prototypförvarets termomekaniska utveckling tycks visa att tangentialspänningarna runt hålet inte når upp till gränsen för spjälkbrott. För att med säkerhet åstadkomma spjälkbrott i Apse-försöken orienterades orten så att största horisontella huvudspänningen riktades vinkelrätt mot tunnelaxeln. I tillägg gavs orten en sådan utformning i sulan så att spänningarna koncentrerades ytterligare kring försökshålet. I Prototypförvaret har försöken inte orienterats eller utformats för att optimera eller särskilt studera de bergmekaniska aspekterna vid deponering. Det är därför helt logiskt om spjälkbrott uteblir i Prototypförvaret.

25.2.7 Reaktivering – rörelse längs befintliga sprickor

SKB har genomfört tre omfattande studier av olika mekaniska och geofysiska effekter i jordskorpan från stora glaciationer och speciellt Weichselglaciationen (SKB TR-05-04, SKB-R-06-95 och SKB-TR-09-15). Resultaten av studierna har starkt bidragit till förståelsen av de mekaniska aspekterna och processerna och studierna är av stor betydelse för att bedöma spänningssituationen i den Fennoscandiska skölden och speciellt på förvarsplatsen. Resultaten av den studie som presenterades 2009 (SKB-TR-09-15) har direkt använts för att bestämma effekterna av stora jordskalv på ett KBS-3-förvar under deglaciationskedet av kommande glaciationer. För modelleringen av de mekaniska effekterna i jordskorpan har SKB använt finita elementkoden Abaqus för den efterföljande analysen av effekterna av stora jordskalv har diskreta elementmetoden och koden 3DEC använts. Frågan kan ställas om SKB har övervägt att använda en och samma beräkningskod för att analysera effekterna av stora jordskalv som kan tänkas uppkomma under deglaciationsstadiet från kommande nedisningar.

I samband med SKB:s presentation av SR-Can redovisades metoden att analysera inverkan av stora jordskalv från jordskalvszoner i förvarsområdet på så kallade målsprickor i förvarets omedelbara närhet. Sedan dess har metoden vidareutvecklats och en lång rad detaljanalyser har utförts och bidragit till en ökad förståelse av möjligheterna att generera förskjutningar längs befintliga sprickor. SKB utgår i sina arbeten från en sprickmodell med cirkulära sprickor där den maximata förskjutningen antas ske i sprickans centrum och förskjutningen noll vid sprickspetsen (ekvation 5-3 i TR-08-11). Med kännedom om att sprickpropagering mycket väl kan initieras vid sprickspetsen för vissa spänningssituationer så är sprickmodellen mindre trolig och SKB bör försöka finna bättre utvecklade modeller för att beskriva de möjliga och sannolika förskjutningsbeloppen hos målsprickorna.

I programmet för avsnittet om Reaktivering och rörelse längs befintliga sprickor, beskriver SKB kortfattat den nuvarande situationen beträffande det nationella digitala seismiska nätet. Det är av allra största vikt att de seismiska data som har samlats under de ca tio år som nätet varit i drift ges en fullödig analys och att fokalplansmekanismer studeras i syfte att öka kunskapen om spänningstillståndet i Fennoscandia. I detta arbete förordas ett djupare samarbete med forskargruppen för World Stress Map projektet vid German Research Centre for Geosciences i Tyskland. Ansvarig för projektet är Dr Oliver Heidbach.

Pärvieförkastningen är idag en av de mest kända och studerade postglaciala förkastningarna i världen och SKB:s arbeten har starkt bidragit till att så är fallet. Kunskaperna om förkastningen och dess genes är av utomordentligt stor betydelse för bedömningen och beräkningen av riskerna för storskaliga rörelser av deformationszoner under postglaciala skedet i försvarsområdet och vidare den långsiktiga säkerheten hos förvaret. De i Fud-program 2010 föreslagna seismiska nätverket kring förkastningen och tillämpningen av modern satellitradarteknik för bestämning av rörelserna hos förkastningen samt borrhningen av djupa kärnborrhåll inom ramen för Postglacial Fault Drilling Project är alla väl motiverade och angelägna forskningsinsatser av Pärvieförkastningen.

25.2.8 Sprickbildning

I avsnittet 25.2.2 Värmetransport kommenteras SKB:s uppfattning om att ny sprickbildning i närområdet av depositionshålen icke behöver beaktas och samtidigt redovisas översiktligt resultaten från en bergbrottmekanisk modellering som visar att sprickbildning och sprickpropagering kan ske från sprickspetsarna hos befintliga sprickor.

När det gäller sprickbildning i den störda zonen (EDZ) kommenteras kunskapsläget i avsnitt 15.5.2. Frågor som gäller den skadade zonens utbredning och egenskaper kommer i fortsättning att behandlas inom ramen för Berglinjens aktiviteter och undersökningsprogram vilket faller sig logiskt.

Prototypförvaret i Äspö som kommer att öppnas under 2011 förväntas ge svar på om ny sprickbildning skett kring deponeringshålet till följd av värmelasten och svälltrycket från bufferten. De nya beräkningar och modelleringar som SKB planerar utföra med ledning av resultaten från öppningen av Prototypförvaret är välgrundade och utgör en viktig del i utvärderingen av försöket och allmänt om KBS-3V-metodens tillförlitlighet och verknings sätt.

25.2.9 Tidsberoende deformationer

SKB har låtit genomföra en utredning om mikrosprickors uppträdande, subkritisk sprickbildning och krypning i berg. Utredningsarbetet har behandlat den övergripande frågan om det existerar en lägsta gräns under vilket kristallint berg upphör att visa deformationer för givna belastningar. Kort och gott existerar det en krypgräns för berg? Författarna till utredningen har studerat litteraturen kring korttidskrypning av bergarter, numeriska modeller och belägg från plattetektoniska processer och observationer av bergspänningar i bergtäkter och kommer till slutsatsen att det existerar en spänningströskel som motsvarande en signifikant del av den sprickinitierade spänningen vilken uppgår till 40-60 procent av den enaxliga tryckhållfastheten. Det skulle betyda att den antagna flytränsen för kristallint hårt berg skulle motsvara ca 50-100 MPa vilket knappast kan vara möjligt som en

flytgräns för berg. Denna lägsta gräns är alldeles för hög. Det andra argumentet som SKB valt att åberopa bygger på ett antagande om exponentiell extrapolation av krypförsök utförda under relativt kort tid och därefter linjärt extrapolerade till en slutlig nollhållfasthet. Av utredningens resultat drar SKB slutsatsen att tidsberoende deformationsprocesser kan avfärdas när det gäller den långsiktiga säkerheten. SKB:s slutsats är inte tillräckligt och vetenskapligt grundad att täcka in frågan om betydelsen av tidsberoende deformationer för den långsiktiga säkerheten kvarstår som otillräckligt belyst i Fud-program 2010.

25.3.1 Modellering – DFN

När det gäller kunskapsläget om geologiska och hydrologiska DFN modeller så väntar vetenskapssamhället på ett genombrott vad gäller grunderna för diskreta sprickmodeller och deras geovetenskapliga tillämpning. I det inledande skedet av platsundersökningarna provades ansatsen att täcka in de geologiska och hydrogeologiska egenskaperna med en och samma DFN modell. Detta visade sig inte gå och senare under redovisningen av resultaten från platsundersökningarna presenterade SKB åtskilda geologiska och hydrogeologiska spricknätverksmodeller. I forskningsprogrammet för de kommande tre åren kommer SKB att fortsätta förbättra DFN-modellerna samt föra in ett mer integrerat synsätt på informationen och som i ökad utsträckning beaktar de geologiska, hydrologiska och bergmekaniska aspekterna på berget. För att uppnå detta redovisar SKB ett 6-punktsprogram för de kommande årens forskningsinsatser. Arbetet i programmet har karaktären av polering av de befintliga DFN-metoderna i stället för mer genomgripande och nytänkande i ansatserna. Vidare kan SKB:s målsättning att ha en DFN-modell diskuteras. Det kanske kan vara en väg framåt i utvecklingsarbetet men behöver inte vara ett krav eller mål i nuvarande skede i kärnbränsleprogrammet.

25.3.2 Integrerad modellering – THM-utveckling

SKB har genom åren gjort betydande framsteg vad gäller metod- och kodutveckling av termo-hydro-mekanisk utveckling av Kärnbränsleförvarets ingenjörbarriärer och flera av de viktiga processerna i geosfären. Utvecklingen och tillämpningarna har i första hand avsett beräkningskoden Abaqus. SKB har dessutom varit en aktiv partner i det internationella forskningsprojektet DECOVALEX som har till uppgift att utveckla och tillämpa beräkningsprogram för THM-processer i geologiska material samt modellera väldefinierade fält- och laborieförsök med betydelse för kärnbränsleförvar. I den nu pågående fasen av projektet har SKB varit administrativ huvudman och dessutom ställt resultaten från fältförsöket Apse vid Äspölaboratoriet till projektets förfogande för modelleringsarbetena. I avsnittet som behandlar Nyvunnen kunskap sedan Fud 2007, lämnar SKB en sammanfattning av sina insatser i DECOVALEX-projektet samt något om de resultat som redovisats av de sju modelleringsteam som arbetat med simuleringen av experimenten i Apse-projektet. Resultaten av SKB:s medverkan i projektet har varit positiva och medverkat till att SKB fått flera av de vetenskapliga problemen i Apse-projektet belysta och analyserade med ett flertal olika ansatser, konceptuella modeller och ett flertal olika beräkningskoder.

I stycket som behandlar Slutsatser i Fud 2007 och dess granskning beskriver SKB hur myndigheterna kommenterat att förändringen av transmissiviteten i närområdet till följd av sprickpropagering från sprickspetsarna hos befintliga sprickor bör studeras. Sprickpropagering kan vara orsakad av bergguttaget, termiska belastningen, svälltrycket från bufferten under termiska fasen och permafrosten samt den ökade tryckgradienten hos

grundvattnet i samband med deglaciationen. SKI framförde åsikten att 3DEC-koden behöver modifieras för att kunna skapa T-M modeller för närområdet. SKB har valt att inte kommentera myndigheternas framförda kritik i Fud 2010. I den så kallade THM-rapporten, SKB-TR-10-23, argumenterar SKB att effekterna av propagering av befintliga sprickor i närområdet kan försummas i jämförelse med de osäkerheter som kan relateras till egenskaperna hos deponeringstunnlarnas EDZ och spjälkningsbrotten i deponeringshålen. SKB har att visa att så är fallet, se också kommentaren i avsnitt 25.2.2.

I programmet för den kommande 3-årsperioden beskriver SKB ett antal nya och intressanta utvecklingsvägar när det gäller integrerad modellering och speciellt anknytningen till de modellbehov som kommer att krävas vid tillämpningen av Observationsmetoden. SKB har också tagit del av myndigheternas synpunkter om behovet av att utveckla nya modellverktyg och konstitutiva samband för transmissivitetens spänningsberoende och deformationszonernas hållfasthet. SKB:s avsikt att inleda generiska sprödekoniska modelleringar välkomnas och kan ses som en fortsatt utveckling av de modelleringsarbeten som behandlat storskalig spänningsutveckling och förkastningsstabilitet under en glaciationscykel.

3. Redaktionella kommentarer

9.3 Behov av teknikutveckling

I avsnittet 9.3.1 Övergripande behov redovisar SKB i punktform ett antal övergripande åtgärdsbehov när det gäller teknikutveckling. I den fjärde punkten skriver SKB: "Integrerad produktionsanpassning avseende berguttag, kontrollprogram, deponering och återfyllning." Det oklart vad SKB avser med kontrollprogram i denna uppräknning av arbetsmoment.

4. Tack

Ett tack till Öivind Toverud som har lämnat värdefulla redaktionella och sakliga synpunkter på innehållet i den första versionen av rapporten.

5. Referenser

Backers T and Stephansson O (2010). The Influence of Temperature and Fluid Pressure on the Fracture Network Evolution Around Deposition Holes – A Modelling Study Conducted for SSM, Sweden. Swedish Radiation Safety Authority, Research 2010:XX..

Damjanac B and Fairhurst C (2010). Evidence for a long-term strength threshold in crystalline rock. *Rock Mech Rock Eng*, doi 10.1007/s00603-010-0090-9.

Hedin A (2010) Stereological method for reducing probability of earthquake-induced damage in a nuclear waste repository. *Math Geosci*. DOI 10.1007/s11004-010-9303-8.

Hökmark H and Fälth B (2003). Thermal Dimensioning of the Deep Repository. Influence of Canister Spacing, Canister Power, Rock Thermal Properties and Nearfield Design on the Maximum Canister Surface Temperature. SKB TR-03-09. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co, Stockholm Sweden.

Min K-B and Stephansson O (2009). Shear-induced Fracture Slip and Permeability Change. Implications for Long-term Performance of a Deep Geological Repository. SSM Research Report 2009:08. Swedish Radiation Safety Authority, Stockholm, Sweden.

Shen B and Stephansson (1996). Site 94. Modelling of Rock Fracture Propagation for Nuclear waste Disposal. SKI Report 96-18. Swedish Radiation Safety Authority, Stockholm, Sweden.

Statens offentliga utredningar 2011

Kronologisk förteckning

1. Svart på vitt – om jämställdhet i akademien. U.
2. Välfärdsstaten i arbete. Inkomstrygghet och omfördelning med incitament till arbete. Fi.
3. Sanktionsavgifter på trygghetsområdet. S.
4. Genomförande av EU:s regelverk om inre vattenvägar i svensk rätt. N.
5. Bemanningsdirektivets genomförande i Sverige. A.
6. Missbruket, Kunskapen, Vården. Missbruksutredningens forskningsbilaga. S.
7. Transporter av frihetsberövade. Ju.
8. Den framtida gymnasiesärskolan – en likvärdig utbildning för ungdomar med utvecklingsstörning. U.
9. Barnen som samhället svek. Åtgärder med anledning av övergrepp och allvarliga försummelse i samhällsvården. S.
10. Antidopning Sverige. En ny väg för arbetet mot dopning. Ku.
11. Långtidsutredningen 2011. Huvudbetänkande. Fi.
12. Medfinansiering av transportinfrastruktur – utvärdering av förhandlingsarbetet jämte överväganden om brukaravgifter och lånevillkor. N.
13. Uppföljning av signalspaningslagen. Fö.
14. Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2011 – geologin, barriärerna, alternativen. M.
15. Rehabiliteringsrådets slutbetänkande. S.
16. Allmän skyldighet att hjälpa nödställda? Ju.
17. Förvar. Ju.
18. Strålsäkerhet – gällande rätt i ny form. M.
19. Tid för snabb flexibel inläring. U.
20. Dataskydd vid europeiskt polisiärt och straffrättsligt samarbete. Dataskyddsrambeslutet, Europolanställdas befattning med hemliga uppgifter. Ju.
21. Utrikesförvaltning i världsklass. UD.
22. Spirit of Innovation. UD.
23. Revision av livsmedelskedjans kontrollmyndigheter. L.
24. Sänkt restaurang- och cateringmoms. Fi.
25. Utökad polisamarbete i Norden och EU. Ju.
26. Studiemedel för gränslös kunskap. U.
27. Så enkelt som möjligt för så många som möjligt. – En bit på väg. N.
28. Cirkulär migration och utveckling – förslag och framåtblick. Ju.
29. Samlat, genomtänkt och uthålligt? En utvärdering av regeringens nationella handlingsplan för mänskliga rättigheter 2006–2009. + Lättläst + Daisy + Punktskrift. A.
30. Med rätt att välja – flexibel utbildning för elever som tillhör specialskolans målgrupp. U.
31. Staten som fastighetsägare och hyresgäst. S.
32. En ny upphovsrättslag. Ju.
33. Rapportera, anmäla och avhjälpa missförhållanden – för barns och elevers bästa. U.
34. Etappmål i miljömålssystemet. M.
35. Bättre insatser vid missbruk och beroende – Individ, kunskapen och ansvaret. S.
36. Forskning och utveckling samt försvarslastik – i det reformerade försvaret. Fö.
37. Rovdjurens bevarandestatus. M.
38. Ett myndighetsgemensamt servicecenter. S.
39. Likvärdiga förutsättningar – Översyn av den kommunala utjämningen + Bilagor. Fi.
40. Månadsuppgifter – snabbt och enkelt. S.

41. Alkoholserving på särskilda boenden. S.
42. En reformerad domstolslagstiftning. Ju.
43. Offentlig upphandling från eget företag?!
– och vissa andra frågor. Fi.
44. Fjärrvärme i konkurrens. N.
45. Förundersökning
– objektivitet, beslag, dokumentation
m.m. Ju.
46. FRANS
Framtida regelverk och ansvars-
förhållanden på naturgasmarknaden i
Sverige. N.
47. En samlad ekobrottsbekämpning. Ju.
48. Vård efter behov och på lika villkor
– en mänsklig rättighet. S.
49. Medfinansiering av transportinfrastruktur
– Ett nytt system för den långsiktiga
planeringen av transportinfrastruktur
samt riktlinjer och processer för med-
finansiering. N
50. Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s
Fud-program 2010. M.

Statens offentliga utredningar 2011

Systematisk förteckning

Justitiedepartementet

- Transporter av frihetsberövade. [7]
Allmän skyldighet att hjälpa nödställda? [16]
Förvar. [17]
Dataskydd vid europeiskt polisiärt och straffrättsligt samarbete.
Dataskyddsrambeslutet, Europolanställas befattningsmed hemliga uppgifter. [20]
Utökad polissamarbete i Norden och EU. [25]
Cirkulär migration och utveckling
– förslag och framåtblick. [28]
En ny upphovsrättslag. [32]
En reformerad domstolslagstiftning. [42]
Förundersökning
– objektivitet, beslag, dokumentation m.m. [45]
En samlad ekobrottsbekämpning. [47]

Utrikesdepartementet

- Utrikesförvaltning i världsklass. [21]
Spirit of Innovation. [22]

Försvarsdepartementet

- Uppföljning av signalspaningslagen. [13]
Forskning och utveckling samt försvarslogistik
– i det reformerade försvaret. [36]

Socialdepartementet

- Sanktionsavgifter på trygghetsområdet. [3]
Missbruket, Kunskapen, Vården.
Missbruksutredningens forskningsbilaga. [6]
Barnen som samhället svek.
Åtgärder med anledning av övergrepp och allvarliga försummelser i samhällsvården. [9]
Rehabiliteringsrådets slutbetänkande. [15]
Staten som fastighetsägare och hyresgäst. [31]
Bättre insatser vid missbruk och beroende –
Individen, kunskapen och ansvaret. [35]

- Ett myndighetsgemensamt servicecenter. [38]
Månadsuppgifter – snabbt och enkelt. [40]
Alkoholserving på särskilda boenden. [41]
Vård efter behov och på lika villkor
– en mänsklig rättighet. [48]

Finansdepartementet

- Välfärdsstaten i arbete.
Inkomsttrygghet och omfördelning med incitament till arbete. [2]
Långtidsutredningen 2011. Huvudbetänkande. [11]
Sänkt restaurang- och cateringmoms. [24]
Likvärdiga förutsättningar – Översyn av den kommunala utjämningen + Bilagor. [39]
Offentlig upphandling från eget företag?
– och vissa andra frågor. [43]

Utbildningsdepartementet

- Svart på vitt – om jämställdhet i akademien. [1]
Den framtida gymnasiesärskolan
– en likvärdig utbildning för ungdomar med utvecklingsstörning. [8]
Tid för snabb flexibel inläring. [19]
Studiemedel för gränslös kunskap. [26]
Med rätt att välja
– flexibel utbildning för elever som tillhör specialskolans målgrupp. [30]
Rapportera, anmäla och avhjälpa missförhållanden – för barns och elevers bästa. [33]

Landsbygdsdepartementet

- Revision av livsmedelskedjans kontrollmyndigheter. [23]

Miljödepartementet

- Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2011
– geologin, barriärerna, alternativen. [14]
Strålsäkerhet – gällande rätt i ny form. [18]
Etappmål i miljömålssystemet. [34]
Rovdjurens bevarandestatus. [37]

Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud-program 2010. [50].

Näringsdepartementet

Genomförande av EU:s regelverk om inre vattenvägar i svensk rätt. [4]

Medfinansiering av transportinfrastruktur – utvärdering av förhandlingsarbetet jämte överväganden om brukaravgifter och lånevillkor. [12]

Så enkelt som möjligt för så många som möjligt. – En bit på väg. [27]

Fjärrvärme i konkurrens. [44]

FRANS

Framtida regelverk och ansvarsförhållanden på naturgasmarknaden i Sverige. [46]

Medfinansiering av transportinfrastruktur – Ett nytt system för den långsiktiga planeringen av transportinfrastruktur samt riktlinjer och processer för medfinansiering. [49]

Kulturdepartementet

Antidopning Sverige.

En ny väg för arbetet mot dopning. [10]

Arbetsmarknadsdepartementet

Bemanningsdirektivets genomförande i Sverige. [5]

Samlat, genomtänkt och uthålligt?

En utvärdering av regeringens nationella handlingsplan för mänskliga rättigheter 2006–2009. + Lättläst + Daisy + Punktskrift. [29]

Kärnavfallsrådets yttrande över Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB) program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall 2010.

Statens råd för kärnavfallsfrågor – Kärnavfallsrådet – är en fristående vetenskaplig kommitté inom Miljödepartementet. Rådets ledamöter har sakkunskap inom teknik, naturvetenskap, etik och samhällsvetenskap.

Kärnavfallsrådet har som en av sina uppgifter att bedöma SKB:s forsknings-, utvecklings- och demonstrationsprogram. Föreliggande rapport innehåller Kärnavfallsrådets bedömning av Fud-program 2010. Granskningen utgår från ledamöternas sakområden och de aspekter som rådet tidigare har tagit upp, bland annat i tidigare granskningar och kunskapslägesrapporter.

Kärnavfallsrådets granskning omfattar synpunkter på SKB:s handlingsplan, Loma-programmet, kärnbränsleprogrammet, forskning för analys av långsiktig säkerhet och samhällsvetenskaplig forskning. Den har kompletterats med utredningar genomförda av konsulter inom geosfär, klimatutveckling och hydrologi. Dessa granskningsrapporter bifogas som bilaga till föreliggande rapport.

Rapporten finns tillgänglig på www.karnavfallsradet.se och kan även beställas hos karnavfallsradet@environment.ministry.se.



Fritzes

ett Wolters Kluwer-företag

106 47 Stockholm Tel 08-598 191 90 Fax 08-598 191 91 order.fritzes@nj.se www.fritzes.se

ISBN 978-91-38-23596-6 ISSN 0375-250X

