

Statens råd för kärnavfallsfrågor (Kärnavfallsrådet) är en vetenskaplig kommitté under Miljödepartementet med uppgift att utreda frågor om kärnavfall och om avställning och rivning av kärntekniska anläggningar samt att ge regeringen råd i dessa frågor. Kärnavfallsrådet ska vidare identifiera och analysera frågeställningar inom kärnavfallsområdet som har väsentlig betydelse för beslutsprocessen och bedömningen av slutförvarets långsiktiga säkerhet och se till att dessa frågor blir genomlysta. Huvuduppgifter är att:

- redovisa en självständig bedömning av kunskapsläget på kärnavfallsområdet,
- granska Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB) Forsknings-, utvecklings- och demonstrationsprogram (Fud), samt
- bidra till en genomlysning och dialog inom kärnavfallsområdet genom att anordna utfrågningar och seminarier.

Kärnavfallsrådets ledamöter är kvalificerade vetenskapsmän från svenska och nordiska universitet och högskolor. De representerar oberoende sakkunskap inom områden som är av betydelse för hantering och slutförvaring av använt kärnbränsle och annat radioaktivt avfall såsom teknik och naturvetenskap samt etik, humaniora och samhällsvetenskap.

Denna rapport utgör Kärnavfallsrådets yttrande över Svensk Kärnbränslehantering AB:s Fud-program 2007 – ”Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall”.

Kärnavfallsrådet
Miljödepartementet
103 33 Stockholm
www.karnavfallsradet.se

Slutförvaring av kärnavfall. Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud-program 2007.

Slutförvaring av kärnavfall

Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud-program 2007



 **Fritzes**
ett Wolters Kluwer-företag

106 47 Stockholm Tel 08-690 91 90 Fax 08-690 91 91 order.fritzes@nj.se www.fritzes.se

ISBN 978-91-38-23022-0 ISSN 0375-250X

SOU 2008:70

KÄRNAVALLSRÅDET
Swedish National Council for Nuclear Waste


STATENS OFFENTLIGA
UTREDNINGAR

SOU 2008:70

Innehåll

1	Kärnavfallsrådets sammanfattande bedömning	9
1.1	Övergripande bedömning.....	9
1.2	Frågeställningar av särskild betydelse	9
1.3	Övriga slutsatser	11
2	Utgångspunkter för Kärnavfallsrådets granskning av Fud-program 2007	17
3	Systemanalys	19
3.1	Bakgrund	19
3.2	Systemanalysen – process och produkt	20
3.3	Kärnavfallsrådets slutsatser	23
4	Redovisning av alternativa metoder	25
4.1	Strategiska metodval	25
4.2	KBS-3H	29
4.3	Kärnavfallsrådets slutsatser	30
5	Platsvalet	31
5.1	Återkoppling från platsundersökningarna till Fud-arbetet	31

5.2	Samlad utvärdering och platsval	32
5.3	Kärnavfallsrådets slutsatser.....	33
6	Säkerhetsanalysen	35
6.1	Bakgrund.....	35
6.2	Säkerhetsanalysens olika roller	36
6.3	Helheten och detaljerna	40
6.4	Kopplingen mellan säkerhetsanalys och naturvetenskaplig/teknisk forskning	44
6.5	Kärnavfallsrådets slutsatser.....	47
7	Kapsel.....	49
7.1	Kapseltillverkning.....	49
7.2	Kapselns långtidsegenskaper	54
7.3	Kärnavfallsrådets slutsatser.....	57
8	Buffert	59
8.1	Kvalitetskontroll med avseende på bentonitkvalitet i slutförvaret.....	59
8.2	Några synpunkter på SKB:s forskningsprogram med avseende på buffert.....	61
8.3	Kärnavfallsrådets slutsatser.....	66
9	Återfyllning och förslutning.....	67
9.1	Återfyllning av deponeringstunnlar	67
9.2	Förslutning – Återfyllning av andra utrymmen än deponeringstunnlar	70
9.3	Kärnavfallsrådets slutsatser.....	71

10 Geosfär	73
10.1 Bergbyggnadsteknik	73
10.2 Geosfären	78
10.3 Kärnavfallsrådets slutsatser	86
11 Biosfär	87
11.1 Bakgrund	87
11.2 Kärnavfallsrådets överväganden och bedömning	88
11.3 Kärnavfallsrådets slutsatser	92
12 Klimatutveckling	93
12.1 Inlandsisodynamik och glacial hydrologi	93
12.2 Isostatiska förändringar och strandlinjeförskjutning	94
12.3 Permafrosttillväxt	94
12.4 Klimat och klimatvariationer.....	95
12.5 Kärnavfallsrådets slutsatser	95
13 Återtag	97
14 Samhällsvetenskaplig forskning	99
14.1 SKB:s samhällsforskningsprogram	99
14.2 Kärnavfallsrådets synpunkter.....	100
14.3 Kärnavfallsrådets slutsatser	105
15 LOMA och rivning.....	107
15.1 Bakgrund	107
15.2 Kärnavfallsrådets överväganden	108
15.3 Kärnavfallsrådets slutsatser	109

Bilagor

Bilaga 1	Det svenska kärnavfallsprogrammet	111
Bilaga 2	Beskrivning av buffertens kemiska sammansättning	119
Bilaga 3	Sorption och ytkemiska reaktioner i bufferten	123
Bilaga 4	En systemanalytisk betraktelse av säkerhetsanalysen.....	129

1 Kärnavfallsrådets sammanfattande bedömning

1.1 Övergripande bedömning

Kärnavfallsrådet anser att Fud-program 2007 uppfyller de krav som föreskrivs i kärntekniklagen. Rådet har dock i sin granskning identifierat ett antal frågeställningar och brister som rådet särskilt vill betona och som redovisas i avsnitt 1.2 och 1.3.

SKB:s ansökningar enligt kärntekniklagen och miljöbalken om slutförvaret för använt kärnbränsle är planerad till mitten av 2010, dvs. några månader innan SKB överlämnar Fud-program 2010. Utgående från granskningen av Fud-program 2007 är det Kärnavfallsrådets bedömning att det återstår en hel del forskning och utveckling för att SKB ska kunna lämna in kompletta ansökningar enligt kärntekniklagen och miljöbalken.

1.2 Frågeställningar av särskild betydelse

Oklarheter avseende buffert, återfyllnad och förslutning

Kärnavfallsrådet anser att det finns många oklarheter avseende buffert, återfyllnad och förslutning i detta skede i SKB:s program.

- De viktigaste egenskaperna hos materialet i bufferten bör specificeras och gränsvärden med avseende på t.ex. svällningspotential, retentionsförmåga för radionuklider, kemisk stabilitet, hydraulisk diffusion, motståndskraft mot erosion samt halt av föroreningar (oorganiska såväl som organiska) bör fastställas.
- Mekanisk hållfasthet och kemisk stabilitet för kompakterade komponenter i bufferten ska säkerställas.

- Transportmodeller för de viktigaste radioaktiva isotoperna (med positiv och negativ laddning) genom bentoniten bör upprättas.
- 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. SKB måste även kunna visa att buffert och återfyllning kan uppfylla de initialtillstånd som säkerhetsanalysen utgår ifrån.
- Gränstytorna mellan återfyllningen och bufferten respektive berget kräver särskilda forskningsinsatser.
- SKB behöver överväga de problem som kan uppstå under den förväntade klimatförändringen (på grund av växthuseffekten), t.ex. högre nivåer och flöden av grundvatten samt förändrad vattenkemi och högre havsnivå, sannolikt redan under byggtiden.
- Den slutliga utformningen av förslutningen ska bestämmas av bergets egenskaper med avseende på t.ex. sprickor på olika djup och salthalt. Detta förutsätter dock kunskap om vilka egenskaper olika materialval – och blandningar av material - har och hur dessa kan samverka på bästa sätt.

Rådet vill understryka vikten av att dessa oklarheter är utredda inför kommande ansökan.

Platsvalet

Kärnavfallsrådet betonar 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 anser rådet att den säkerhetsargumentation som ligger till grund för valet av plats måste utgå ifrån två omfattande säkerhetsanalyser (dvs. två SR-Site) – en för Forsmark och en för Laxemar. Rådet vill därmed betona vikten av att en vetenskapligt korrekt jämförelse görs mellan platserna inför det kommande platsvalet.

Rådet finner det besvärande att hittills utförda, lyckade bergspänningsmätningar i Forsmark är få och osäkra på planerat förvarsdjup. De långtgående slutsatser, som dras av resultaten, kan påverka såväl platsvalet som konstruktionen och byggandet samt på längre sikt också beständigheten av förvaret. Rådet anser det därför nödvändigt att kunskaperna om bergspänningarna, framför allt på planerat förvarsdjup i Forsmark, avsevärt förbättras innan slutligt

val av plats görs. Enligt SKB finns dock ännu inte publicerade resultat som eventuellt kan klarlägga vissa osäkerheter.

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.

Säkerhetsanalysen

SKB:s säkerhetsanalyser ska visa att förslaget slutförvarssystem uppfyller myndigheternas krav på långsiktig säkerhet. Kärnavfallsrådet vill även betona säkerhetsanalysens interna roll inom SKB som verktyg dels för att följa upp förvarets säkerhet under uppförande och drift dels för att ge riktlinjer för teknikutveckling och forskning.

SKB behöver därför säkerställa och visa att återkopplingar och informationsöverföring mellan olika delar av SKB:s organisation fungerar, t.ex. avseende den återkoppling som görs från säkerhetsanalys till forskningsprogram, program för detaljerade undersökningar och teknikutveckling.

1.3 Övriga slutsatser

Systemanalys

- Ett viktigt syfte med en systemanalys är att beskriva och motivera vilka parametrar som kan eller bör hållas öppna för modifiering och förbättring (dvs. vilken flexibilitet som bör finnas och kan accepteras i SKB:s program), och när i tiden beslut om precisering ska tas. Ett exempel är i vilken grad de viktigaste egenskaperna hos materialet i bufferten ska vara specificerade vid ansökningstillfället. Ett annat exempel är hur en eventuell övergång från KBS-3V-konceptet till KBS-3H-konceptet kan ske i framtiden.
- Kärnavfallsrådet bedömer att systemanalytisk metodik är värdefull som del i en lärprocess som styrs av intressenterna och som innebär analys från nya infallsvinklar och anpassning av systemgränsen i dialog med centrala aktörer.

Redovisning av alternativa metoder och utformningar

- Kärnavfallsrådet anser 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. SKB bör presentera en sådan redogörelse senast i samband med att bolaget ansöker om tillstånd enligt kärntekniklagen och miljöbalken. Kärnavfallsrådet anser att SKB i en sådan redogörelse tydligt ska motivera sina ställningstaganden avseende konceptet djupa borrhål. SKB bör i detta sammanhang även tydliggöra sina planer för KBS-3 med horisontell deponering (KBS-3H).

Kapsel

- Material och gjutningsprocess för segjärnsinsatsen måste optimeras så att specificerade krav kan uppfyllas. Annars måste någon annan typ av material användas.
- För att garantera tillförlitligheten under hela kapseltillverkningen och slutförvarsperioden måste kvalitetskrav med avseende på tillverkningsdefekter i kapselns alla delar, inklusive svetsar, utvecklas. Dessa kriterier bör beakta materialstruktur, materialegenskaper och defekter såväl i kopparhöljet som i gjutjärnsinsatsen. Kvalitetskraven måste verifieras med metoder för oförstörande provning (OFP).
- Fortsatta korrosionsstudier erfordras inom olika områden: accelererade långtidsförsök för spänningsskorrosion, allmän korrosion i klorid- och sulfidhaltiga vatten med bentonit, och mikrobiell korrosion.
- Fortsatta korrosionsstudier erfordras inom olika områden: accelererade långtidsförsök för spänningsskorrosion, allmän korrosion i klorid- och sulfidhaltiga vatten med bentonit, och mikrobiell korrosion samt eventuell korrosion i syrefritt vatten.

Geosfär

- Förbättrade kunskaper om bergspänningar på planerat förvaringsdjup i Forsmark är nödvändiga. Generella studier bör genomföras avseende vilken effekt rådande och förändrade bergspänningar kan ha på vattengenomsläppligheten i sprickor i

olika riktningar och därmed konsekvenserna för detaljdesignen av förvaret. Dessutom bör mätningar av eventuella berg rörelser i såväl Forsmark som Oskarshamn fortsätta en period under behandlingen av platsansökan och sedan på den utvalda platsen en längre tid vid byggande och drift av förvaret.

- Ytterligare FoU om injektering för tätning av sprickor är nödvändig. En tidplan för olika moment i detta FoU-program bör redovisas.
- Bättre redovisning av den s.k. störda zonens utbredning och egenskaper vid försiktig sprängning bör göras liksom en motivering varför fullortsborrning övergivits.
- Ytterligare aspekter om förändringar vid öppet förvar bör utredas såsom förändringar i grundvattenkemin, ”kortslutning”, dvs. sammankoppling av olika grundvattenförande zoner samt ändrade bergspänningsförhållanden.
- 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.

Biosfär

- SKB måste tydligare belysa hur resultaten av biosfärlärosarbetet integreras i säkerhetsanalysen och MKB-processen och vilken betydelse biosfären kommer att få för lokaliseringen.
- SKB bör ta fram känslighetsanalyser av modelleringsresultaten beträffande biosfären.
- SKB bör ta fram ett program för modellering av förhållandena vid en förväntad klimatförändring.

Klimatutveckling

- 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.
- De erhållna resultaten måste beaktas i planering, projektering och byggande av slutförvaret. Som påpekats på skilda ställen i

remissyttrandet (se kapitlen 9, 10 och 12) har inte alltid hänsyn tagits till den nya kunskapen om klimatförändringarna.

Återtag

- SKB:s ambitionsnivå för att belysa möjligheter och risker med återtag är tillräcklig.

Samhällsforskning

- Samhällsforskningsprogrammet bör kompletteras med studier av framtida ekonomiska konsekvenser av kärnavfallsfrågans hantering, främst ekonomiska kostnads-nyttoanalyser. Detta behövs bl.a. för att bedöma den samhälleliga resursåtgången för alternativa lösningar.
- Forskningsprojekt angående omvärldsförändringar och säkerhetskultur (för precisering se punkt 2 i avsnitt 14.2.4) bedömer vi vara ett mycket angeläget forskningsfält eftersom sådan forskning kan bidra till att belysa den sociala barriären för säkerheten i slutförvarslösningen.
- SKB:s samhällsforskningsprogram bör fortsätta efter att ansökan lämnats in 2010 och utvecklas på liknande sätt som Fud-programmet för naturvetenskap och teknik.

LOMA och rivning

- 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 och rivning.
- 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

2 Utgångspunkter för Kärnavfallsrådets granskning av Fud-program 2007

Samhällets krav på en säker hantering och slutförvaring av i första hand använt kärnbränsle samt rivning av de kärntekniska anläggningarna har kommit till uttryck främst i 1984 års kärntekniklag, i SKI:s och SSI:s föreskrifter samt i miljöbalken. (En allmän beskrivning av det svenska kärnavfallsprogrammet finns i bilaga 1.)

Den granskning av SKB:s Fud-program 2007 som Kärnavfallsrådet nu presenterar innebär en bedömning av om Fud-program 2007 uppfyller de krav som föreskrivs i kärntekniklagen. Rådet tar också ställning till om SKB:s beskrivning av utfört, pågående och planerat arbete med forskning, utveckling och demonstration verkar övertygande, liksom om detta arbete har förutsättningar att leda fram till att samhällets krav på i första hand en säker slutförvaring av det högaktiva avfallet (det använda kärnbränslet) från det svenska kärnkraftsprogrammet kan tillgodoses.

SKB planerar att i mitten av år 2010 ansöka om tillstånd enligt kärntekniklagen och miljöbalken för ett system för slutförvaring av det använda kärnbränslet. Dessa ansökningar kommer att avse ett slutförvar enligt KBS-3-metoden och att detta slutförvar förutsätts bli lokaliserat till en av de två platser som nu har undersökts, alltså nära Forsmarks kärnkraftverk eller vid Laxemar ett par km från Oskarshamns kärnkraftverk. SKB utgår vidare från att nuvarande ordning med Fud-program vart tredje år behålls.

Kärnavfallsrådet konstaterar att Fud-program 2007 alltså är det sista Fud-programmet innan SKB lämnar in sina ansökningar. Rådet har haft detta som en utgångspunkt i sin granskning och fokuserar sin granskning på de frågeställningar som bedöms vara mest kritiska i detta skede.

Ett viktigt led i förberedelserna utgörs av den genomlysning av olika frågeställningar som rådet har genomfört under senare år. Här syftas i första hand på följande seminarier och utfrågningar:

- Kärnavfall – Vilka alternativ för metod och plats för redovisas? (Februari 2006, se Rapport 2006:1).
- Slutförvaring av använt kärnbränsle – Regelsystem och olika aktörers roller under beslutsprocessen (November 2006, se Rapport 2007:1).
- Djupa borrhål – Ett alternativ för slutförvaring av använt kärnbränsle? (mars 2007, se Rapport 2007:6).
- Rivning av nedlagda kärntekniska anläggningar (december 2007, se Rapport 2008:1).
- Systemanalys för slutförvaring av kärnavfall (april 2008, Rapport 2008:2, utges senare i år).
- Platsval för slutförvar av kärnavfall – på vilka grunder? (juni 2008, Rapport 2008:3, utges senare i år).

3 Systemanalys

3.1 Bakgrund

Regeringen, myndigheterna (SKI och SSI) och Oskarshamns kommun har genom åren ställt krav på SKB avseende systemanalys. SKB å sin sida har vid ett flertal tillfällen redovisat systemanalyser, både på en övergripande nivå avseende val av strategi för hantering av det använda kärnbränslet (t.ex. SKB rapport R-00-32) och på en mer detaljerad nivå avseende KBS-3-metoden (t.ex. SKB rapport R-00-29 och R-06-117).

I beslutet om Fud-program 2005 formulerade regeringen kravet att SKB ”i sitt fortsatta forsknings- och utvecklingsarbete ska genomföra en systemanalys av hela slutförvarssystemet (inkapslingsanläggning, transporter och slutförvar). Denna systemanalys ska medge en samlad säkerhetsbedömning av hela slutförvarssystemet inklusive hur principer för säkerhet och strålskydd praktiskt ska tillämpas i säkerhetsanalyser.”

Myndigheterna har i samband med ett flertal Fud-granskningar framfört att SKB på ett systematiskt sätt måste redovisa sitt metodval, alternativa lösningar, olika detaljutformningar av det sökta alternativet samt kopplingen mellan systemets olika delar. Myndigheterna har också efterfrågat en koppling mellan systemanalys och analys av den långsiktiga säkerheten.

Oskarshamns kommun ställde inför start av platsundersökningarna 13 villkor i ett beslut i kommunfullmäktige den 11 mars 2002. Ett av dessa gäller systemanalys och lyder: ”SKB:s systemanalys har ännu inte levt upp till myndigheternas krav och kommunens förväntningar, eftersom den mer har varit en redovisning av systemets olika delar än en verklig analys av helheten. För Oskarshamn måste SKB:s kommande redovisningar omfatta ett helt slutförvarssystem

med Clab, inkapsling, transporter och slutförvar, med alla kopplingar dem emellan”.

I dagsläget är dock myndigheterna och SKB eniga om att en separat systemredovisning inte är nödvändig eftersom myndigheternas krav nu finns formulerade i föreskrifter och allmänna råd (se minnesanteckningar från myndigheternas samråd med SKB om system- och säkerhetsanalys, 2007-05-11).

Kärnavfallsrådet konstaterar att SKB valt att inte diskutera systemanalys i Fud-program 2007. Rådet anser dock att det hade varit lämpligt att i Fud-sammanhang motivera varför systemanalysen inte längre behövs så att regeringen kan ta ställning till om det krav man ställde i beslutet avseende Fud-program 95 är uppfyllt.

3.2 Systemanalysen – process och produkt

För att bl.a. få en klarhet i systemanalysens eventuella roll i samband med SKB:s kommande tillståndsansökningar genomförde Kärnavfallsrådet under våren en utfrågning om systemanalysens roll¹. Kärnavfallsrådets bedömning är att en systemanalys (avseende ett slutförvarssystem för kärnavfall) bör ses som en process såväl som en produkt:

Om en aktör (t.ex. regeringen, en berörd myndighet eller kommun, eller SKB självt) vill få ut något specifikt av en systematisk analys av ett slutförvarssystem, behöver en dialog föras om *vilket system eller delsystem* som ska redovisas, och med *vilket eller vilka syften* (t.ex. kostnadsanalys, materialflöden, kommunalt perspektiv, strålskyddskrav etc.). Detta ställer naturligtvis krav på att respektive aktör kan precisera sina avgränsningar och förväntningar på redovisningen på ett tydligt sätt.

Systemanalysen kan således ses som en process som pågår kontinuerligt under hela slutförvarsprogrammet. Verksamheten kan periodvis gå på sparlåga, men en beredskap måste finnas att aktivera processen om någon eller några aktörer aktualiserar nya relevanta frågor. Vid detta tillfälle är målet för systemanalysen att ta fram en produkt, som föreslår lösningar till de nya frågorna. Det vore naivt att tro att systemgräns och syfte skulle kunna fastställas en gång för alla. Istället bör systemanalysen ses som en värdefull

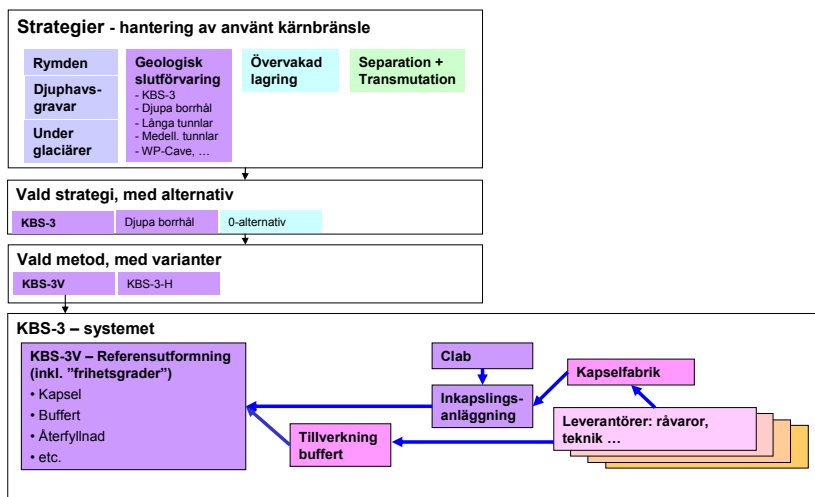
¹ Utfrågning den 24 april 2008 om systemanalys för slutförvaring av kärnavfall, Näringslivets Hus, Stockholm

del i en lärprocess som styrs av intressenterna och som innebär analys från nya infallsvinklar och anpassning av systemgränsen i dialog med centrala aktörer.

Systemanalysen som process² kan beskrivas som en "Intressentmodell" eller "Blomstermodell". Systemets intressenter är grupperade som kronbladen i en blomma omkring analysen av det aktuella systemet. En stor del av intressenternas respektive system ligger utanför den aktuella systemgränsen. Nya intressenter/aktörer och verksamheter utanför systemet aktualiserar nya frågor som kräver revidering av systemgränsen och analys från nya infallsvinklar. I detta synsätt är Systemanalysen en lärprocess som styrs av intressenterna och drivs framåt av det som ligger utanför systemet.

Figur 3.1 ger en översiktlig och förenklad beskrivning av en process för val av strategi (med alternativ), samt vald metod, med varianter, som lett fram till den valda metoden KBS-3.

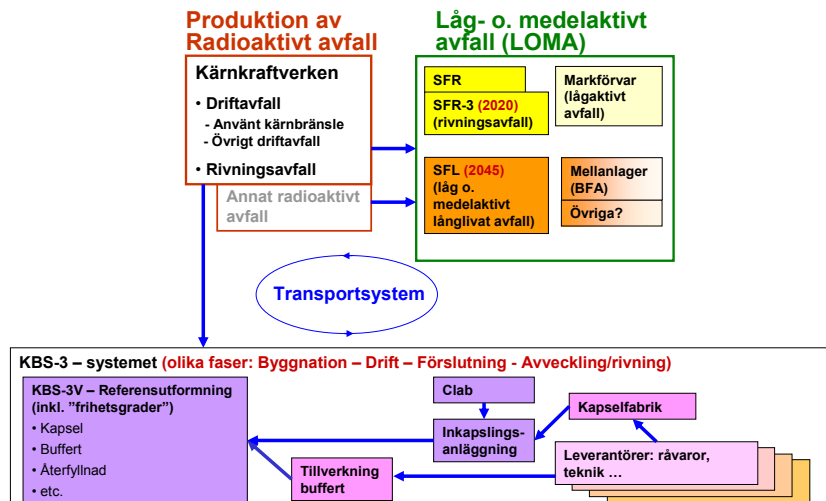
Figur 3.1 Process för val av metod för slutförvarssystem



Figur 3.2 ger en översiktlig och förenklad beskrivning av systemet för produktion av radioaktivt avfall kopplat till ett slutförvarssystem enligt KBS-3-konceptet.

² CATWOE-modellen som beskrivs i bilaga 4 utvecklar "blomstermodellen" med identifiering av olika typer av intressenter och deras syften och världsbilder

Figur 3.2 System för hantering av radioaktivt avfall



Ett annat syfte med en systemanalys kan vara att beskriva och motivera systemets *frihetsgrader*, d.v.s. vilka parametrar som kan eller bör hållas öppna för modifiering och förbättring, och när i tiden beslut om precisering bör tas. Exempel på sådana frihetsgrader i SKB:s slutförvarsprogram är bl.a.:

- Kapseln; val av kvalitet på järnet i kapselinsatsen
- Referensmaterial för bufferten
- Referensmaterial för återfyllnad
- Referensmaterial för förslutning
- Varianter av KBS-3 som KBS-3H (horisontell deponering av kapseln)
- Eventuella mellanlager för LOMA-systemet

Avseende KBS-3H så har SKB meddelat att de planerar att ta fram denna alternativa utformning av KBS-3-systemet till motsvarande nivå som KBS-3V (vertikal deponering) till omkring år 2012, dvs. ca 2 år efter det att SKB planerat att lämna in ansökningar om ett slutförvarssystem.

3.3 Kärnavfallsrådets slutsatser

- Ett viktigt syfte med en systemanalys är att beskriva och motivera vilka parametrar som kan eller bör hållas öppna för modifiering och förbättring (dvs. vilken flexibilitet som bör finnas och kan accepteras i SKB:s program), och när i tiden beslut om precisering ska tas. Ett exempel är i vilken grad de viktigaste egenskaperna hos materialet i bufferten ska vara specificerade vid ansökningstillfället. Ett annat exempel är hur en eventuell övergång från KBS-3V-konceptet till KBS-3H-konceptet kan ske i framtiden.
- Kärnavfallsrådet bedömer att systemanalytisk metodik är värdefull som del i en lärprocess som styrs av intressenterna och som innebär analys från nya infallsvinklar och anpassning av systemgränsen i dialog med centrala aktörer.

4 Redovisning av alternativa metoder

I detta kapitel ger Kärnavfallsrådet sina synpunkter på SKB:s arbete avseende såväl alternativa *metoder* till KBS-3-konceptet som den alternativa *utförningen* (varianten) av KBS-3 med horisontell deponering (KBS-3H).

4.1 Strategiska metodval

Regeringen har år 2001 bedömt att SKB ”bör använda KBS-3-metoden som planeringsförutsättning för de platsundersökningar som genomförts i Forsmark och Laxemar. I det sammanhanget underströk regeringen ”att ett slutligt godkännande av viss metod för slutförvaring inte kan göras förrän i samband med ett framtida ställningstagande till ansökningar om tillstånd enligt miljöbalken och kärntekniklagen att uppföra ett slutförvar för använt kärnbränsle.” Regeringen har också, i skilda sammanhang och senast i beslutet år 2005 med anledning av SKB:s Fud-program 2004, framhållit att SKB bör fortsätta att bevaka teknikutvecklingen avseende olika alternativ för omhändertagande av använt kärnbränsle.

Granskningen av SKB:s Fud-program 2004 ledde Kärnavfallsrådet till bl.a. följande slutsatser i fråga om alternativa metoder för slutförvaring av använt kärnbränsle (SOU 2005:47 s. 133–134):

- Med nuvarande kunskap om tänkbara alternativ till KBS-3-metoden finns starka skäl att fortsätta med nuvarande inriktning mot direktdeponering enligt KBS-3-metoden. Det skulle inte vara acceptabelt att senarelägga det svenska slutförvarsprogrammet med hänvisning till alternativa metoder som möjlig teknik.

- Det är angeläget att SKB studerar alternativa metoder som kan förväntas vara tekniskt genomförbara och att detta kan visas i samband med miljöprövningen.

Kärnavfallsrådet konstaterar att SKB har valt att i Fud-program 2007 inte på ett samlat sätt diskutera de motiv som kan finnas för andra alternativ än KBS-3-metoden. SKB redovisar sitt arbete inom alternativfrågan på s. 383–394 och av programmet framgår (s. 394) bl.a. att SKB avser att redovisa sina motiv för bedömning av alternativet djupa borrhål senast i samband med kommande ansökningar om tillstånd till ett slutförvar enligt KBS-3-metoden.

Kärnavfallsrådet utgår från att SKB i en sådan redovisning på ett ingående och klargörande sätt redogör för de överväganden som har lett fram till den metod som har valts och de skäl som finns för och emot de alternativa metoder som har övervägts. Rådet menar att en sådan redogörelse har stor betydelse för tilltron till SKB:s arbete såväl hos de olika myndigheter och andra som deltar i prövningen av de aktuella ansökningarna som hos en bred allmänhet.

4.1.1 Separation och transmutation

Kärnavfallsrådet anser att den av SKB skisserade nivån för insatser inom området separation och transmutation är väl avvägd. Rådet ansluter sig till SKB:s bedömning att transmutation förutsätter att man i vårt land har bestämt sig för en väsentligt långvarigare satsning på ett kärnenergiprogram än vad som för närvarande gäller. Rådet konstaterar dock att även val av denna teknik leder till långlivat avfall om än i mindre volymer.

4.1.2 Djupa borrhål

SKB har i Fud-Program 2007 bedömt att motiv saknas för att genomföra ett forskningsprogram för djupa borrhål. Bedömningen grundas på dels SKB:s egna studier från början av 1990-talet, dels studier som SKB låtit utföra under åren 2000 – 2006.

Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning publicerade i mitten av år 2006 en studie om slutförvaring av högaktivt kärnavfall i djupa borrhål (MKG-Rapport 1). I studien hävdas att ”ny kunskap och landvinningar inom hydrologi och borrhåsteknik har ökat

möjligheterna att använda djupa borrhål för en slutförvaring av det svenska kärnavfallet” (s. 24). Författarens huvudtes är att det behövs en mer ingående analys innan konceptet djupa borrhål kan avföras från fortsatt diskussion. Bl.a. behöver det klarläggas om konceptets hydrogeologiska grundförutsättning föreligger, nämligen att det finns ett grundvatten på 3-5 km djup i svensk berggrund som är tillräckligt stabilt densitetsskiktat.

Diskussionen, bl.a. i massmedia, om det eventuella behovet av fortsatta forsknings- och utvecklingsinsatser kring alternativet djupa borrhål, ledde till att Kärnavfallsrådet beslutade att i mars 2007 anordna en särskild utfrågning i ämnet. Från SKB fristående experter på bl.a. borrhåsteknik och hydrogeologi engagerades för presentationer och blev utfrågade, liksom också företrädare för SKB, Kärnkraftinspektionen, Strålskyddsinstitutet och miljöorganisationer. Syftet var att ytterligare genomlysja genomförbarhet samt för- och nackdelar med detta alternativ.

Det framkom att det nu finns bättre utsikter än enligt tidigare bedömningar att möta de borrhåstekniska svårigheterna. Ett omfattande och kostsamt tekniskt utvecklingsarbete krävs dock. SKB:s syn vid detta tillfälle var att även om de borrhåstekniska problemen kan lösas, så ändrar detta inte konceptets svagheter när det gäller den långsiktiga säkerheten.

I Kärnavfallsrådets rapport från utfrågningen (Rapport 2007:6) redovisar rådet ett antal reflektioner över de argument som framfördes från olika håll, främst från SKB och från miljöorganisationerna. Rådet finner att följande citat från rapporten (s. 100 f) också har sin giltighet i denna granskning:

Om man, som SKB, menar att djupa borrhål som slutförvarskoncept har allvarliga inneboende principiella nackdelar som inte kan undanröjas med mer forskning är det logiskt att minimera sådana, i så fall onödiga, kostnader. Frågan är emellertid om dessa nackdelar (t.ex. minskad möjlighet till reparerbarhet under drifttiden, minskad anpassningsförmåga till platsens geologiska förhållanden, avvikelse från flerbarrriärprincipen) är faktiska nackdelar för alla aktörer eller för samhället i stort, eller om de tjänar som argument för SKB:s intentioner. Det är också, som SKB:s företrädare framförde, en fråga om hur långt SKB rimligen kan driva en alternativ metod som man faktiskt inte tror på. De som å andra sidan förespråkar mer forskning inklusive borrhåtering av ett eller flera djupa hål, behöver precisera vad som skulle vara syftet. Är det för att få svar på frågan om stabila grundvattenförhållanden på stora djup, eller för att få svar på frågan om det rent tekniskt går att borra djupa hål med så stora dimensioner som krävs? Vad gör man om det blir positiva svar på dessa frågor? Även i denna fråga framförs

argument som till synes vilar på olika bedömningar om vad som går att göra. SKB anser att säkerheten inte kommer att kunna bedömas bättre med hjälp av ett fåtal provborrningar, medan Åhäll¹ och MKG ser mer optimistiskt på möjligheterna att få fram relevanta kunskaper.

Gunnar Nord² menar att det är kärnkraftsindustrin som själva måste driva och bekosta den teknikutveckling som krävs. Frågor som diskuterades under utfrågningen och som behöver besvaras om samhället vill gå vidare med djupa borrhål är därmed vem som ska utföra ytterligare FoU, och hur denna forskning och teknikutveckling ska finansieras.

Som redan har framgått av den rapport om kunskapsläget på kärnavfallsområdet som rådet lämnade till regeringen i juni 2007 (SOU 2007:38) var rådets slutsats efter utfrågningen kring djupa borrhål (s. 46) ”att det inte verkar finnas någon i miljöbalkens mening tillgänglig teknik för deponering i djupa borrhål och att sådan teknik inte kan förväntas bli tillgänglig inom tidshorizonten för den planerade beslutsprocessen”. Såväl borrhåsteknik som sensorteknik har emellertid utvecklats under de senaste 10–15 åren. Rådet ansåg därför ”att det finns mycket goda skäl för SKB att tydligt redovisa och motivera sina ställningstaganden vad gäller konceptet” dels i Fud-Program 2007, dels i de aviserade ansökningarna om tillstånd enligt miljöbalken och kärntekniklagen att anlägga ett slutförvar för använt kärnbränsle.

Kärnavfallsrådet konstaterar nu att SKB har valt att i Fud-Program 2007 inte närmare återge eller kommentera de diskussioner som fördes vid den nämnda utfrågningen och inte heller på annat sätt hittills presenterat en mer ingående jämförelse mellan KBS-3-metoden och alternativet djupa borrhål. Det framgår emellertid av programmet (s. 394) att SKB avser att avrapportera motiven för sina bedömningar ”senast i samband med ansöknings-tillfället för slutförvarssystemet” och då presentera en översiktlig jämförelse mellan KBS-3-metoden och djupa borrhål. Enligt SKB kommer en sådan jämförelse avse sex aspekter, nämligen (1) förutsättningar för lokalisering samt karakterisering och val av förvarsplats, (2) borrhåstekniken i dag och dess utvecklingsmöjligheter, (3) förutsättningar för uppförande, drift, och förslutning, (4) kärnteknisk säkerhet vid hantering av inkapslat använt kärnbränsle, (5) fysiskt skydd och kärnämneskontroll samt (6) långsiktig säkerhet för ett förslutet förvar.

¹ Karl Inge Åhäll är författare till den i texten omnämnda MKG-rapporten 1.

² Gunnar Nord är expert på borrhåsteknik, knuten till Atlas Copco.

Det framgår vidare av Fud-Program 2007 att SKB avser fortsätta att följa utvecklingen inom ämnesområdet djupa borrhål, även om man inte anser det motiverat att genomföra något forskningsprogram.

Kärnavfallsrådet bedömer fortfarande att det i dagsläget inte verkar finnas någon i miljöbalkens mening tillgänglig teknik för deponering i djupa borrhål. Rådet vill dock på nytt framhålla angelägenheten av att SKB, senast i samband med ansökningar om tillstånd enligt miljöbalken och kärntekniklagen att anlägga ett slutförvar för använt kärnbränsle, tydligt redovisar och motiverar sina ställningstaganden avseende konceptet djupa borrhål. Rådet är naturligtvis positivt till att forskning bedrivs inom området, men menar att det inte måste vara SKB som bedriver sådan forskning.

4.2 KBS-3H

KBS-3 konceptet har av SKB i huvudsak studerats med vertikala deponeringshål för kapslarna. SKB har även studerat en alternativ utformning med horisontell deponering, KBS-3H. I denna fråga samarbetar SKB med Posiva. I Äspölaboratoriet pågår försök för utvärdering av detta koncept.

SKB säger i Fud-program 2007 att hittillsvarande arbete visat att konceptet bedöms ha flera osäkerheter och problemställningar som kanalbildning i buffertmaterialet, stränga krav på vatteninflödet till deponeringstunneln, heterogen vattenmättnad och sprickbildning i distansblocken mellan de s.k. paketen.

SKB avser att genomföra en platsspecifik säkerhetsanalys för konceptet KBS-3H för den plats som SKB väljer som plats för slutförvaret. Syftet är att kunna jämföra säkerheten för de två alternativen vertikal deponering respektive horisontell deponering.

SKB anger också i Fud-rapport 2007 att beslut om att byta till horisontell deponering kan göras när tillräckligt underlag finns för jämförelse med KBS-3V och att detta kommer kunna ske omkring år 2012/2013. Kärnavfallsrådet konstaterar att Strålsäkerhetsmyndigheten och Miljödomstolen vid denna tidpunkt troligtvis kommer att ha påbörjat sin granskning av SKB:s ansökan om ett slutförvar enligt KBS-3V-metoden och att ett regeringsbeslut kan förväntas inom en relativt nära framtid. Rådet anser därför att det är angeläget att SKB redovisar hur ett eventuellt byte till KBS-3H kan ske.

4.3 Kärnavfallsrådets slutsatser

- Kärnavfallsrådet anser 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. SKB bör presentera en sådan redogörelse senast i samband med att bolaget ansöker om tillstånd enligt kärntekniklagen och miljöbalken. Kärnavfallsrådet anser att SKB i en sådan redogörelse tydligt ska motivera sina ställningstaganden avseende konceptet djupa borrhål. SKB bör i detta sammanhang även tydliggöra sina planer för KBS-3 med horisontell deponering (KBS-3H).

5 Platsvalet

5.1 Återkoppling från platsundersökningarna till Fud-arbetet

Kärnavfallsrådet har tidigare (SOU 2005:47) framhållit vikten av att undersökningarna utförs på ett likartat sätt, så att en vetenskapligt korrekt jämförelse kan göras mellan platserna. Det är också viktigt att beskrivningen av platserna blir likartad och presentationen lättförståelig så att även lekmän ska kunna bedöma lämpligaste plats. De korta beskrivande avsnitten i Fud 2007 lämnar därvid en del övrigt att önska. Vad gäller Forsmark saknas t.ex. teckenförklaring till den geologiska kartan och dessutom finns inga uppgifter om förekommande bergarter i texten ("hade berggrund, som motiverade fortsatta undersökningar"). Beträffande Laxemar finns inga tektoniska zoner markerade på den geologiska kartan, som däremot har en tydlig teckenförklaring. Vid motiveringen för val av delområde för fortsatta undersökningar i Forsmark anförs främst praktiska skäl men endast enstaka geovetenskapliga. Vad gäller Simpevarp och Laxemar finns såväl geovetenskapliga som praktiska motiv för valet av delområde.

Modeller för platsbeskrivning har utvecklats stegvis och anpassats till platsspecifika förhållanden. Ökad vikt har lagts vid konceptuella beskrivningar, vilket är föredömligt för förståelsen av komplicerade sammanhang. Några goda exempel finns i Biosfärskapitlet, men flera exempel borde presenterats på andra lämpliga avsnitt, t.ex. i Geosfärskapitlet. Det är också värdefullt, att tonvikt lagts på en samstämd geologisk, bergmekanisk och hydrogeologisk beskrivning av olika parametrar samt en slutlig integrerad platsbeskrivande modell.

Långtidsobservationer framhålls som nödvändiga på ett flertal ställen i texten. Rådet anser, att för att få en samlad bild av var, när och hur dessa observationer kommer att utföras, måste ett program presenteras, där också metoder för utvärderingen av mätdata redovisas. Då dels utvecklingen av såväl mät- som utvärderingsteknik är snabb, dels nya mätbehov kan uppstå, t.ex. på grund av störningar under byggskedet, bör det också anges att programmet vid behov ska revideras. Referensområdet bör etableras snarast efter det att platsvalet är klart för att få fram jämförbara tidserier. På sikt bör också metoder utvecklas för långsiktiga observationer av biosfär, geosfär och hydrosfär efter förslutningen.

5.2 Samlad utvärdering och platsval

Framställningen på s. 71–73 har brister i fråga om stringens och klarhet. Texten uttrycker i flera fall rena självklarheter, blandade med formuleringar med oprecist innehåll. Ett exempel kan hämtas från det avslutande stycket (s. 71) som lyder:

Avgörande inför platsvalet är att de grundläggande bedömningarna av platsernas lämplighet är rimligt tillförlitliga och att underlaget ger möjligheter att jämföra platserna. Så är enligt SKB:s uppfattning fallet. Kvar finns risker som kan uttryckas i tid och kostnader. Dessa är kopplade till den ofullständiga kunskapen om bergförhållandena, med åtföljande osäkerheter i resursbehov för att uppföra och driva en anläggning som uppfyller kraven. Detta är osäkerheter som SKB är berett att ansvara för.

Ett annat exempel är att det under rubriken ”Platsvis utvärdering” sägs (s. 72) att etablering av en verksamhet bör kunna genomföras med ”rimlig hänsyn till miljön i övrigt och till rimliga insatser”. I den närmast följande texten görs ett försök att något precisera innebörden av begreppet ”rimlig” i dessa sammanhang. Ett mer ingående resonemang behövs kring dessa frågor.

Ett tredje exempel finns under rubriken ”Jämförande värdering” (s. 73). I sammanfattning anför SKB att under förutsättning att platsvalet kan slutföras på det sätt som SKB förordar kommer den slutligen valda lokaliseringen att kunna ”motiveras i förhållande till varje annan plats som kan anses lämplig i meningen potentiellt möjligt lokaliseringalternativ. Kärnavfallsrådet kan inte av Fud-Program 2007 dra slutsatsen att så skulle vara fallet.

5.3 Kärnavfallsrådets slutsatser

- Kärnavfallsrådet betonar 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 anser rådet att den säkerhetsargumentation som ligger till grund för valet av plats måste utgå ifrån två omfattande säkerhetsanalyser (dvs. två SR-Site) – en för Forsmark och en för Laxemar. Rådet vill därmed betona vikten av att en vetenskapligt korrekt jämförelse görs mellan platserna inför det kommande platsvalet.
- Rådet finner det besvärande, att hittills utförda, lyckade bergspänningsmätningar i Forsmark är få och osäkra på planerat förvarsdjup (se avsnitt 10.1). De långtgående slutsatser, som dras av resultaten, kan påverka såväl platsvalet som konstruktionen och byggandet samt på längre sikt också beständigheten av förvaret. Rådet anser det därför nödvändigt att kunskaperna om bergspänningarna förbättras, framför allt på planerat förvarsdjup i Forsmark, avsevärt förbättras innan slutligt val av plats görs. Enligt uppgift finns dock ännu inte publicerade resultat som eventuellt kan klarlägga vissa osäkerheter.
- 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.

6 Säkerhetsanalysen

6.1 Bakgrund

SKB lämnade i november 2006 en preliminär säkerhetsanalys, SR-Can (SKB rapport TR-06-09), av de två kandidatområdena för slutförvar i Oskarshamn och Forsmark. Inför ansökan om slutförvaret planeras en ny säkerhetsanalys, SR-Site. SKB anser att metodiken för säkerhetsanalys nu är mogen och avser att endast göra uppdateringar och smärre modifieringar av SR-Can metodiken inför arbetet med SR-Site. SR-Can har varit föremål för separat granskning av SKI och SSI (SKI Rapport 2008:19, SSI Rapport 2008:04). Myndigheterna anser bl.a. att SKB:s metodik för säkerhetsanalys i huvudsak är i överensstämmelse med myndigheternas föreskriftskrav, men att delar av metodiken behöver vidareutvecklas inför en tillståndsansökan. Myndigheterna anser även att SKB:s kvalitetssäkring av säkerhetsanalysen är otillräcklig i SR-Can, att ett bättre kunskapsunderlag kring vissa kritiska processer behövs, att SKB behöver styrka att det antagna initialtillståndet hos slutförvaret är realistiskt samt att redovisningen av risken för tidiga utsläpp bör förstärkas. Även de berörda platsundersökningskommunerna Östhammar och Oskarshamn, liksom intresseorganisationerna Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning (MKG) och Miljörörelsens kärnavfallssekretariat (Milkas) har lämnat synpunkter på SR-Can.

Kärnavfallsrådet har inte gjort någon egen granskning av den säkerhetsanalysmetodik som redovisas i SR-Can eller behovet av ytterligare utveckling av denna metodik. Med utgångspunkt från Kärnavfallsrådets genomlysningsprogram tas i stället i avsnitt 6.2 en speciell metodfråga upp, nämligen transparensen i säkerhetsanalysen och dess förmåga att förmedla komplexiteten i besluts-

underlaget. I avsnitt 6.3 diskuteras kopplingen mellan säkerhetsanalysen och naturvetenskaplig/teknisk forskning. Som en introduktion till dessa två avsnitt diskuterar vi i avsnitt 6.1 säkerhetsanalysens roll i arbetet med att ta fram ett system för slutförvaring av använt kärnbränsle samt dess roll som del i det beslutsunderlag som ligger till grund för SKB:s kommande ansökan om ett slutförvar.

6.2 Säkerhetsanalysens olika roller

SKB ger säkerhetsanalysen en dubbel roll i kärnavfallssystemet: en *intern* roll som management-verktyg inom SKB och en *extern* roll i samhällets tillståndsprocess. Med management-verktyg menar vi den styrande roll som SKB tilldelar säkerhetsanalysen när det gäller planering av forskningsinsatser, teknikutveckling och fortsatta platsundersökningar.

Det är i dess externa roll som en utomstående betraktare möter säkerhetsanalysen. I denna roll ska säkerhetsanalysen ge ett underlag för *samhällets* bedömning av förvarets långsiktiga säkerhet baserat på vetenskap och beprövad erfarenhet. Den externa rollen är väldokumenterad i en utvecklingsprocess som spänner över tre decennier och där SR-Can (SKB Report TR-06-09) är den senaste länken i en lång kedja av säkerhetsanalyser.

Redan i ett tidigt skede gavs säkerhetsanalysen också en roll som management-verktyg för att styra och kontrollera relevansen hos forsknings- och utvecklingsinsatser (FoU). Kärnavfallsrådet kan dock konstatera att denna interna roll för säkerhetsanalysen är sämre dokumenterad. Frågan är vilken roll säkerhetsanalysen *de facto* har spelat och kan spela, exempelvis i prioriteringen av forskningsinsatser. Denna fråga tas upp i anslutning till det naturvetenskapliga/tekniska forskningsprogrammet i avsnitt 6.3. Här inleder vi med att sätta frågan i relation till hur SKB organiserar sitt arbete.

Enligt Fud-rapporten har verksamheten med planering för uppförande och drift av slutförvaret på en övergripande nivå delats in i två huvudprocesser: (i) Uppförande och drift samt (ii) Säkerhetsanalys och platsmodellering (se s. 89 i Fud-program 2007). Huvudprocessen "Uppförande och drift" är i sin tur indelad i åtta delprocesser, två av dessa är "Undersökningar" (ej medtagen i figur 6.1) och "Bedömning av anläggningens och verksamhetens säkerhet". "Undersökningar" tar bl.a. fram underlag för att uppdatera

platsbeskrivningen. "Bedömning av anläggningens och verksamhetens säkerhet" aktiveras enligt SKB endast när förhållandena avviker från gällande förutsättningar.

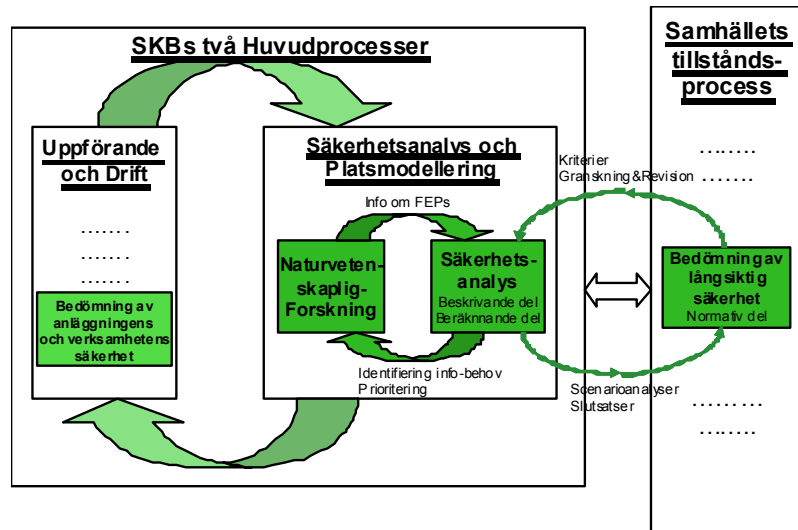
I huvudprocessen "Säkerhetsanalys och platsmodellering" ingår två delprocesser: "Platsmodellering och säkerhetsbedömning" (ej medtagen i figur 6.1) samt "Säkerhetsanalys". Resultat från delprocessen "Säkerhetsanalys" är enligt SKB en förnyad säkerhetsredovisning inför ansökan om provdrift men om förvaret ligger utanför ramarna för vad som antagits i SR-Site, görs först en ny bedömning av säkerheten inom huvudprocessen "Uppförande och drift". Underlag för delprocessen "Säkerhetsanalys" är uppförd och projekterad anläggning, aktuell platsbeskrivning och Fud-resultat.

Vad beträffar säkerhetsanalysen, tolkar Kärnavfallsrådet Fud-rapportens beskrivning så att den internt inom SKB har, eller ska ha, två funktioner, som åskådliggörs i figur 6.1:

- *Management-verktyg för uppförande och drift.* Här ska säkerhetsanalysen och säkerhetsbedömningar användas närmast rutinmässigt för att "regelbundet" stämma av platsbeskrivning mot förutsättningar och antaganden i SR-Site och för att "löpande" stämma av antaganden i "preliminär säkerhetsredovisning drift" mot faktiskt projekterad och uppförd anläggning. Vid avvikelser aktiveras en speciell delprocess inom huvudprocessen Uppförande och drift: "Bedömning av anläggningens och verksamhetens säkerhet". Denna delprocess hanterar antingen avvikelsen inom "Uppförande och drift" eller överlåter avvikelsen till huvudprocessen "Säkerhetsanalys och platsmodellering" för vidare utredning.
- *Management-verktyg för naturvetenskaplig forskning och teknikutveckling.* SKB:s Fud-program 2007 konstaterar beträffande den naturvetenskapliga forskningen att säkerhetsanalysen i "SR-Can har varit vägledande för att planera forskningsprogrammet". Forskningsprogrammet är i sin tur "direkt inriktat på att förse SKB:s säkerhetsanalyser för slutförvaret för använt kärnbränsle med underlag". (SKB, 2007 s. 211). Säkerhetsanalysens roll när det gäller planering av teknikutveckling är inte lika tydlig, men figur 11.1 (s. 121) visar på en liknande koppling som den mellan säkerhetsanalys och Fud-programmet.

Fud-rapporten delar således upp även den interna rollen i ett antal olika funktioner. Inom huvudprocessen ”Uppförande och drift” ska ”Säkerhetsanalys och platsmodellering” dels bidra till att koordinera den löpande verksamheten, dels träda in som samtalspartner i en dialog om åtgärder inom ”Uppförande och drift” för att hantera avvikelser från förutsättningar och antaganden i säkerhetsanalysen.

Figur 6.1 Kärnavfallsrådets tolkning av säkerhetsanalysens roller, dels internt inom SKB (den vänstra loopen), dels externt för samhällets beslutsprocess (den högra loopen)



Säkerhetsanalysen förutsätts också bidra till identifiering och prioritering av forskningsinsatser. Denna funktion är aktuell i nuläget, men kommer också att krävas när uppförandet av slutförvaret påbörjas. Det är oklart inom vilken huvudprocess ansvaret för identifiering och genomförande av forskningsinsatser ligger. I figur 6.1 har vi antagit att naturvetenskaplig forskning ligger inom Säkerhetsanalys och platsmodellering och teknikutveckling vid de olika produktionslinjerna inom Uppförande och drift.

Ur tillståndsprocessens perspektiv är distinktionen mellan den interna och externa rollen för säkerhetsanalysen viktig. I bilaga 4 diskuteras dessa två roller med hjälp av ett systemanalytiskt verktyg ”CATWOE”. Syftet är att analysera om säkerhetsanalysen

används på ett ändamålsenligt sätt, både avseende den interna och den externa rollen. Analysen underbygger ytterligare vår slutsats att säkerhetsanalysens två roller behöver tydliggöras och utvecklas, speciellt som balansen mellan SKB och myndigheterna har förändrats under de senaste tio åren. I dag har endast SKB kompetens att genomföra en fullständig säkerhetsanalys. En förutsättning för att den externa rollen uppfylls är att den interna rollen fungerar. I olyckliga fall kan dock de två rollerna komma i konflikt med varandra ur ett SKB-perspektiv. Exempelvis syftar säkerhetsanalys för forskningsplanering till att finna relevanta svaga punkter i systemet, medan säkerhetsanalys i den externa rollen syftar till att visa att det föreslagna förvaret uppfyller alla uppställda säkerhetskrav.

Kärnavfallsrådet vill således uppmärksamma behovet av att säkerhetsanalysen hanteras på ett transparent och kvalitetssäkrat sätt inom hela SKB:s *organisation*. För tillståndprocessen är säkerhetsanalysen en förutsättning enligt bl.a. kärntekniklagen och miljöbalken. Det är självklart både önskvärt och effektivt att SKB kan använda analysen för interna processer. Men det är utomordentligt viktigt att säkerhetsanalysen inom SKB:s organisation har *en* tydlig ägare, som genomför analysen, ansvarar för analysprocessens identitet och kvalitet, och upprätthåller en klar rollfördelning. Kärnavfallsrådet understryker vikten av att Strålsäkerhetsmyndigheten genom regelbundna revisioner följer hur säkerhetsanalysens olika roller återspeglas i SKB:s organisation och processer. Revisionerna kan eventuellt kräva stöd av utomstående organisatorisk expertis..

Kärnavfallsrådet vill också understryka vikten av att den nya Strålsäkerhetsmyndigheten får en sådan kompetens inom säkerhetsanalys, att den både kan granska SKB:s tekniska genomförande av säkerhetsanalysen och dess användning i olika roller. Det innebär, enligt Kärnavfallsrådets bedömning, att det krävs en förstärkning av de resurser som SKI och SSI tillsammans har i dag.

Vår diskussion om säkerhetsanalysens olika roller aktualiserar ett antal frågor som kommer att tas upp i följande avsnitt:

- *SKB:s kapacitet*. Hur långt följer SKB sin föregivna metodik, dvs. i vilken utsträckning styrs prioriteringarna inom forskningsprogrammet av säkerhetsanalysen och i vilken utsträckning genererar varje produktionslinje och vetenskaps-, teknikområde sina egna prioriteringar? Hur tas informationen från säkerhets-

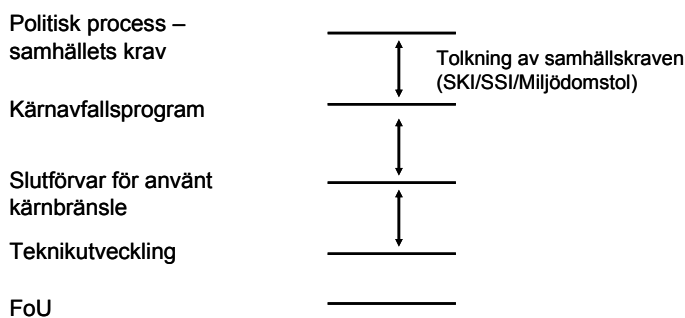
analysen om hand inom de olika delprogrammen inom forskningsprogrammet? Hur kan man följa dialogen säkerhetsanalys-forskningsprogram i Fud-rapporten och i kvalitetssäkringsprogrammet?

- *Samsyn kan medföra inlåsning.* Väl fungerande återkopplingar enligt Figur 1 ger ett effektivt system för att enas om var FoU behövs, och att styra resurser och generera ny kunskap inom de områden där FoU behovet identifierats. Men managementlitteraturen innehåller också varnande exempel på inlåsningar, där det återkopplade systemet förvandlas till ett resurskrävande system för att effektivt lära mer om det man redan ser. Systemet värjer sig mot nytänkande och möter nya hot med mer av tidigare åtgärder. Vilka mekanismer finns för att avsluta SKB-finansierad FoU när kunskapen bedöms tillräcklig, men exempelvis starka inomvetenskapliga skäl finns för fortsatt forskning? Vilka processer finns i systemet i Figur 1 för att identifiera och styra resurser till radikalt nya FoU behov?
- *Komplexitet – helheten och detaljerna.* Säkerhetsanalysen ska förmedla mellan FoU och beslutsunderlag på alla nivåer. Hur klargörs säkerhetsanalysens olika roller? Hur blir allt detta transparent? Dessa frågor tas upp i nästa avsnitt.

6.3 Helheten och detaljerna

Säkerhetsanalysen spelar en stor roll i hela det svenska organisatoriska system som har att göra med slutförvarsprogrammet. Den ska svara upp mot myndigheternas krav på säkerhet, som samtidigt avspeglar samhällets och politikens mål. Samtidigt ska den enligt SKB vara med och styra teknikutveckling och forskning. Figur 6.2 ger en bild av olika analysnivåer som behövs för att beskriva säkerhetsanalysens roll.

Figur 6.2 Analysnivåer för att förstå kravbild och säkerhetsanalysens roller



På den översta nivån sätts kraven på kärnavfallsprogrammet genom riksdag och regering som stiftar lagar och tar beslut, bl.a. i anknytning till SKB:s Fud-program. Myndigheterna tolkar samhällskraven genom sina föreskrifter och allmänna råd som SKB sedan i sin tur tolkar och överför till praktiska krav på sitt program, inte minst gällande valet av metod för slutförvaring och platser för kärnavfallsanläggningar. Man kan säga att det finns en nivå för kärnavfallsprogrammet i sin helhet, inklusive rivning, och en nivå för slutförvaret, inklusive plastvalsprogram. Inom ramen för ”projektet slutförvar” driver SKB den teknikutveckling och forskning som behövs för att stödja slutförvarsprogrammet.

En förutsättning för att säkerhetsanalysen, som är en mycket komplicerad aktivitet, ska kunna fylla alla sina uppgifter på ett effektivt sätt är att den görs transparent. Det måste ske på alla nivåer men innebörden av detta varierar mellan nivåerna.

Säkerhetsanalysens externa roll

Den övre delen av figur 6.2 gäller säkerhetsanalysens externa roll enligt avsnitt 6.1, dvs. att ge underlag för samhällets bedömning av ett förslag till slutförvar.

Säkerhetsanalysen ingår i det underlag som politikerna behöver ta del av – dvs. inte bara goda SKB:s säkerhetsanalys och SKI:s granskning av densamma som en helt objektiv del av beslutsunderlaget som inte kan ifrågasättas. Det blir därför nödvändigt att få säkerhetsanalysen genomlyst på ett sätt som kan förstås av lekmän. Kärnavfallsrådet påpekade t.ex. i sitt yttrande över Fud-

program 2004, att det är nödvändigt att både SKB och myndigheterna förklarar och publicerar pedagogiska beskrivningar av de säkerhetsanalyser som genomförts och de modeller som analyserna är baserade på¹.

Mot denna bakgrund är säkerhetsanalysens ställning i dag, inte minst efter att SR-Can har publicerats, något av en paradox. Å ena sidan är SR-Can en mycket tung teknisk rapport (och måste så vara), med ett stort antal tekniska underlagsrapporter som bara specialister kan sätta sig in i. Å andra sidan är säkerhetsanalysen det centrala underlaget för det politiska beslutet att eventuellt ge tillstånd för att slutförvaret ska byggas. Om inte medvetenheten om kärnavfallsfrågan höjs i de delar av samhället som finns utanför kretsen av experter kommer den politiska beslutsprocessen att bli känslig för olika inspel och fragmenteringar².

Givetvis är det inte rimligt att begära att politiker i allmänhet eller andra lekmän ska kunna sätta sig in i FEP³ analys, grundvattenmodelleringar eller modeller för korrosion av kopparkapseln. Men det ska vara möjligt att diskutera vissa grundläggande antaganden, t.ex. om tidsaspekten, vad man kan (och inte kan) förutse för mycket långa tider, hur man ska se på olika scenarier för mänskligt intrång, hur man kan jämföra riskerna från ett slutförvar med andra risker, vad säkerhetsanalysen säger om jämförelser mellan platser, m.m. En hållbar beslutsprocess förutsätter att SKB och myndigheterna kan kommunicera sådana frågor på ett sätt som inger förtroende. I själva verket handlar detta mycket om myndigheternas föreskrifter och allmänna råd, hur SKB väljer att tolka dem och om på vilka grunder myndigheterna kan godta SKB:s tolkning.

Det är viktigt att allt detta kommuniceras på bästa möjliga sätt med beslutsfattare och allmänhet. Målet med dialogen är att göra säkerhetsbedömningen transparent, vilket bl.a. innebär att göra både sakfrågor och värderingar synliga. Bra beslut förutsätter att båda delarna blir lika tydliga vilket ställer särskilda krav på beslutsprocessen. Om experterna ensamma sätter agendan glöms värderingsfrågorna lätt bort. Å andra sidan kan sakfrågorna komma i bakgrunden om beslutsprocessen domineras av värderingsfrågor. I båda fallen riskerar man att beslutsunderlaget får en för snäv in-

¹ Kärnavfall – barriärerna, biosfären och samhället (s. 73 SOU 2005:47).

² Med "fragmentering" menar vi att vissa avgränsade delar av hela frågan ställs i fokus till priset av helhetsbedömningen.

³ FEP (Features, Events and Processes)

ramning. Säkerhetsanalysens externa roll är alltså att systematiskt samordna information från alla relevanta tekniskt – naturvetenskapliga områden för att visa att föreslaget system för slutförvar uppfyller alla av myndigheterna ställda säkerhetskrav (som i sin tur ska avspegla samhällets värderingar).

Kravet på transparens innebär att en sådan redovisning från SKB systematiskt utmanas från olika perspektiv (stretching enligt RISCUM-Modellen), vilket är en del av Kärnavfallsrådets genomlysningsprogram.

Säkerhetsanalysens interna roll

På samma sätt som ovan kan vi sammanfatta säkerhetsanalysens interna roll som att:

för alla i slutförvarsprogrammet (intern SKB) klargöra betydelsen av information från alla relevanta tekniskt/naturvetenskapliga områden för uppfyllandet av säkerhetskraven på ett transparent och handlingsinriktat sätt.

Detta, som gäller den nedre delen av figur 6.2 kan synas vara en enklare uppgift för SKB än den externa uppgiften, eftersom SKB:s organisation är väl fylld med naturvetare och experter. Säkerhetsanalysen spänner emellertid över många ämnesområden och det är omöjligt för en person att veta om alla delar genomförs med den vetenskapliga och tekniska stringens som man själv skulle vilja kräva. Det finns ingen "superexpert" för hela fältet. De centrala funktionerna är överförandet av information till dem som har ansvaret för själva säkerhetsanalysen och hur de sammanväger och hanterar denna information. Fullständighet och visshet är ouppnåeliga mål i en säkerhetsanalys – den måste grundas på bedömningar.

Även för säkerhetsanalysens interna roll krävs alltså ett organiserat ifrågasättande av uttalanden och krav som ställs från olika delar av SKB:s organisation, både de som har ansvaret för säkerhetsanalysen och experter på ingående kunskapsområden. I detta fall måste huvudansvaret för stretchingen organiseras inom SKB, medan myndigheterna och Kärnavfallsrådet även har en uppgift för detta, inte minst inom ramen för Fud-granskningen. I nästa avsnitt tar vi upp frågan om i vilken grad SKB har lyckats klargöra säkerhetsanalysens interna roll.

6.4 Kopplingen mellan säkerhetsanalys och naturvetenskaplig/teknisk forskning

Kvalitetssäkring av informationsöverföring

SKB skriver i Fud-program 2007 (s. 8) att säkerhetsanalysen beskriver förvarets initialtillstånd för att sedan kartlägga vilka förändringar som kan inträffa på lång sikt och vilka konsekvenser dessa får för människa och miljö. Förändringarna drivs av processer (termiska, hydrauliska, mekaniska och kemiska) som beskrivs med modeller. Modellberäkningarna utgår från data från forskning och SKB:s platsundersökningar i Forsmark och Oskarshamn. Som detta inledande stycke antyder så är det alltså nödvändigt med ett informationsutbyte mellan säkerhetsanalys och ett antal andra aktiviteter inom SKB:s organisation: teknikutveckling för att verifiera initialtillståndet, naturvetenskaplig forskning för att kartlägga processerna som driver de förändringar som sker i slutförvaret och de platsundersökningar som nyligen avslutats i Forsmark och Oskarshamn för att få platsspecifika säkerhetsanalyser. Dessutom måste det finnas en koppling mellan säkerhetsanalys och systemutformning samt mellan säkerhetsanalys och SKB:s interna kravställning. Slutligen måste den långsiktiga säkerheten uppfylla myndigheternas föreskrifter vilka representerar samhällets krav.

För att detta komplexa mönster av informationsöverföring och återkopplingar ska fungera anser Kärnavfallsrådet att det är av stor vikt att SKB har en väl fungerande kvalitetsplan som säkerställer att återkopplingarna sker och att de åtgärder som återkopplingarna innebär också genomförs. SKB måste t.ex. kunna redovisa hur man säkerställer att alla forskningsområden identifierade från säkerhetsanalys tas upp i Fud-programmet och att kritiska forsknings- och teknikutvecklingsresultat finns framme i tid till SKB:s nästa säkerhetsanalys SR-Site. Kärnavfallsrådet är medvetet om att återkopplingen mellan säkerhetsanalys och forskning i hög grad sker på det individuella planet inom SKB genom att handläggare av forskningsfrågor också deltar i säkerhetsanalysarbetet. SKB menar att detta arbetssätt innebär att det inte är nödvändigt med formella system för hantering av informationsöverföringen mellan säkerhetsanalys och forskning. Kärnavfallsrådet anser att detta ger goda förutsättningar för en direkt återkoppling dels avseende hur forskningens resultat hanteras i säkerhetsanalysen och dels avseende kunskapsluckor och därmed återstående forskningsbehov. Rådet anser dock

att ett problem med detta system är att informationsöverföringen lätt blir ospårbart och inte transparent, vilket är negativt ur granskningssynpunkt.

Koppling till naturvetenskaplig forskning

SKB:s naturvetenskapliga forskningsprogram spänner över två områden: långsiktig säkerhet och andra slutförvaringsmetoder än KBS-3 (s. 211, Fud-program 2007). Av dessa är det största området forskning om långsiktig säkerhet och det är, enligt SKB, direkt inriktat på att förse SKB:s säkerhetsanalyser av slutförvaret för använt kärnbränsle med underlag. SKB skriver vidare att SR-Can, som är den senaste av SKB:s säkerhetsanalyser, har varit vägledande för att planera forskningsprogrammet.

I det avslutande kapitlet till SR-Can har ett antal (9 stycken) frågeställningar identifierats som SKB menar kräver ytterligare forskning för att förbättra säkerhetsanalysen. Kärnavfallsrådet anser dock inte att det tydligt framgår hur SKB säkerställer att alla identifierade forskningsområden tas upp i Fud-programmet. Kärnavfallsrådet har t.ex. inte lyckats spåra alla dessa 9 områden i den översikt omfattande 143 forskningsaktiviteter som ges i tabell 19.1 (s. 213-214, Fud-program 2007). Detta är med andra ord ett bra exempel på när SKB:s direkta återkopplingsmetodik inte är transparent och spårbar.

Ytterligare exempel är informationsöverföringen mellan säkerhetsanalys och de olika specialdisciplinerna. Det är t.ex. fortfarande oklart hur resultaten av biosfärförarbetet ska integreras i säkerhetsanalysen och vilken betydelse biosfären kommer att få för lokaliseringen (se kap 11). Även i geosfärsprogrammet finns frågor som kan påverka säkerhetsanalysens resultat, t.ex. frågan om storregional grundvattenströmning samt modellering av ändrade hydrologiska och hydrogeologiska förhållandena vid en förväntad klimatförändring på grund av växthuseffekten.

Kärnavfallsrådet anser också att SKB bör tydliggöra i vilket avseende säkerhetsanalysen är vägledande för det naturvetenskapliga forskningsprogrammet och hur säkerhetsanalysen uppfyller rollen att identifiera forskningsområden.

När det gäller den naturvetenskapliga forskningen inom området långsiktig säkerhet är tabell 19.1 en bra utgångspunkt. Tabellen ger en bra överblick över den forskning som bedrivs och som

kommer att bedrivas inom ramen för SKB:s forskningsprogram. För varje forskningsaktivitet framgår också om det krävs stora, måttliga eller små resurser. Däremot framgår inte hur kritiska de olika forskningsaktiviteterna är och vilka resultat som behöver vara framme när och varför. Detta är en brist enligt Kärnavfallsrådet. Kärnavfallsrådet anser också att SKB tydligare måste beskriva vad som är styrande för vilka frågeställningar som ska ingå i forskningsprogrammet, dvs. hur SKB identifierar de forskningsområden som finns listade i tabell 19.1. Rådet anser att sådan information är nödvändig för att ändamålsenligheten med SKB:s forskningsprogram ska kunna bedömas.

Kärnavfallsrådet anser däremot inte att det finns något som tyder på att kvaliteten på den forskning som bedrivs av SKB behöver ifrågasättas. Den publiceras internationellt på konferenser och i olika vetenskapliga tidskrifter och genomgår därmed granskning och kvalitetssäkring.

Koppling till teknikutveckling

Den teknikutveckling som sker och planeras återges i Del III i Fud-program 2007 och kommenteras av Kärnavfallsrådet i kapitel 4 i denna rapport. Kärnavfallsrådet konstaterar här att det är av stor vikt att SKB inom ramen för teknikutvecklingen kan kvalitetssäkra t.ex. tillverkning och provning av tekniska komponenter och därmed deras initialtillstånd i slutförvaret. Detta är betydelsefullt eftersom säkerhetsanalysens trovärdighet är beroende av hur realistiska de antaganden är, som görs i säkerhetsanalysen om initialtillståndet. Detta har även påpekats i myndigheternas granskning av SR-Can (se SKI Rapport 2008:19, SSI Rapport 2008:04).

6.5 Kärnavfallsrådets slutsatser

- SKB:s säkerhetsanalyser ska visa att föreslaget slutförvarssystem uppfyller myndigheternas krav på långsiktig säkerhet. Kärnavfallsrådet vill även betona säkerhetsanalysens interna roll som verktyg dels för att följa upp förvarets säkerhet under uppförande och drift dels för att ge riktlinjer för teknikutveckling och forskning.

- SKB behöver därför säkerställa och visa att återkopplingar och informationsöverföring mellan olika delar av SKB:s organisation fungerar, t.ex. avseende den återkoppling som görs från säkerhetsanalys till forskningsprogram, program för detaljerade undersökningar och teknikutveckling.

7 Kapsel

7.1 Kapseltillverkning

Bakgrund

Kapselns funktion är att isolera kärnavfallet från omgivningen under mycket långa tidsperioder (> 100 000 år). Kapseln måste vara beständig mot olika korrosionsangrepp i djupförvarets miljö och tåla de mekaniska påkänningar som kan uppträda även under en glaciationscykel – både isostatiska belastningar och skjuvbelastningar. Kapseln ska ha försumbar negativ termisk, kemisk och mekanisk inverkan på de andra barriärerna och på bränslet. Kapseln ska kunna transporteras, deponeras och hanteras på ett säkert sätt. Kapseltillverkningen ska vara baserad på beprövad teknik. Kapslar med specificerade egenskaper ska kunna tillverkas, förslutas och kontrolleras med hög tillförlitlighet i önskad produktionstakt. Kapselns egenskaper måste kunna kontrolleras mot specificerade acceptanskriterier. De detaljerade konstruktionskraven för kapseln och kraven på långtidssäkerhet ska ha logisk koppling.

SKB's referenskapsel består av en inre behållare av segjärn/gjutjärn och ett yttre hölje av koppar. Tillverkningen av referenskapselns kopparhölje omfattar följande referensprocesser: gjutning av koppargöt, extrusion av kopparrör, smidning av kopparlock och -botten, svetsning av botten med friction stir welding (FSW) samt kvalitetskontroll av komponenter och botten svets med oförstörande provning (OFP). Därtill behövs färdigbearbetning av komponenter och botten svetsen. Förutom extrusion och FSW har SKB kompletterande metoder för både tillverkning av kopparrör och svetsning, dornpressning och smidning för tillverkning av kopparrör samt elektronstrålesvetsning (EB) för svetsning av botten. Tillverkning av kopparlock och -bottnar sker genom smidning.

Tillverkning av insatsen omfattar tillverkning av en stålkassett och gjutning av insatsen samt bearbetning av insatsen och oförstörande provning. SKB valde år 2005 friction stir welding som referensmetod för att försluta kapseln och optimering av denna process pågår.

Tillverkningsmetoderna vidareutvecklas för de olika kapselkomponenterna och provtillverkning pågår. Olika leverantörer utvecklar sina tillverkningsprocesser för att komponenterna ska uppfylla uppställda specifikationer. Metodutveckling pågår också för oförstörande provning av både kapselkomponenter och svetsar för utredning av materialstruktur och förekomst av diskontinuiteter (defekter och materialfel). Tillsammans med kapselns svetsar provas numera också kapselkomponenterna, kopparrör, segjärnsinsats samt lock och botten. Optimering av provmetoderna och utvärdering av tillförlitligheten hos dessa pågår och de första resultaten från provning av kapselkomponenter är snart tillgängliga. Demonstrationer av metoder för oförstörande provning är kopplade till pre-kvalificering av tillverkningsprocesser.

Kopparkapseln

SKB har valt en ren syrefri koppar som uppfyller standarden EN 1976 för Cu-OFE eller Cu-OF1 med ett antal tilläggskrav som berör medelkornstorleken ($< 360 \mu\text{m}$) i materialet (kornstorleken påverkar materialets egenskaper och ultraljudsprovning) och mängden av vissa ämnen (maximal syre- ($< 5 \text{ ppm}$) och vätehalt ($< 0,6 \text{ ppm}$) för optimal elektronstrålesvetsning och varmformning samt maximal svavelhalt ($< 8 \text{ ppm}$) och viss fosforhalt (30–70 ppm) för att minska sulfidutskiljning och öka materialets krypegenskaper).

Ett antal koppargöten har tillverkats, extruderats, dornpressats (också med integrerad botten) och smitts under de senaste åren. Samtidigt har ett stort antal lock och botten tillverkats genom smidning. Utvecklingen av referens- och alternativa tillverkningsmetoder av kopparrör kommer att fortsättas under de kommande åren. Speciellt koncentreras studierna på lokala variationer i materialstrukturen längs extruderade rör och i smidda lock- och bottenämnen. Materialstrukturen påverkar ultraljudsprovningen via kornstorlek men även andra egenskaper såsom textur, variationer i deformationsgrad, restspänningar, typ av korngränser etc. är viktiga. Mera studier krävs på detta område för att kunna ställa krav på

materialstrukturen och hur den påverkar materialegenskaperna och ultraljudsprovningen för att få provningen mer tillförlitlig.

SKB planerar att använda samma referensmetod, friction stir welding, för att svetsa både botten och lock (förslutning). Denna metod förväntas att vara en repeterbar och tillförlitlig metod, som ger en bra materialstruktur och god kvalitet på svetsen.

Gjutjärnsinsatsen

SKB har valt segjärn enligt kraven i standarden EN 1563 grade EN-GJS-400-15U som material för insatsen. I konstruktionsförutsättningarna ges några detaljerade krav på materialstruktur och mekaniska egenskaper för segjärnsinsatsen (t.ex. brott-töjning, min 11 % (vidgjutna provstavar) eller 7 % (provstavar från insatsen)). Materialprovning av insatsmaterial har visat relativt stor spridning i materialegenskaperna hos flera insatser. Den stora spridningen beror på att materialets mikrostruktur innehåller icke nodulär grafit (chunky grafit) och diskontinuiteter (gjutfel) i form av porer och andra defekter. Gjutningsmetoden har utvecklats under provgjutningarna genom förbättringar av kasettinfästning och ökad gjuten längd för att kunna kapa bort orenheter och diskontinuiteter. Analyser av den statistiska fördelningen av materialparametrar och diskontinuiteter har gjorts för att beräkna sannolikheten för plastisk kollaps orsakad av högt tryck eller för brott orsakat av spricktillväxt i regioner med dragspänningar. Sannolikheten för brott har befunnits vara mycket låg i bägge fallen. Men restspänningar, krypning och tidsberoende materialförsprödning har inte tagits hänsyn till och därför måste hållfasthetsanalyserna ännu utvecklas, vilket kan leda till nya krav på OFP.

SKB kommer att vidareutveckla tillverkning av insatser hos flera leverantörer för att klara leveranserna av de 200 insatser som krävs årligen. Insatsen ska kontrolleras med oförstörande provning för att finna diskontinuiteter i materialet. För att kunna visa att kapslar som uppfyller konstruktionskraven kan tillverkas måste olika provningsmetoder utvecklas på grund av insatsens komplicerade geometri. Speciellt kraven på OFP-metoder måste fastställas och verifieras. Om gjutningsprocessen inte kan förbättras, måste någon annan typ av material användas.

Förslutning av kapseln

Referensmetoden, friction stir welding (FSW), är en termomekanisk process i fast tillstånd medan en alternativ svetsprocess, elektronstrålesvetsning (EB; electronic beam welding), är en smältsvetsmetod. Ett stort antal FSW svetsförsök har genomförts, och resultaten har visat att processen är stabil med hög repeterbarhet. Optimering av FSW metoden pågår genom att fastlägga processfönstret och demonstrera processens potential för produktion. För referensmetoden, FSW, måste man kunna visa på vilket sätt svetsmaterialets mikrostruktur (kallbearbetning, mycket finkorniga områden, upplösning av sulfider och linjer av oxidinneslutningar), egenskaper och restspänningar skiljer sig från grundmaterialet, samt hur eventuella föroreningar i svetsen, t.ex. ökad syrehalt, och olika typer av svetsfel påverkar kvaliteten. Olika tester har genomförts på FSW locksvetsar för att bedöma deras mekaniska och kemiska egenskaper. I korttidstester (metallografi, hållfasthetsprovning, korrosionsprovning, krypprovning, kemiska analyser, oförstörande provning osv.) har FSW gett bra resultat. Verifiering av mekaniska långtidsegenskaper av svetsgodset sker genom fortsatt krypprovning. Inverkan av oxider och metallpartiklar i svetsgodset studeras, och metoder att minimera olika diskontinuiteter samt oxider och metalliska partiklar undersöks. Möjligheter att använda FSW för reparation av defekter i svetsar som inte uppfyller kraven undersöks genom lokal omsvetsning. Detaljerade kriterier för acceptabla avvikelser för FSW svetsar har inte utarbetats ännu.

Tillförlitligheten hos elektronstrålesvetsning är ännu inte tillräcklig och fortsatt utvecklingsarbete pågår. Olika tester har genomförts på elektronstrålesvetsade (EB) locksvetsar för att bedöma deras mekaniska och kemiska egenskaper med motsvarande tester som används för FSW svetsar. Kornstorleken och troligen även restspänningarna i EB-svetsar är stora jämfört med grundmaterialet och FSW-svetsgodset, medan de mekaniska och korrosionsegenskaperna i korttidstester är acceptabla. Resultat från långtidstester behövs angående kryp- och korrosionsegenskaper också för EB svetsgodset.

Oförstörande provning

Oförstörande provning (OFP) har en avgörande betydelse för att säkerställa att kraven på kapseln uppfylls. SKB har börjat arbeta med olika OFP-metoder för insatser. Ultraljud är den lämpligaste tekniken och används vid utvecklingen som preliminär provningsmetod för diskontinuiteter. I segjärn påverkar materialstrukturen ultraljudsprovningen och segjärnet är svårt att undersöka. Det är ändå möjligt att mäta också nodularitet i segjärn med ultraljudtekniker. Kommande utvecklingsarbete syftar till att utveckla provningsmetoder för segjärnsinsatsen. För att kunna kvalificera dessa tekniker man måste känna till förväntade diskontinuiteter och ha preliminära acceptanskriterier. För att förstå resultaten bättre måste materialstruktur, geometri och provningssystem granskas för att förstå eventuella begränsningar i provningsförfarandet. Tillförlitligheten hos de utvalda metoderna bör studeras för att ta fram underlag inför kvalificeringar av metoder för oförstörande provning av insatser. Kvalificeringsprocessen kräver analys av ett antal referensproppar med simulerande defekter för att visa hur stora defekter systemet kan detektera pålitligt.

Alla kopparkomponenter kontrolleras med OFP för att hitta eventuella avvikelser och diskontinuiteter i materialet och för att bekräfta att tillverkningen fungerar acceptabelt. Ultraljud är den mest fördelaktiga tekniken för kopparkomponenter, men materialstrukturen (främst kornstorleken) påverkar ultraljudsprovningen. Lokala strukturvariationer i kopparrör och kopparlock orsakar ojämn dämpning vid ultraljudsprovning. Därför måste extrusions- och smidesprocessen ännu utvecklas t.ex. genom optimering och genom ökad processkontroll. I framtiden kommer befintliga tekniker av såväl ultraljud och röntgenradiografi att undersökas, optimeras och kvalificeras genom praktiska försök och modellering för OFP av kopparhöljet och svetsar. Förutom ultraljud och röntgenradiografi kan virvelströmsprovning användas för att upptäcka defekter på eller nära kopparkapselns yta. Denna metod planeras inte att användas av SKB för att ytnära defekter inte förväntas leda till problem för den långsiktiga säkerheten i förvaret. Eftersom kapselytan måste motstå korrosion är det viktigt att det finns inte några ytnära defekter i en färdig kapsel. Ytprovning är ändå mycket viktig och SKB måste bestämma vilka provmetoder som kommer att användas för detta ändamål.

7.2 Kapselns långtidsegenskaper

Bakgrund

Konstruktionsförutsättningarna utgörs av dels krav på säker hantering och lyftning av kapseln vid inkapsling och deponering, dels grundläggande krav på den långsiktiga säkerheten i slutförvaret. Efter deponering kommer kapseln att stå i luft med hög fuktighet vid en temperatur av 90–100°C, som är kopparkapselns maximala temperatur i slutförvaret, innan vattenmättnad av den omgivande bentoniten skett, vilket sker inom 10–15 år (initialtillstånd). Saltdeponeringar förväntas inte uppkomma på kapselns yta. Den termiska konduktiviteten hos en metall är hundratals gånger högre än i bentoniten och berget. Därför förväntas kapseln att ha en jämn temperatur som långsamt sjunker till omgivningens temperatur inom 10 000 år.

SKB undersöker hur kapselns insats och hölje deformeras på grund av yttre påverkan, t.ex. hydrostatiskt tryck, jordbävningar och glaciation, och av inre påverkan genom bildning av korrosionsprodukter i kapseln. Den stråldos som segjärnsinsatsen utsätts för kan leda till materialförsprödning, som utreds. Korrosion av koppar, både allmän, mikrobiell och spänningsskorrosion, har ännu kvarstående öppna frågor. Krypning sker under mekaniska påkänningar på kopparkapseln, vilka kan delas i fyra faser: vattenmättnadsfasen, den tempererade och permafrostfasen, den glaciala fasen samt den postglaciala fasen. Vattenmättnadsfasen inträffar strax efter förslutningen av förvaret. Isostatisk tryckuppbyggnad runt kapseln sker på grund av grundvattentryck och svällning av bentoniten. Tryckojämnheter i kapseln kan uppstå som följd av ojämn svällning av bentoniten eller skillnader i bentonitens täthet, vilket orsakar böjspänningar i kapseln, upp till 55 MPa, och lokal plasticering av kopparhöljet. Under den glaciala fasen orsakar isbildningen en långsam isostatisk tryckuppbyggnad i förvaret, upp till 45 MPa. Enligt hållfasthetsberäkningarna och snabba tryckprov motstår kapseln ett yttre tryck på 110 MPa. Därför bedöms sannolikheten för en kapselkollaps att vara liten, men under den glaciala perioden kan oväntade, tidsberoende effekter uppstå genom krypning av segjärnsinsatsen och kopparkapseln under det mycket långa tidsperspektivet. Under det postglaciala tillståndet sker en långsam trycksänkning i förvaret och jordbävningar kan uppstå, vilket kan

påverka kapseln mekaniskt när befintliga sprickor i deponeringshålen aktiveras och orsakar skjivningar.

Korrosion

Oxidation av koppar sker redan under deponerings- och hanteringsskedet samt den ledande tempererade fasen. I slutförvaret kommer kopparkapslarna att exponeras för både allmän och lokal korrosion av olika typ, i komplexa kemiska, mikrobiella och mekaniska miljöer, som dessutom varierar i tid och rum. Spänningskorrosion i koppar sker när speciella förhållanden med avseende på dragspänning, aerob miljö och vissa föroreningar (ammonium, nitrit, osv.) samt mycket långsam töjningshastighet är närvarande. Spänningskorrosion sker i närvaro av en $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CuO}$ -komplex film på kopparytan. Nyligen har experimentella resultat publicerats som antyder att spänningskorrosion kan förekomma också i en sulfidhaltig miljö. Av speciellt intresse är att kvantifiera spänningstillståndet i kopparhöljet och i svetsar och att både på experimentellt och mekanistiskt sätt analysera olika kemiska förhållanden omkring kapseln för att utesluta spänningskorrosionsrisken under reducerande betingelser.

Koppar kan oxidera med syre, klorid-, sulfat- och nitratjoner i grundvattnet. Den viktigaste processen för allmän korrosion är sulfidkorrosion som sker i förvaret under hela tiden. Sulfidjoner i grundvattnet reagerar med koppar och kopparsulfid bildas. Olika kopparsulfidfilmers betydelse för korrosion av koppar, särskilt i klorid- och sulfidhaltiga vatten, samt mikrobers möjligheter att överleva i bufferten och möjligheten av biofilm på kapselytan och den eventuella betydelsen av detta ska undersökas. Mikrobiella processer kan ge upphov till bildning av sulfid (sulfatreducerande bakterier) som orsakar kopparkorrosion genom bildning av kopparsulfid. Kopparkorrosion i anaeroba kloridlösningar som innehåller sulfid måste undersökas vidare både från geokemiska och mikrobiella synpunkter. Målet för dessa korrosionsundersökningar är att utveckla en korrosionsmodell som kan användas i säkerhetsanalysen.

För att koppar ska korrodera i vatten krävs löst syre, höga kloridhalter, låga pH-värden eller löst sulfid. Szakalos et al. ("Corrosion of Copper by Water". *Electrochemical and Solid-State Letters*, 10(11) C63-C67, 2007) har nyligen meddelat att korrosion

av koppar genom väteutveckling kan ske även i rent, avjoniserat, syrefritt vatten vid 73°C. Forskarna anser att deras nya resultat visar att korrosionsegenskaperna för kopparkapslar i slutförvaret av använt kärnbränsle inte är tillräckligt bra och att KBS-3 konceptet delvis bör omprövas. Enligt forskarna är korrosionshastigheten av koppar i rent syrefritt vatten av storleksordningen mikrometer per år. Det är nu viktigt att den nya frågeställningen om korrosion av koppar i syrefritt vatten undersöks grundligt.

Krypning

Provning av krypegenskaperna hos koppar har pågått under flera år och nyligen har undersökningarna börjats för EB och FSW svetsar. Effekten av långsam pålastning och krypning i fleraxiellt spänningstillstånd undersöks. En validerad krypmodell måste tas fram för att olika tidsberoende förlopp ska kunna beaktas såsom eventuell postglacial skjuvning av kapseln. Också inverkan av fosfor på kryphållfastheten hos rent koppar, fosfors långtidsstabilitet och roll för krypegenskaper måste utredas vidare för att uppnå en tillförlitlig mekanistisk förklaring. Tillsammans med koppars krypegenskaper måste också krypegenskaper av segjärnsinsatsen förklaras tillsammans med andra tidsberoende fenomen, såsom förspredning och vätets påverkan på segjärn. Kallbearbetningseffekter hos koppar orsakad av tillverkning och hantering måste analyseras noggrant och utvärderas i avseende på krypegenskaper, restspänningar och spänningskorrosion.

Hållfasthet

Av största intresse är att studera vilka diskontinuiteter som kan accepteras i segjärnsinsatsen med hänsyn till den spänningsnivå som kan uppstå. Undersökningen ger underlag till kvalitetskontroll av insatsen med oförstörande provning. Också skador som eventuellt uppstår under hanteringen måste analyseras så att kapselns långsiktiga integritet inte påverkas av effekter som uppstår under hantering.

Postglaciala jordbävningar kan orsaka skjuvlaster och plastisk deformation av kapseln som påverkar såväl kopparkapseln som segjärnsinsatsen. Dessa skjuvningar beror både på geologiska händel-

ser och bentonitbuffertens mekaniska egenskaper. Den totala samverkande spänningsnivån som kan uppstå i kapseln under olika kombinerade belastningar (skjuvning och isostatisk last samtidigt) bör kritiskt fastställas och en skadetålighetsanalys, i vilken både deterministiska och probabilistiska kriterier ingår, bör genomföras. Skjuvningshastigheterna är höga och senare tidsberoende töjningshastigheter i koppar och gjutjärn är långsamma. Därför måste också inverkan av töjningshastigheten på koppar och gjutjärn undersökas i kommande hållfasthetsanalyser. En sammanställande hållfasthetsanalys av kapseln inklusive säkerhetsmarginaler, som garanterar den långsiktiga säkerheten, saknas ännu.

7.3 Kärnavfallsrådets slutsatser

- Material och gjutningsprocess för segjärnsinsatsen måste optimeras så att specificerade krav kan uppfyllas. Annars måste någon annan typ av material användas.
- För att garantera tillförlitligheten under hela kapseltillverkningen och slutförvarsperioden måste kvalitetskrav med avseende på tillverkningsdefekter i kapselns alla delar, inklusive svetsar, utvecklas. Dessa kriterier bör beakta materialstruktur, materialegenskaper och defekter såväl i kopparhöljet som i gjutjärnsinsatsen. Kvalitetskraven måste verifieras med metoder för oförstörande provning (OFP).
- Fortsatta korrosionsstudier erfordras inom olika områden: accelererade långtidsförsök för spänningskorrosion, allmän korrosion i klorid- och sulfidhaltiga vatten med bentonit, och mikrobiell korrosion.
- 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.

8 Buffert

8.1 Kvalitetskontroll med avseende på bentonitkvalitet i slutförvaret

Eftersom bufferten är en så central komponent i slutförvaret måste uttryck som ”tillräckligt bra egenskaper” underbyggas med specifika krav på de viktigaste egenskaperna som svällbarhet¹, hydraulisk konduktivitet², kemisk och fysikalisk stabilitet³ etc. preciseras (se närmare beskrivning under rubriken ”Byte av referens” nedan).

En hög halt av montmorillonit är viktig för att få en god svällbarhet men inga ansatser för att fastställa gränsvärden för acceptabel halt har ännu redovisats i forskningsprogrammet.

Övriga icke-svällande sekundära lermineral som vanligen förekommer i bentonit är illit och kaolinit dock oftast i låga halter.

Andra vanliga s.k. primära mineral av betydelse i bentonit är kvarts, fältspater, kalcit, gips, siderit och pyrit.

Den relativa förekomsten av dessa mineral och deras respektive partikelstorleksfördelning påverkar bentonitens egenskaper på olika sätt.

Bland förekommande mineral är kvarts och fältspater (silikater) dominerande (15–25 %) och av dessa är kvarts mer stabil mot omvandling och upplösning i kontakt med vatten. Reaktionen med vatten är starkt pH-beroende och medan kvarts i huvudsak kan förväntas reagera vid höga pH-värden (pH>9) så sker upplösning och ytomvandlingar på fältspater redan i neutral och svagt sur miljö.

¹ Svällbarhet innebär att en hög densitet kan upprätthållas.

² Hydraulisk konduktivitet innebär låg vattengenomsläpplighet.

³ Kemiska och fysikalisk stabilitet innebär mindre risk för omvandling och god mekanisk hållfasthet.

Det finns några olika sätt att definiera mineralpartiklars ytladdning varav pzc (point of zero charge) är det vanligaste. Pzc kan definieras som det pH-värde då ytan har en nettoladdning lika med 0. Om pH är lägre än pzc för ett visst mineral är ytan positiv och vid högre pH alltså negativ.

Pcz-värden för kvarts och fältspater är ungefär 2–2.5, vilket betyder att båda mineralen har negativt laddade ytor i det för slutförvaret aktuella pH-området och kan därför bidra med att adsorbiera positivt laddade joner i buffert och återfyllning.

Partiklar av dessa mineral ökar dock troligen porositeten i bentonit genom sin relativa storlek i förhållande till partiklar av montmorillonit och att de är relativt sett mindre påverkade av vatten. Detta påverkar i sin tur den hydrauliska konduktiviteten.

Kalcit och pyrit har båda effekter på porvattnets pH-värde men på olika sätt. Kalcit är relativt lösligt och är ett basiskt mineral som kan neutralisera syror och upprätthålla alkaliska förhållande i bufferten vilket i allmänhet är en fördel.

Pyrit reagerar med och förbrukar löst syre i vattnet och gör därmed miljön mindre korrosiv för kopparkapseln. Reaktionerna med syre sänker dock pH-värdet och kombinationen med kalcit är därför önskvärd.

Gips är förhållandevis lösligt och bidrar till att kalciumjoner och sulfatjoner kan transporteras i porvattnet och orsaka utfällningar av sekundära mineral. Det har dock ingen större effekt på pH-värdet i bufferten. Gips har liksom kalcit den något ovanliga egenskapen att vara mer svårslöslig vid högre temperatur. Det betyder att de har en tendens att bilda utfällningar nära kopparkapseln (som ju har en högre temperatur) i bufferten.

Grundvattnet innehåller ofta både kalciumjoner och vätekarbonatjoner och med tanke på att det råder mycket höga tryck i bufferten kommer jontransport följt av utfällningar och nybildningar av fasta ämnen att ske.

Rådet anser att SKB bör redovisa ett kvalitetsprogram avseende bentoniten till slutförvaret. En kvalitetskontroll bör omfatta den totala mineralsammansättningen såväl som koncentrationen av organiska och oorganiska föroreningar.

8.2 Några synpunkter på SKB:s forskningsprogram med avseende på buffert

Bentonitbufferten är en av de viktigaste komponenterna i slutförvaret. Bentonitens egenskaper och förväntade processer i buffert och återfyllnad är av avgörande betydelse för den långsiktiga säkerheten och utgör viktiga delar i säkerhetsanalysen. En av buffertens viktigaste uppgifter är att förhindra eller fördröja både transport av radionuklider från en eventuellt läckande kopparkapsel och transport av korrosiva ämnen till kapseln.

Kärnavfallsrådet har i en rad tidigare granskningar av SKB:s forskningsprogram bland övriga synpunkter efterlyst en mer sofistikerad modell för sorption av olika joner i bentonitbufferten. En sådan modell beskrivs i Bilaga 3. I Fud 2007 anser dock SKB att sorption i bentonit inte är ett prioriterat forskningsområde. Rådet uppmanar dock SKB att upprätta transportmodeller genom bentoniten för de viktigaste radioaktiva isotoperna med positiv resp. negativ laddning.

Byte av referens

Under mycket lång tid har forskning och utveckling i SKB:s regi utgått från att det är Natriumbentonit av typ Volclay MX 80 som ska användas och dess goda egenskaper med avseende på svällning, ”självläkning”, gaspermeabilitet, hydraulisk diffusion, fientlighet mot mikrober, retentionsförmåga mot jontransport, mekanisk flexibilitet mot mindre rörelser i berget och kemisk stabilitet varit noggrant studerade och beskrivna.

I Fud 2004 antydde SKB att man avsåg att testa andra sorters bentonit för att få referenser till MX 80, vilket rådet uppmuntrade i sitt yttrande (Kärnavfall – barriärerna, biosfären och samhället, SOU 2005:47). Rådet uttryckte emellertid en oro över att SKB i ett mycket tidigt skede drog slutsatsen att kalciumbentonit har i stort sett lika bra egenskaper och i Fud 2007 har SKB helt lämnat MX 80 som referensmaterial.

Det är onekligen oväntat snabbt marscherat och i Fud 2007 skriver SKB att ”det finns ett flertal natrium- och kalciumbentoniter på marknaden som mycket väl kan uppfylla SKB:s krav”.

Mindre svällningspotential

SKB medger att kalciumbentoniten har minskad svällningspotential men anser att den har likvärdiga egenskaper vid samma buffertdensitet.

Rådet har i en tidigare kunskapslägesrapport (Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2001, SOU 2001:35) beskrivit skillnaden mellan absorption av vatten i natrium- och kalciumbentonit på viss detaljnivå.

Litteraturdata visade då att skillnaden i svällningspotential är 2-3 lägre för europeisk bentonit än MX 80.

En långsiktig fördel med kalciumbentonit skulle kunna vara att grundvattnet ofta innehåller kalciumjoner och att ett jonbyte mellan natriumjoner i natriumbentoniten och kalciumjoner i grundvattnet ändå skulle medföra en viss omvandling.

Om man från början använder en kalciumbentonit med högre torrdensitet skulle en sådan långsiktig omvandling möjligtvis vara mindre dramatisk än med motsvarande natrium-bentonit.

Vilka egenskaper är avgörande?

Det finns dock en lång rad av andra egenskaper som också är viktiga för den långsiktiga säkerheten och här är osäkerheten mycket större.

Hur påverkas t.ex. förmågan till självläkning (som ju är kopplad till svällningspotentialen), hydraulisk diffusion, gaspermeabiliteten och retentionsförmågan mot radionuklider och övriga joner samt den kemiska stabiliteten av vilken typ av bentonit som används?

En mycket viktig faktor i sammanhanget är förmågan att motstå erosion, dvs. bildande av mycket små partiklar (av storleksordningen mikrometer) som dels utarmar bufferten, dels kan transportera radionuklider från förvaret.

Så länge man använde sig av MX 80 som referensmaterial hade man ju dess egenskaper att utgå från och jämföra med men hur gör SKB nu?

Hur kommer man att prioritera olika (ibland kanske motstridiga) egenskaper och hur fastställs gränsvärden för dessa?

Bentonitens sammansättning och struktur

Bentonitens sammansättning med avseende på mineralfördelning och föroreningar av olika slag (organiska och oorganiska) är naturligtvis också viktig att veta och bör kontrolleras.

Rådet har gett sina synpunkter på detta i ett särskilt textavsnitt.

Rådet har i tidigare yttrande ansett att SKB bör föreslå gränsvärden för föroreningshalter i bentonitbufferten samt kombinationer av dessa.

Denna uppmaning gäller ännu.

Porvattnets sammansättning i såväl omättad som mättad buffert kommer att vara direkt beroende av bentonitens sammansättning inte minst dess föroreningar.

Forskning om montmorillonitstruktur

SKB anger i Fud 2007 att ”teknik för att bestämma montmorillonitens struktur skulle utvecklas”. och man säger att ”tekniken för att bestämma det svällande mineralets strukturformel kommer att vidareutvecklas”

Det är visserligen alltid viktigt att öka sina kunskaper inte minst genom grundläggande studier men det är ändå litet svårt att förstå varför SKB prioriterar just denna forskning.

På vilket sätt avser man att utnyttja de resultat man förväntar sig att få?

Vattenmättnad

Rådet håller med SKB om att vattentransporten i den omättade bufferten är en komplicerad process. Vattentransporten är beroende av bentonitens sammansättning m.a.p. svällande och icke-svällande komponenter, den temperaturgradient som uppstår från kapseln genom bentoniten, hur homogent vattnet tillförs och med vilken hastighet.

Det är onekligen en av nyckelprocesserna i förvaret och kräver därför mycket forskning och utveckling i form av både experiment och simuleringar framför allt med den typ av bentonit som ska användas i bufferten. De försök och modellberäkningar som hittills gjorts grundar sig såvitt Rådet förstår på MX 80 och nu återstår en lång rad tester med andra typer av bentonit.

Inhomogen vattenmättnad och svällning i olika delar av bentoniten längs med kopparkapseln genererar olika tryck- och skjivspänningar som kan eventuellt rubba kapselns position i höjd- och/eller sidled.

Under vattenmättnadsfasen kan svälltrycket åtminstone tillfälligt var helt olika i olika delar av deponeringshålet.

Även denna oönskade process påverkas av materialegenskaper hos bentoniten som t.ex. hydraulisk konduktivitet och svällningsegenskaper.

Kanalbildning och erosion

Vattentransport och svällning av bentoniten innebär också det finns risk för kanalbildning och erosion. En okontrollerad erosionsprocess är onekligen ett hot mot buffertens långsiktiga funktion och måste begränsas till ett minimum.

I dessa sammanhang är bentonitens hållfasthet väsentlig (ringar, block och pellets) som i sin tur beror på mineralsammansättning, typ och mängd av föroreningar och densiteten vid kompakteringen.

Rådet uppmanar SKB att betrakta motståndskraft mot erosion som en viktig parameter vid det slutliga valet av typ av bentonit.

Jonbyte/diffusion och speciering av radionuklider

En av buffertens viktigaste roller som teknisk barriär beror på dess förmåga att förhindra transport av radioaktiva ämnen som joner eller kolloider från en ev. skadad kopparkapsel.

Transporten av radioaktiva ämnen genom bentonit har undersökts mycket noggrant och en genomgång av möjliga diffusionsvägar och mekanismer finns en Kunskapslägesrapport från KASAM 2001 (SOU 2001:35).

Rådet har också beskrivit flera av de mekanismer som är aktuella vid transport av olika ämnen genom lermineral i ett särskilt avsnitt av detta yttrande.

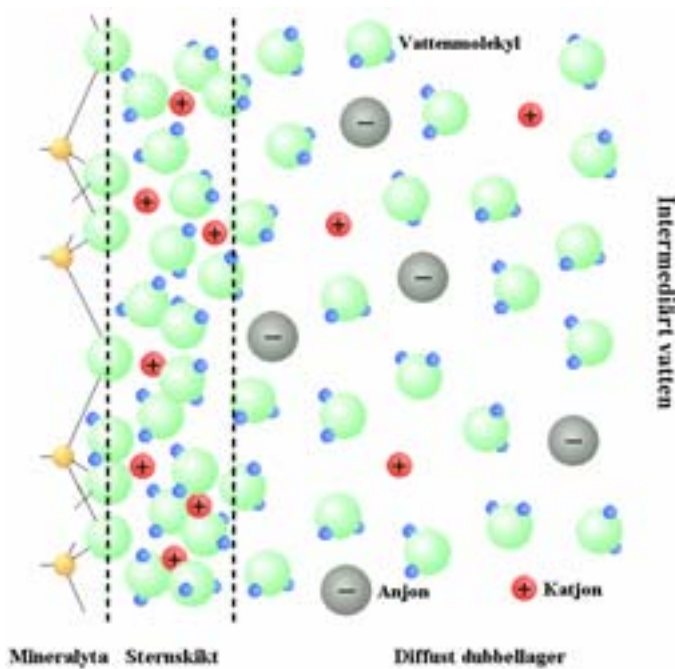
Generellt gäller att transporten av positivt laddade joner (katjoner) och negativt laddade joner (anjoner) är principiellt olika varandra, genom att katjonerna diffunderar genom ytdiffusion i det s.k. Sternskiktet, dvs. skiktet av vatten molekyler som befinner sig närmast mineralytan medan anjonerna enbart diffunderar genom

det s.k. intermediära vattnet längre ut från mineralytorna (se figur 8.1).

Genom att transportmekanismerna för positiva och negativa joner genom bufferten är helt olika specieringen av radionuklider stor betydelse.

De studier av redoxkinetik för olika oxiderade former av radionuklider som aviseras i Fud 2007 har därför rådets fulla stöd.

Figur 8.1 Transporten av positivt och negativt laddade joner



Bildning av kolloider av korrosionsprodukter från kapseln (t.ex. magnetit) och därtill hörande adsorption och transport av radionuklider är också en kritisk faktor. Större kolloidala partiklar kan tänkas reducera antalet flödesvägar genom deponeras i bentonitens porer medan små oladdade kolloidala produkter som är opåverkade av laddningseffekter skulle kunna öka rörligheten av radioaktiva ämnen.

Fördelningen av porernas storlek i bufferten är därför en viktig parameter som i sin tur också beror av bl.a. bentonitens sammansättning. Det är genom dessa porer som oönskade transporter sker

Valet av bentonit är alltså långtifrån någon trivial historia.

Experimentella data tyder på att diffusionskoefficienterna är ungefär tio gånger högre i calciumbentonit än natriumbentonit (Choi & Oscarson, 1996) vilket visar att sammansättningen har stor betydelse för bentonitens egenskaper.

Montmorillonitomvandling

Omvandlingen från smektit till illit har fått ett särskilt textavsnitt i detta yttrande.

En speciell egenskap hos montmorillonit är att det är ett lågt utbyte av fyrvärd kisel i de tetraedriska skikten (siloxanskikten) i mineralet.

Illit karakteriseras bl.a. av ett utbyte av trevärd aluminium mot fyrvärd kisel i dessa skikt som ger upphov till negativt laddade ytplatser och en starkare adsorption av katjoner av vilka kaliumjoner har avgjort störst betydelse och gör att leran tappar sin egenskap att svälla i vatten.

Omvandlingen från smektit till illit kan förväntas ta relativt lång men den högre temperaturen närmast kapseln och ökad tillgång på kaliumjoner från lakning av krossat berg och betong kan påskynda förloppet.

Rådet har i tidigare yttranden uppmanat SKB att studera betydelsen av en begränsad illitisering och denna uppmaning kvarstår.

8.3 Kärnavfallsrådets slutsatser

- De viktigaste egenskaperna hos materialet i bufferten bör specificeras och gränsvärden med avseende på t.ex. svällningspotential, retentionsförmåga gentemot radionuklider, kemisk stabilitet, hydraulisk diffusion, motståndskraft mot erosion samt halt av föroreningar (oorganiska såväl som organiska) bör fastställas.
- Mekanisk hållfasthet och kemisk stabilitet för kompakterade komponenter i bufferten ska säkerställas.
- Transportmodeller för de viktigaste radioaktiva isotoperna (med positiv och negativ laddning) genom bentoniten bör upprättas.

Bilaga 1

Det svenska kärnavfallsprogrammet

Redovisning och granskning av program för forskning och utveckling

Enligt 12 § lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhets (kärntekniklagen) ska reaktorägarna upprätta eller låta upprätta ett program för den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet samt de övriga åtgärder som behövs för ”att på ett säkert sätt hantera och slutförvara i verksamheten uppkommet kärnavfall eller däri uppkommet kärnämne som inte används på nytt” (10 § 2) och för ”att på ett säkert sätt avveckla och riva anläggningar som inte längre behövs” (10 § 3). Programmet ska upprättas vart tredje år, omfatta en tid av sex år och ska lämnas in till Statens kärnkraftinspektion (SKI).

Reaktorägarna har uppdragit åt SKB att upprätta detta program. Det senaste, Fud-program 2007 – Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall, redovisades av SKB i september 2007.

Varje Fud-program granskas av SKI, som genom ett remissförfarande bjuder in ett stort antal organisationer att lämna synpunkter. Dessa synpunkter sammanställs av SKI, som med ett eget yttrande lämnar sina synpunkter till regeringen.

Parallellt med SKI:s ingående granskning går programmet också igenom av Kärnavfallsrådet, som lämnar ett eget yttrande till regeringen. Med SKI:s och Kärnavfallsrådets yttranden som grund beslutar sedan regeringen om programmet uppfyller kärntekniklagens krav (bl.a. avseende allsidighet). Regeringen kan föreskriva villkor för den fortsatta forsknings- och utvecklingsverksamheten som anses vara nödvändiga. Under förutsättning att SKB följer

uppställda villkor och i övrigt beaktar de påpekanden som gjorts av regeringen och dess myndigheter kan Fud-programmen anses ha fått samhällets stöd och godkännande. Det bör emellertid framhållas att regeringen, vid sin prövning av framtida ansökningar om tillstånd enligt kärntekniklagen och tillåtelse enligt miljöbalken formellt sett inte är bunden till vad som har uttalats i tidigare beslut med avseende på Fud-programmen.

Grundläggande principer för ansvarsfördelningen mellan staten och kärnkraftsföretagen

Ansvarsfördelningen mellan staten och kärnkraftsföretagen när det gäller hantering och slutförvaring av använt kärnbränsle m.m. bygger på fyra grundläggande principer som har slagits fast av riksdagen. Dessa principer återspeglas i dag främst i kärntekniklagen och i lagen (2006:647) om finansiella åtgärder för hanteringen av restprodukter från kärnteknisk verksamhet. Principerna finns i vissa delar också uttryckta i internationella konventioner som Sverige har anslutit sig till och alltså har förbundit sig att följa. De fyra principerna kan uttryckas enligt följande¹.

- Kostnaderna för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall ska täckas av intäkterna från den produktion av energi som gett upphov till dem. Med hänsyn till de långa tidsperioder som krävs för hantering och slutförvaring kommer utgifter att uppstå långt efter det att produktionen vid ett kärnkraftverk har upphört. Det innebär att medel för framtida utgifter för hantering och slutförvaring av använt kärnbränsle m.m. fortlöpande måste tas ur intäkterna från energiproduktionen och att medlen fonderas för användning när de behövs.
- En reaktorinnehavare ska svara för att använt kärnbränsle och kärnavfall tas om hand på ett säkert sätt. Det innebär att reaktorinnehavarna ska svara för att behövliga åtgärder för hantering och slutförvaring faktiskt kommer till stånd. De måste se till att tekniskt kunnande, kompetens, utrustning, handläggning m.m. finns tillgängliga i tillräcklig utsträckning och utnyttjas.

¹ För en något utförligare redovisning med källhänvisningar hänvisas till en av Statens kärnkraftinspektion i december 2006 upprättad rapport, *Statens ansvar för slutförvaring av använt kärnbränsle* (SKI Rapport 2007:01 s. 3–4).

- Staten har ett övergripande ansvar för använt kärnbränsle och kärnavfall. I detta ligger dels ett övergripande ansvar att tillse att slutförvaringen kommer till stånd, dels ett sistahandsansvar för slutförvaringen i meningen att staten själv tvingas att ta på sig en beställar- och finansieringsroll om kärnkraftsindustrin inte har förmåga att utföra uppgiften eller av annat skäl avstår från att göra det.
- Varje land ska ta ansvar för det använda kärnbränsle och kärnavfall som uppkommer i landet. Av detta följer att slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall från kärnteknisk verksamhet i ett annat land inte får förekomma i Sverige annat än i rena undanstatsfall.

Frågorna kring kärnavfallshanteringen är inte enbart tekniska, de kräver också ett politiskt beslutsfattande. Och, som framhölls i Kärnavfallsrådets rapport 2007 om kunskapsläget på kärnavfallsområdet, detta beslutsfattande måste ske under en viss osäkerhet, där också ett icke-beslut innebär ett ställningstagande (jfr SOU 2007:38 s. 21–24, 79 och 84–87).

Hantering, planering och finansiering

Grunden för utvecklingen av det svenska kärnkraftsprogrammet började läggas redan under 1940-talets senare del. Detta arbete fortsatte under 1950- och 1960-talet. Ansökan om koncession till det som skulle bli den första kärnkraftsreaktorn i Sverige, O1, lämnades in år 1965. Den reaktorn togs i kommersiellt bruk år 1972. Under åren 1969–1972 beställde ägarna till de blivande kärnkraftverken i Oskarshamn, Ringhals, Barsebäck och Forsmark ytterligare sju reaktorer.

Frågor om hur avfallet från kärnenergiproduktionen skulle hanteras uppmärksammades under denna tid av utveckling och uppbyggnad endast sporadiskt i den allmänna debatten. Vid ingången av 1970-talet skedde emellertid en förändring. Efter några år – i stort sett samtidigt som den första reaktorn vid Oskarshamn kärnkraftverk togs i bruk och sju andra reaktorer var beställda – stod avfallsfrågan plötsligt i centrum för den energipolitiska debatten

Kring årsskiftet 1972/1973 beslöt regeringen om direktiv för en parlamentariskt sammansatt kommitté för att utreda frågor ”rörande högaktivt avfall från kärnkraftverk”. Kommittén – känd under benämningen AKA-utredningen – föreslog i mitten av 1970-talet ett system av anläggningar som liknar det system som nu till vissa delar finns i Sverige och som SKB planerar att utveckla. Det fullständiga systemet omfattar bl.a. de befintliga avfallsanläggningarna CLAB (centralt mellanlager för använt kärnbränsle) och SFR (slutförvar för låg- och medelaktivt driftavfall) samt planerade slutförvar för bl.a. högaktivt avfall. AKA-utredningen ledde aldrig till någon proposition om ny lagstiftning, men dess arbete fick mycket stor betydelse för planeringen av omhändertagande av avfallet från de svenska kärnkraftverken och från annan kärnteknisk verksamhet.

I den s.k. villkorslagen, som började gälla under år 1977 och upphävdes när den nu gällande kärntekniklagen trädde i kraft år 1984, ställdes krav på en ”helt säker” slutförvaring av det använda kärnbränslet för att tillstånd skulle ges att ladda en reaktor. Kärntekniklagen kräver en ”säker” hantering och slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall och den lägger entydigt ansvaret för forskning, utveckling och genomförande på reaktorägarna². Enligt lagen ska dessa redovisa ett forsknings- och utvecklingsprogram vart tredje år. För att upprätta och utveckla detta program (numera kallat Fud-program) och för att ta hand om det radioaktiva avfallet och det använda kärnbränslet från reaktorerna har ägarna av de svenska kärnkraftsreaktorerna bildat det ovan nämnda bolaget SKB, som alltså ägs av dem gemensamt.

Redan i början av 1980-talet beslutade riksdagen om en särskild finansiering av de framtida kostnaderna för att på ett säkert sätt ta hand om det använda kärnbränslet och att riva de kärntekniska anläggningarna. Finansieringssystemet innebar i princip att kärnkraftsföretagen betalar en särskild avgift till staten. Den avgiften tas ut med visst belopp per kWh levererad el från kärnkraftverken (för år 2008 uppgår avgiften till i genomsnitt ca 0,8 öre/KWh). Kärnkraftsföretagen har rätt att ur avgiftsmedlen löpande få ersättning

² I förarbetena till kärntekniklagen (se prop. 1983/84:60 s. 46) underströk regeringen att ytterst stränga krav på säkerhet och strålskydd måste ställas på omhändertagande och slutförvaring av det använda kärnbränslet och fortsatte: ”Det är därför angeläget att forsknings- och utvecklingsarbetet rörande avfallsfrågorna inte avmattas sedan laddningstillstånd har lämnats. Mot denna bakgrund framstår det som olyckligt om en metod – som i villkorslagen – anges som ’helt säker’, vilket skulle kunna ge intryck av att fortsatt forsknings- och utvecklingsarbete är mindre angeläget. Begreppet ’helt säker’ bör därför inte överföras i ny lag.”

för sådana kostnader som de redan har för åtgärder som syftar till en säker hantering och slutförvaring av det använda kärnbränslet. Resterande medel fonderas för framtida behov. Utöver avgiften ska kärnkraftsföretagen bl.a. ställa vissa ekonomiska säkerheter för de beräknade kostnaderna. Nu gällande bestämmelser finns i lagen (2006:647) om finansiella åtgärder för hanteringen av restprodukter från kärnteknisk verksamhet jämte en anslutande förordning (2007:161).

Fonderingssystemet har hittills fungerat väl. Det har t.o.m. år 2007 täckt kostnader för att ta hand om använt kärnbränsle, inklusive forskning och utveckling av system för slutförvaring, som har uppgått till närmare 21 miljarder kronor i löpande penningvärde³. Enligt de senaste gjorda kostnadsberäkningar behövs ytterligare ca 67 miljarder kronor (2007 års penningvärde). Av detta belopp finns i dag ca 39 miljarder kronor fonderade. Mellanskillnaden på ca 28 miljarder kronor kommer enligt beräkningarna att täckas dels av avkastningen från redan fonderade medel, dels genom fortsatta avgiftsinbetalningar så länge reaktorer är i drift⁴.

Val av alternativa slutförvarsmetoder

I det internationella idéutbytet kring slutligt omhändertagande av kärnavfall har fem olika strategier övervägts:⁵

- ”Kvittblivning” genom utskjutning i rymden.
- Deponering i otillgängliga områden på vår planet, exempelvis under Antarktis istäcke eller i havsbottensediment på stort djup.

³ Uppgiften är hämtad från Kärnavfallsfondens årsredovisning 2007. I Fud-Program 2007 (s. 34) anges de hittillsvarande för det svenska kärnavfallsprogrammet uppgå till ca 27 miljarder kronor och de totala kostnaderna sedan starten till ca 94 miljarder kronor. Återstående kostnader utgör alltså ca 67 miljarder kronor. Det bör observeras att beloppen är i Fud-program 2007 angivna i 2007 års penningvärde, sedan starten till ca 94 miljarder kronor. Återstående kostnader utgör alltså ca 67 miljarder kronor. Det bör observeras att beloppen är i Fud-program 2007 angivna i 2007 års penningvärde.

⁴ I samband med att Fud-program 2004 presenterades beräknades de framtida kostnaderna till ca 55 miljarder kronor. De viktigaste orsakerna till att de framtida kostnaderna år 2007 beräknas till ett betydligt högre belopp (67 miljarder kronor) är att volymerna av använt kärnbränsle nu beräknas bli större än tidigare eftersom industrin numera räknar med att de kvarvarande reaktorerna kommer att vara i drift längre än vad som antagits tidigare, att kostnaderna för den framtida rivningen av kärnkraftsverken har räknats upp samt att den senaste beräkningen är utförd i 2007 års penningvärde.

⁵ För en utförligare redovisning av dessa strategier hänvisas till Kärnavfallsrådets rapport *Kunskapsläget på kärnavfallsrådet 2007 – Nu levandes ansvar, framtida generationers frihet* (SOU 207:38 s. 37–46).

- Långtidslagring av det använda bränslet i ett övervakat förvar – eventuellt i avvaktan på den fortsatta utvecklingen av andra strategiska och tekniska alternativ, ibland kallat ”nollalternativet”.
- Kärnteknisk omvandling, transmutation, av avfallet för att Slutförvaring av avfallet djupt ner i berggrunden.

De två första strategierna har avförts från diskussionen av uppenbara skäl (oacceptabla säkerhetsrisker och/eller brott mot gällande internationella konventioner). Den tredje strategin innebär att man överlämnar åt dem som kommer att leva under kommande sekler att komma fram till en långsiktigt hållbar lösning. Stora forsknings- och utvecklingsinsatser har påbörjats internationellt kring den fjärde strategin, transmutation. Men med dagens kunskap om teknologi och ekonomi kring denna strategi har det hittills i vårt land inte ansetts acceptabelt att den skulle utgöra basen för ett långsiktigt handlande. I stället har strategin i Sverige inriktats på det femte huvudalternativet, slutförvaring av använt kärnbränsle djupt ner i berggrunden. Det finns även en bred internationell enighet bland tekniska experter att geologisk förvaring (i berggrunden eller i andra geologiska formationer) är den mest passande metoden för långtidsförvaring av de farligaste formerna av radioaktivt avfall. En sådan inriktning föredras av de flesta länder, som har ett forsknings- och utvecklingsprogram för högaktivt avfall eller använt kärnbränsle.

SKB har under årens lopp redovisat flera olika alternativ när det gäller val av metod för slutförvaring av använt kärnbränsle i den svenska berggrunden:

- KBS-3-metoden (se vidare nedan).
- Långa tunnlar (inkapslat bränsle placeras utspritt i ett antal ca 5 km långa tunnlar).
- WP-Cave (inkapslat bränsle placeras i en burliknande bergkonstruktion på 300–500 meters djup).
- Djupa borrhål (inkapslat bränsle deponeras i hål som borrar från markytan och på ett djup av 2–4 km).

Den s.k. KBS-3 metoden (som innebär att det använda kärnbränslet placeras i kopparkapslar med en insats av gjutjärn, en omgivande barriär av bentonitlera, med en placering i ett tunnel-system i berg på 400–500 meters djup) har utvecklats successivt

under en lång följd av år och har återkommande redovisats och granskats. KBS-3 metoden har av regeringen accepterats som huvudlinjen i det fortsatta utvecklingsarbetet. I ett regeringsbeslut i november år 2001 med anledning av SKB:s komplettering av Fud-program 98 (den s.k. Fud-K rapporten) godtog regeringen denna metod som en ”planeringsförutsättning” för de platsundersökningar som SKB nu genomför i Forsmark (Östhammars kommun) och Laxemar (Oskarshamns kommun). Regeringen har dock i samma beslut understrukt ”att ett slutligt godkännande av viss metod för slutförvaring inte kan göras förrän i samband med ett framtida ställningstagande till ansökningar om tillstånd enligt miljöbalken och kärntekniklagen att uppföra ett slutförvar för använt kärnbränsle”.

Val av alternativa platser för slutförvaring

Från slutet av 1970-talet fram till mitten av 1980-talet genomfördes djupborrningar och mätningar i ett tiotal områden, senare benämnda *typområdesundersökningar*, i olika delar av Sverige. Dessa undersökningar i fält avbröts sedan de på flera håll mötts av protester från ortsbefolkningen. I början av 1990-talet påbörjade SKB en platsvalsprocess som har byggt på frivillig samverkan med ett antal kommuner där s.k. *förstudier* genomfördes. Syftet med dessa förstudier var att klarlägga om det inom de undersökta kommunerna fanns geologiska och andra förutsättningar att närmare identifiera platser där det kunde vara lämpligt att placera ett slutförvar för använt kärnbränsle. År 2000 identifierade SKB tre platser som lämpliga för fortsatta studier och bad om de tre berörda kommunernas tillåtelse att bedriva s.k. *platsundersökningar*. Två av de tillfrågade kommunerna, Oskarshamn och Östhammar, ställde sig positiva. I båda dessa kommuner hade nästan enhälliga fullmäktige ställt sig bakom beslutet om tillåtelse, dock formulerade man samtidigt ett antal villkor för sin positiva inställning.

De geologiska undersökningar som SKB har genomfört för att få underlag för val av plats för ett slutförvar för använt kärnbränsle – med KBS-3-metoden som planeringsförutsättning – bedrevs alltså från början med syfte att kartlägga de geologiska förutsättningarna i stora delar av Sverige. En sådan plats ska uppfylla grundläggande krav enligt bestämmelser i kärntekniklagen, miljöbalken samt Kärnkraftinspektionens och Strålskyddsinstitutets föreskrifter.

Men valet av plats ska också ha politiskt stöd, dvs. både den berörda kommunen och regeringen ska acceptera lokaliseringen.

Regeringens beslut att acceptera KBS-3 metoden som en planeringsförutsättning (se avsnitt 1.4) gjorde det möjligt för SKB att starta platsundersökningarna i Forsmark och Laxemar. Dessa platsundersökningar avslutades kring årsskiftet 2007/2008.

Bilaga 2

Beskrivning av buffertens kemiska sammansättning

I Fud 2007 används i olika sammanhang namn på lermineral i redogörelser för olika processer i bentonitbufferten. Således förekommer namn som *montmorillonit*, *pyrofyllit*, *smektit*, *illit* och *klorit* tillsammans med oorganiska föreningar (mineral) som *kvarts*, *fältspater*, *glimmer*, *plagioklas*, *amorft kisel*, *kalцит*, *pyrit*, *siderit* och *gips*. De senare betraktas i detta sammanhang som föroreningar i bentoniten även om de flesta av dem utgör naturliga komponenter i leror.

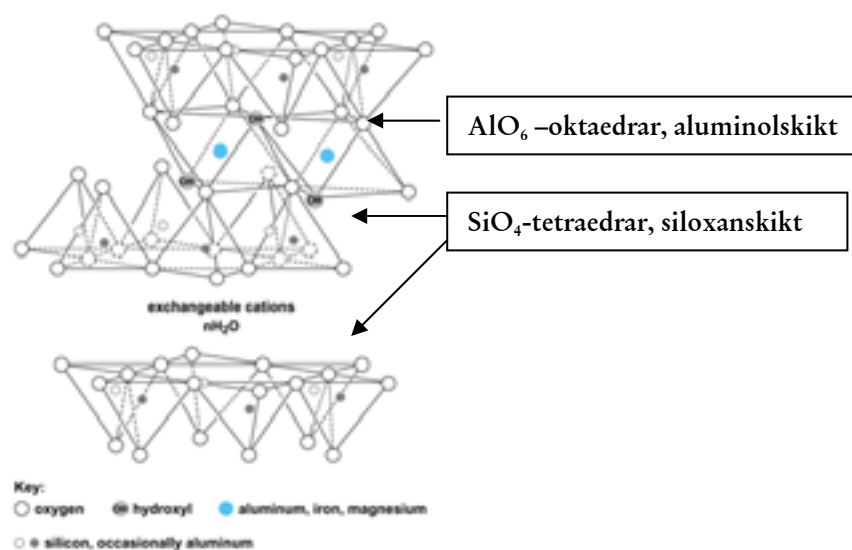
Det kan därför vara på sin plats att reda ut begreppen för att öka förståelsen för de processer som beskrivs i forskningsprogrammet. En lera (t.ex. bentonitlera) är ett allmänt namn på ett oorganiskt material som generellt består av mycket små partiklar (< 2mm). Leran innehåller i allmänhet s.k. primära lermineral av vilka de viktigaste är olika typer av *fältspater*. Fältspater kan indelas i två huvudgrupper som kallas *alkalifältspater* och *plagioklas*. Alkalifältspater består av en blandning av KAlSi_3O_8 (ortoklas) och $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (albit) och plagioklasernas sammansättning varierar mellan ytterligheterna $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (albit) och $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (anortit).

Leran innehåller också s.k. sekundära lermineral och *smektit*, *montmorillonit*, *pyrofyllit*, *illit* och *klorit* är exempel på sådana.

Det finns ett relativt stort antal olika typer av sekundära lermineral med sammanfattningsnamnet fyllosilikater (skiktssilikater).

En undergrupp utgörs av de s.k. 2:1 mineralen som består av två skikt med hopkopplade SiO_4 -tetraedrar (s.k. siloxanskikt). Kristallstrukturen är uppbyggd så att mellan siloxanskikten finns ett skikt med AlO_6 – oktaedrar (s.k. aluminolskikt) (se figur 1).

Figur 1 Lermineralers kristallstruktur (smektiter)



Den kemiska formeln för en ideal 2:1 lera t.ex. *pyrofyllit* är $\text{Si}_8^{\text{IV}}\text{Al}_4^{\text{VI}}\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ men olika variationer är vanliga.

Mellan siloxanskikten är ofta olika typer av katjoner (positiva joner) koordinerade antingen via hydroxylgrupper (OH-grupper) och kallas då *kloriter* eller som individuella katjoner med eller utan omgivande vattenhölje t.ex. i *smektiter*.

I allmänhet är varken de tetraedriska siloxanskikten eller det mellanliggande oktaedriska aluminolskiktet helt intakta. I SiO_4 -skikten kan en del av Si^{4+} bytas ut mot Al^{3+} och AlO_6 -skiktet kan Al^{3+} substitueras mot t.ex. Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} eller Cu^{2+} . Processen kallas isomorf substituering. Om de substituerade (utbytta) jonerna har högre positiv laddning än de substituerande (ersättande) jonerna (t.ex. $\text{Al}^{3+} \leftrightarrow \text{Mg}^{2+}$) kommer nettoeffekten att bli att skiktet blir negativt laddat.

Montmorillonit som är huvudbeståndsdelen i bentonit tillhör gruppen smektiter. I montmorillonit har substitutionen i huvudsak skett i det oktaedriska skiktet, dvs. Al^{3+} har delvis bytts mot Mg^{2+} och Fe^{2+} vilket alltså ger upphov till en negativ ytladdning. Detta sker alltså i det oktaedriska aluminolskiktet medan det tetraedriska siloxanskiktet är bevarat mer eller mindre opåverkat. Den negativa laddningen kompenseras av adsorberade katjoner (positiva joner)

mellan siloxanskikten. Dessa kan relativt lätt kan bytas ut och tillsammans med vatten ger de montmorilloniten dess unika egenskaper som ett svällande och krympande lermineral.

Den ideala kemiska formeln för montmorillonit är $M_{0.33}H_2OAl_{1.67}(Fe^{2+},Mg^{2+})_{0.33}Si_4O_{10}(OH)_2$ där M står för adsorberade och utbytbara katjoner (Na^+ , Ca^{2+}) mellan skikten.

I andra typer av smektiter har substitutionen i stället skett i siloxanskiktet ($Si^{4+} \leftrightarrow Al^{3+}$) vilket innebär att den negativa laddningen uppstår där. Det betyder också att adsorberade katjoner i allmänhet sitter starkare bundna till ytorna och är inte lika lätta att byta ut.

Illit är ett mellanting mellan *smektit* och *glimmermineral* t.ex. muskovit med den kemiska formeln $K_2Al_2(OH)_2(AlSi_3O_{10})$. Illit innehåller mer Si^{4+} , Mg^{2+} och H_2O men mindre Al^{3+} och K^+ än muskovit. K^+ är däremot den dominerande katjonen mellan skikten tillsammans med Ca^{2+} , Mg^{2+} och ibland NH_4^+ (ammoniumjon). Illit sväller mycket lite i vatten.

Kvarts eller kiseldioxid förekommer i flera former med olika kristallstruktur. SiO_4 -tetraederna har gemensamma hörn och bildar molekyler med utsträckning i tre dimensioner.

Kiseldioxid är en s.k. sur oxid som angrips av alkaliska lösningar (høgt pH).

Amorf kiselsyra har formeln $Si(OH)_4$ eller bättre $SiO_2 \cdot 2H_2O$.

Kalcit består av kalciumkarbonat och har formeln $CaCO_3$. När kalciumkarbonat utfälls i vattenlösning vid rumstemperatur bildas just kalcit (kalkspat) medan utfällning vid høgre temperatur ger en annan fas (aragonit) med samma sammansättning men annan struktur.

Kalcit är ett alkaliskt mineral som reagerar och neutraliserar sura lösningar (lågt pH).

Siderit eller järnspat har den kemiska formeln $FeCO_3$ och är alltså järnkarbonat och innehåller tvåvärda järnjoner (Fe^{2+}) som kan oxideras i luft till Fe^{3+} och då bildas $FeO(OH)$

Både siderit och kalcit löses i koldioxidhaltigt vatten.

Ett annat järnhaltigt mineral som förkommer i bentonit är *pyrit*, FeS_2 . Även pyrit oxideras av syre i luft och då bildas bl.a. sulfatjoner och lösningen blir sur (lågt pH).

Gips består av kalciumsulfat och har formeln $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

Den mineralogiska sammansättningen av *Friedlandlera* ser helt annorlunda ut. *Friedlandlera* innehåller betydligt mer *kvarts*, *glimmer*, *kaolin*, *illit* och *fältspater* och har inte samma förmåga att svälla som bentonit och med avgjort sämre jonbyteskapacitet.

Kaolin är ett icke-svällande lermineral av s.k. 1:1-typ, dvs. kristallstrukturen innehåller ett siloxanskikt och ett aluminolskikt.

Bilaga 3

Sorption och ytkemiska reaktioner i bufferten

Rådet vill i samband med sin granskning av Fud 2007 antyda vad som kan innefattas i en mer sofistikerad modell och vad en sådan skulle kunna bidra med för att öka förståelsen av sorptionsprocesser i bufferten och återfyllningen.

Bufferten ska förhindra att kolloider och radionuklider tränger ut från en skadad kapsel (Fud 2007 s. 309).

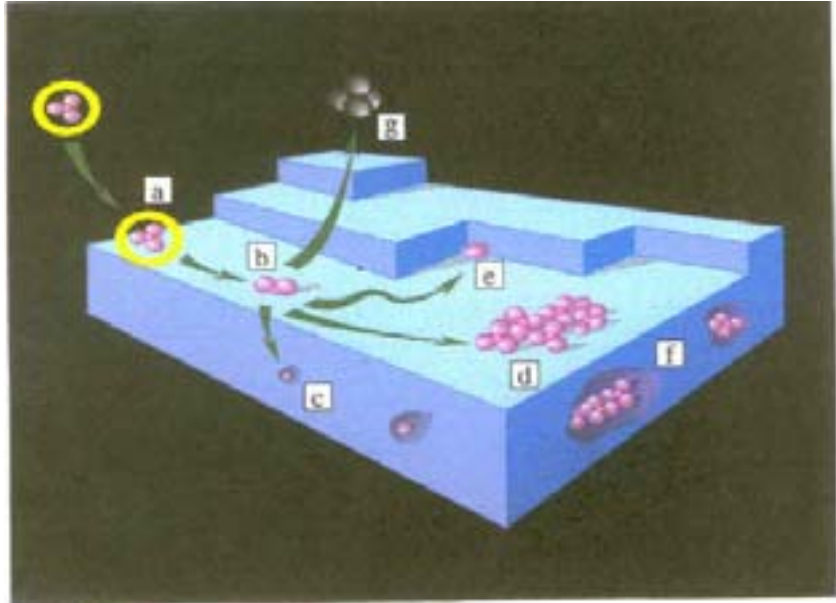
Adsorptionen utgör en av de primära processer som påverkar transport av föroreningar och även av radionuklider i leror (t.ex. i bentonitbufferten). Det finns både fysikaliska och kemiska drivkrafter inblandade. Fysikaliska orsaker till adsorption är t.ex. elektrostatiska effekter (laddningseffekter) som beror på att olika laddningar attraherar varandra medan lika laddningar repelleras.

De viktigaste kemiska drivkrafterna för adsorption utgörs av olika typer av kemisk bindning.

Bufferten och återfyllningen i ett slutförvar kan beskrivas som en högkoncentrerad mineralsuspension åtminstone när den vattenmättats. Mineralpartiklarnas ytor utgör tillsammans adsorbenter med en mycket stor total area. Det är dessa ytor i kontakt med omgivande vatten som utgör den aktiva delen i buffert och återfyllning och de är alltså ytornas egenskaper som bestämmer hur väl t.ex. bufferten kan uppfylla sin tänkta funktion.

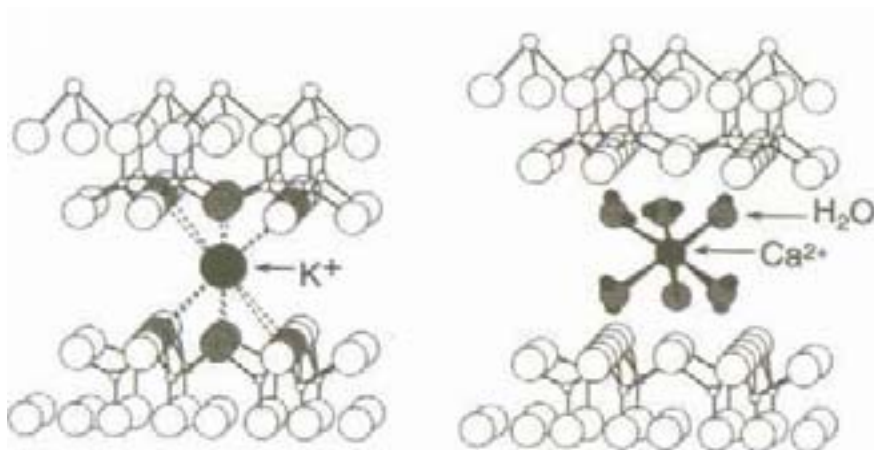
Det finns en mängd olika mekanismer för adsorption av en jon i gränssytan mineral/vatten (figur 1).

Figur 1 Olika mekanismer för adsorption av joner på lermineral



- a) Adsorption av joner via bildning av s.k. yttersfärskomplex.
- b) Reaktion med specifika ytplatser "sites" på mineralpartikeln och bildande av innersfärskomplex.
- c) Diffusion genom ytan följt av en isomorf substitution.
- d) Diffusion längs med minerallytan och bildning av ytutfällning.
- e) Diffusion på ytan till en plats (avsats eller ojämnhet) som maximerar antalet bindningar till den adsorberade jonen
- f) Om mineralpartikeln växer kan ytutfällningen bäddas in i kristallstrukturen.
- g) Den adsorberade jonen kan diffundera tillbaka till omgivande lösning antingen som ett resultat av dynamisk jämvikt eller som ett resultat av redox-reaktioner (t.ex. övergång från oxiderande till reducerande förhållanden).

Figur 2 och Figur 3 Exempel på innersfär- respektive yttersfärkomplex



Positiva joner (katjoner) kan adsorberas både som innersfär- och yttersfärkomplex beroende på jonens egenskaper dvs. jonstorlek, laddning, hydratiseringsenergi (den energi som frigörs när jonen omges av ett vattenhölje) m.m. En jon som adsorberas som ett yttersfärkomplex behåller ofta sitt hölje av vattenmolekyler. Jämför t.ex. kalium- och kalciumjonen i figur 2 och figur 3.

En annan avgörande faktor är pH-värdet i lösningen (suspensionen) och samma jon kan bilda ett yttersfärkomplex vid lägre pH och ett innersfärkomplex vid ett högre. En hög jonstyrka gynnar också bildning av innersfärkomplex som betyder att jonen sitter starkare bunden till ytan. Det gäller t.ex. adsorption av blyjoner (Pb^{2+}) på montmorillonit där yttersfärkomplex bildas vid låg jonstyrka (0.006 M) om $pH < 6.5$ och innersfärkomplex bildas vid högre jonstyrka (0.1 M) och högre pH-värde ($pH > 6.7$).

Kaliumjonen (K^+) bildar alltså innersfärkomplex med ytan medan kalciumjonen (Ca^{2+}) bildar yttersfärkomplex med samma yta. (se fig. 2 och 3). Kaliumjonen binds kemiskt till ytan medan kalciumjonen binds elektrostatiskt dvs. genom jonen och ytan har olika laddning. Kaliumjonerna avger då sitt omgivande "hölje" av vatten medan kalciumjonerna behåller det. Det gör att kaliumjonerna blir svåra att laka ut och adsorptionen leder till att mineralet tappar mycket (det mesta) av sin svällande förmåga. Illit innehåller adsorberade kaliumjoner

Mekanism b) kan ge upphov till negativa laddningar på partikel-ytorna genom att joner med lägre positiv laddning t.ex. Mg^{2+} eller Fe^{2+} adsorberas och sedan substituerar (byter ut) en jon med högre laddning t.ex. Al^{3+} i mineralet. Nettoeffekten blir en minskad positiv laddning och alltså ett överskott på negativ ytladdning. Detta gör att de flesta lermineral t.ex. montmorillonit har en negativ totalladdning och pH-värdet behöver teoretiskt sänkas till c:a 2.5 för att ytan ska bli positivt laddad. Den negativa ytladdningen kompenseras av positiva joner (katjoner) mellan siloxanskikten (se figur 3). Det kan vara hydratiserade natriumjoner eller kalciumjoner dvs. joner med ett omgivande "hölje" av vatten.

De redovisade mekanismerna d), e) och f) i figur 1 är några av orsakerna till att mineral som t.ex. kalcit, gips och pyrit förekommer i bentoniten som föroreningar.

Mekanism g) innebär att om förhållanden ändras t.ex. pH, jonstyrka, temperatur och redox-nivå (t.ex. från oxisk till anoxisk) ändras kan adsorberade joner åter diffundera till omgivande lösning och transporteras till ett nytt ställe i bufferten och någon eller några av de andra mekanismerna blir aktuella på nytt.

Transporten beror av jonladdningen

Transport av radionuklider och övriga joner genom bentoniten blir principiellt mycket olika beroende på deras laddning.

Mineralpartiklarnas negativa laddning vid de pH-värden som förekommer i slutförvaret innebär att positiva joner (katjoner) adsorberas och transporten fördröjs medan negativt laddade joner (anjoner) repelleras och i allmänhet diffunderar snabbare genom bufferten (eller återfyllningen).

När det gäller adsorption av negativa komplexjoner (anjoner) är situationen mer komplicerad. Eftersom de dominerande mineralytorna i buffert och återfyllning är negativa är elektrostatiske effekter som beror på olika laddning inte aktuella.

Däremot kan anjoner adsorberas på vissa ytplatser (på engelska "sites") genom att ett jonbyte med hydroxylgrupper (OH-grupper) från ytan eller genom s.k. vätebindning som innebär att vattenmolekyler eller hydroxylgrupper (OH-grupper) på mineralytan interagerar med de vattenmolekyler som omger anjonen.

För bentoniten gäller att de s.k. siloxanskikten mellan ”flaken” av montmorillonit består av Si –O– Si bindningar som gör ytan relativt hydrofob dvs. vattenavvisande. Dessa ytor interagerar med olika joner huvudsakligen genom elektrostatisk attraktion som beror på olika laddningar mellan adsorbent och adsorbator. Kanterna på ”flaken” är däremot mer hydrofila och innehåller =AlOH sites vars laddning beror på pH-värdet i suspensionen. Därför kan kanterna reagera med negativa joner antingen via specifik kemisk (kovalent) bindning eller via vätebindning.

Det finns ett antal jämviktbaserade adsorptionsmodeller som utgår från att en mineralyta i en vattensuspension omges av ett lager av vattenmolekyler som är mer mindre strukturerade beroende på ytans laddning. Orsaken till detta är att vattenmolekylen är en dipol, dvs. den innehåller både en positiv och en negativ del. Detta lager av vattenmolekyler kallas det elektriska dubbellaget (EDL) och dess tjocklek beror t.ex. på ytladdningens storlek och suspensionens jonstyrka (tjockare lager vid låg jonstyrka). Reaktionen i och omkring EDL är avgörande för olika joners adsorption på ytorna. (För illustration av EDL se figur 8.1 i textavsnitt om Buffert).

Laddningsfördelningen från mineralytan genom EDL kan beskrivas genom en rad olika modeller vilka utgör grunden för att åstadkomma en termodynamisk adsorptionsmodell som kan beskriva komplexbildning på ytorna som funktion av olika koncentrationer och pH. Denna modell beskriver bildning av s.k. yt-komplex som är termodynamiskt motiverade och kan användas tillsammans med data för bildning av komplex i lösning och upplösning/utfällning av svårslösliga föreningar.

Det är alltså en kort beskrivning av vad Rådet i tidigare granskningar betecknat som en sofistikerad adsorptionsmodell.

Bilaga 4

En systemanalytisk betraktelse av säkerhetsanalysen

I detta appendix använder vi ett systemanalytiskt betraktelsesätt för att ge perspektiv på säkerhetsanalysen. Enligt Checkland kan system indelas i fyra klasser:

Natural systems (NS). De naturliga systemen kan studeras, beskrivas och förutsägas av naturvetenskaperna. Människan som naturvarelse ingår i dessa system, men har dessutom förmåga att skapa och utnyttja följande tre system.

Designed physical systems (DPS). Ursprung är människan och ett ändamål. Ett DPS har således tillkommit genom en viljeakt. Exempelvis har människan utvecklat kärnkraftverken för att producera elektricitet. DPS kan beskrivas med samma teorier som NS.

Designed abstract systems (DAS). Liksom DPS har DAS ursprung i människan och ett ändamål. Skillnaden mot DPS är att DAS är ett abstrakt system. Ett bra exempel är modellsystem för säkerhetsanalys.

Human activity systems (HAS). Ursprunget är vår självreflektion och vår därigenom vunna förmåga att ställa upp mål, t.ex. att bygga ett slutförvar eller att utveckla ett modellsystem för säkerhetsanalys. HAS reflekterar över och bestämmer självt målen för sin verksamhet, liksom medlen för att nå målen.

Vi väljer här behandla säkerhetsanalysen som en aktivitet, med andra ord ett mänskligt system som vi betecknar HAS (säk). Det bygger självt upp ett DAS (säk) och använder det för att beskriva säkerheten hos ett DPS (slutförvar) inbäddat i ett NS (omgivande berg). HAS kan inte beskrivas och förutsägas på samma sätt som för övriga system. I brist på konstitutiva modeller för HAS fungerar CATWOE som ett verktyg som erfarenhetsmässigt visat sig

fungera för att definiera sådana system. Det består av följande delar:

- Customers (kunder): De som utnyttjar resultaten av verksamheten (egentligen transformationerna, se nedan).
- Actors (aktörer): De som genomför transformationerna.
- Transformation (transformation): Förändring av systemet från ett tillstånd till ett annat.
- Weltanschauung (Synsätt): Synsätt som gör transformationerna meningsfulla i ett sammanhang.
- Owners (ägare): De som kan stoppa systemet, dvs. dess transformationer.
- Environment (omgivning): Omgivning till systemet som tas för given vid transformationerna.

Nedan beskrivs i korthet innebörden av dessa begrepp för slutförvarsprogrammet.

Kunder

Under slutförvarsprogrammets forsknings- och utvecklingsskede utgjordes kunderna till säkerhetsanalysen av i huvudsak två kategorier:

- FoU-personal anställda eller anlitade av SKB, SKI, och SSI.
- Styrelsemedlemmar i SKB, SKI och SSI samt KASAM.

Senare kom SKB:s program in i ett nytt skede med förundersökningar inom ett antal kommuner med syfte att finna möjliga platser för ett slutförvar och därefter platsundersökningar i två kommuner. Därmed blev säkerhetsfrågan ett aktuellt ämne för debatt på lokal nivå i en helt annan omfattning än tidigare. Kundkretsen har därmed vidgats till att omfatta också t.ex. berörda kommuner.

Ställningstagande till SKB:s kommande ansökan, inklusive val av plats för ett slutförvar kommer till sist att vara ett beslut på högsta politiska nivå och vara baserat på ett komplext beslutsunderlag. Det är viktigt att största möjliga samstämmighet kan uppnås om vari detta beslutsunderlag ska bestå och att beslutet föregås av en bred diskussion som bör inkludera också miljögrupper. Även dessa blir

därmed kunder till säkerhetsanalysen. Under åren har SKB, myndigheterna och kommunerna (var och en utifrån sina respektive roller) genom både informella och formella metoder sökt engagera dem och berörd allmänhet i en gemensam kunskapsuppbyggnad kring slutförvarets problematik.

Ytterst utgör säkerhetsanalysernas resultat också underlag för regeringsbeslut om t.ex. lokalisering av ett slutförvar. Därmed kan också regeringen sägas vara en kund, om än indirekt via strålsäkerhetsmyndigheten och miljödomstolen.

Aktörer

Gruppen av aktörer har varit stabil sedan början av 1980-talet och bestått av relativt små, men successivt växande, grupper av FoU-personal anställda eller anlitade av SKB, SKI och SSI.

Transformation

Man kan ha olika uppfattningar om vad säkerhetsanalysen transformerar. Det kan vara t.ex. vara tekniskt-vetenskaplig information:

T1 *HAS(säk) transformerar fristående information om alla relevanta tekniskt – naturvetenskapliga områden till sammanhängande information om anläggningens totala säkerhet och de olika områdenas betydelse för säkerheten.*

Andra tänkbara transformationer kan särskilt med tanke på de nya kunderna vara:

T2 *HAS(säk) transformerar FoU personalens bilder av alla relevanta tekniskt – naturvetenskapliga processers betydelse för slutförvarets säkerhet till bekräftade bilder eller nya bilder av deras betydelse.*

T3 *HAS(säk) transformerar personer osäkra om ett förslaget förvars säkerhet till personer som är övertygade om förvarets säkerhet respektive övertygade om att förvaret inte är säkert.*

T4 *HAS(säk) transformerar obegriplig och detaljerad teknisk och vetenskaplig information och bedömningar om slutförvarets funktion*

till ett beslutsunderlag som ansvariga beslutsfattare vågar använda när man motiverar att tillstånd ges till säkra anläggningar (eller tillstånd inte ges till osäkra.

Transformationen T1 används främst av FoU personal på SKB och myndigheterna för att själva skapa sig en bild av säkerheten och för att övertyga varandra. Anledningen till att andra transformationer måste aktualiseras är att synsättet S1 delvis kan ifrågasättas (se nedan). I korthet förutsätter T1 att man tror på den vetenskapligt tekniska positivism som beskrivs i S1.

T2 har ungefär samma kundkategori som T1 men motiveras främst av en mer modest inställning till vad en säkerhetsanalys över huvudtaget kan göra (dvs något mindre vetenskapligt positivistiskt). T3 riktar sig mot nya kundkategorier (intresserade personer i berörda kommuner, handläggare i regeringskansliet, insiktsfull allmänhet), medan T4 har som direkta kundkategorier styrelser, kommunpolitiker och även regeringen.

Synsätt

Det synsätt som dominerade i säkerhetsanalysens tidiga skede var följande

S1 Säkerhetsanalys är ett rationellt och effektivt sätt att inrikta informationsinhämtning och bearbeta information för att förbättra riskhantering. Den är också ett rationellt och effektivt sätt att lösa konflikter mellan olika specialister beträffande betydelsen av "deras" system och specialistkunskap för den totala säkerheten.

Detta den tekniska positivismens synsätt mot vilket man kan ha en rad invändningar, t.ex.:

- i) Säkerhetsanalysen spänner över många ämnesområden och det är omöjligt för en person att veta om alla delar genomförs med den vetenskapliga och tekniska stringens som man själv skulle vilja kräva.
- ii) Fullständighet och visshet är ouppnåeliga mål i en säkerhetsanalys – den måste grundas på bedömningar. Detta innebär att transformationen kan ifrågasättas.

iii) Säkerhetsanalysen är svår att förstå för den oinvidige. Det finns en risk att dess resultat bara accepteras av dem som varit inblandade i dess framtagande.

Invändningarna i) och ii) kan vara motiv för att byta till ett något "mjukare" synsätt:

S2 Säkerhetsanalys är ett kontrollerbart objektivt förfarande att sammanställa och bearbeta stora mängder information för att bedöma ett förslaget slutförvars säkerhet.

De nya kundkategorier som berörs av transformationerna T3 och T4 berörs säkert av invändning iii). Beroende på inställning kan kunderna i T3/T4 möjligen acceptera synsättet S2. Det finns dock en risk att de anser följande synsätt vara mer relevant:

S3 Säkerhetsanalys är ett svår genomträngligt, svårkontrollerat och därigenom ett lätt manipulerbart system av datormodeller och procedurer, med vilket man kan bearbeta den information som användaren tycker är viktig och som modellerna kan hantera.

För att motverka att de kunder som är beroende av säkerhetsanalys i transformationerna T3 och T4 utvecklar ett synsätt av typen S3 krävs medvetna ansträngningar för att göra säkerhetsanalysen förståelig och transparent. Om inte detta kan göras i dialog mellan aktörer och kunder finns en uppenbar risk att säkerhetsanalysens betydelse som beslutsunderlag undermineras och att "ägarnas" stöd upphör.

Ägare

Systemet kan upphöra genom att 80-talskunderna (SKB, SKI och SSI) upphör att använda det. Som antytts ovan finns också risken att säkerhetsanalysen massivt misskrediteras av de nya kunderna, så att de ursprungliga ägarna tvingas sluta använda det.

Omgivning

Omgivningen utgörs av det avfallsproducerande systemet, och i ett vidare perspektiv av kärnkraftens politiska debatt.

Sammanfattning

Säkerhetsanalysens kundkrets har utökats från att vara begränsad till grupper med expertkunskaper med ett i huvudsak positivistiskt synsätt till att inkludera beslutsfattare och intresserad allmänhet. Detta ökar behovet av att göra den mer förståelig och transparent. Det innebär också att den nu har två roller. En roll är intern inom expertgrupperna och den representeras av transformationerna T1 och T2 ovan. Den andra rollen, som främst manifesteras av transformationen T4, är extern och vänder sig till det politiska beslutsfattandet och också därmed allmänheten, främst inom berörda kommuner men också i vidare mening.