

Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2011

– geologin, barriärerna, alternativen

Rapport från Kärnavfallsrådet

Stockholm 2011



STATENS OFFENTLIGA
UTREDNINGAR

SOU 2011:14

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

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

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

Textbearbetning och layout har utförts av Regeringskansliet, FA/kommittéservice.

Tryckt av Elanders Sverige AB
Stockholm 2011

ISBN 978-91-38-23533-1
ISSN 0375-250X

Till statsrådet och chefen för Miljödepartementet

Kärnavfallsrådet (Statens råd för kärnavfallsfrågor) är en oberoende vetenskaplig kommitté som har till uppgift att ge regeringen råd i frågor om kärnavfall och rivning av kärntekniska anläggningar.

Under februari månad varje år ska Kärnavfallsrådet ge sin självständiga bedömning av det aktuella kunskapsläget inom kärnavfallsområdet, en så kallad kunskapslägesrapport. Syftet med rapporten är att belysa de frågor som Kärnavfallsrådet anser särskilt relevanta, och klargöra Kärnavfallsrådets synpunkter i dessa. Kärnavfallsrådet överlämnar härmed årets kunskapslägesrapport (den elfte i raden) Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2011 – geologin, barriärerna, alternativen SOU 2011:14.

Kärnavfallsrådet har under året fört diskussioner med aktörer i det svenska slutförvarsprogrammet, följt utvecklingen av andra länders slutförvarsprogram, och gjort en översikt över vilka områden som närmare behöver belysas inför SKB:s ansökan. Resultatet är årets kunskapslägesrapport, som belyser de geologiska förutsättningarna för SKB:s platsval, följer upp förra årets tema avseende de tekniska barriärerna (kopparkapseln och bufferten), samt belyser alternativfrågan ur ett rättsligt, tekniskt och samhällsvetenskapligt perspektiv. Utöver detta avser rådet att under året återkomma med en särskild studie avseende säkerhetsanalysens roll under slutförvarets olika faser.

Bakom föreliggande rapport står samtliga ledamöter och sakkunniga i Kärnavfallsrådet.

Rapporterna om kunskapsläget på kärnavfallsområdet åren 1998, 2001, 2004, 2007 och 2010 finns också tillgängliga i en engelsk version. Rådet avser att senare i år ge ut en engelsk översättning även av 2011 års rapport.

Stockholm, 14 februari 2011

Torsten Carlsson
Ordförande

Ledamöter

Torsten Carlsson (ordf.), tidigare kommunstyrelsens ordförande i Oskarshamn

Carl Reinhold Bråkenhielm (vice ordf.), professor, teologi, Uppsala universitet

Lena Andersson-Skog, professor, ekonomisk historia, Umeå universitet

Willis Forsling, professor emeritus, oorganisk kemi, Luleå tekniska universitet

Mats Harms-Ringdahl, professor, strålningsbiologi, Stockholms universitet

Tuija Hilding-Rydevik, docent, mark/vattenresurser med inriktning på MKB, Sveriges Lantbruksuniversitet

Karin Högdahl, docent, geologi, Uppsala universitet

Anna Jarstad, docent, statsvetenskap, Uppsala universitet

Lennart Johansson, adjungerad professor, radiofysik, Norrlands universitetssjukhus, Umeå

Clas-Otto Wene, professor emeritus, energisystemteknik, Chalmers Tekniska Högskola

Sakkunniga

Hannu Hänninen, professor, maskinteknik, Tekniska Högskolan i Helsingfors

Ingvar Persson, jur. kand, Utredningen om en samordnad reglering på kärnteknik- och strålskyddsområdet (M 2008:05)

Kansli

Holmfridur Bjarnadóttir (kanslichef)

Peter Andersson (kanslisekreterare)

Karolina Brogan (assistent)

Innehåll

1	Inledning.....	9
1.1	Kärnavfallsrådets roll och ansvar	9
1.2	Kärnavfallsrådets ställningstaganden	10
1.2.1	Geologiska förutsättningar för platsvalet	10
1.2.2	Barriärernas beständighet i slutförvarsmiljö	11
1.2.3	Alternativfrågan i rättsliga, tekniska och samhällsvetenskapliga perspektiv	13
2	Geologiska utgångspunkter för platsvalet	15
2.1	Geologisk bakgrund i Forsmark och Laxemar.....	15
2.1.1	Berggrunden i Forsmarksområdet.....	18
2.1.2	Berggrunden i Laxemarområdet	21
2.2	Jordskalv	24
2.2.1	Observerade jordskalv.....	24
2.2.2	Förhistoriska jordskalv – sen- till post-glaciala jordskalv	26
2.3	Utgångspunkter för platsvalet	27
2.3.1	Jämförelse mellan berggrundens sammansättning och struktur	27
2.3.2	Malmförekomster	28
2.3.3	Sannolikhet för jordskalv	30
2.3.4	Bergspänningar	30
2.4	Kärnavfallsrådets ställningstaganden	30
3	Barriärernas beständighet i slutförvarsmiljö.....	35
3.1	Om korrosion av koppar i kontakt med vatten	36
3.1.1	Termodynamiska beräkningar	37
3.1.2	Experternas slutsatser.....	37

3.1.3	Kopparkapseln i slutförvaret	38
3.1.4	Korrosionsprocessen är komplex.....	39
3.1.5	Krav på öppenhet och kvalitet.....	40
3.1.6	Forskningen fortsätter.....	41
3.2	Om bentonit som barriär i vått och torrt	42
3.2.1	Specifika krav i slutförvaret.....	43
3.2.2	Vattenmättnad och cementering.....	43
3.2.3	Transport av korrosionsprodukter	44
3.2.4	Bentoniten påverkar kapseln	45
3.2.5	Frysning av bentonit.....	46
3.3	Kärnavfallsrådets ställningstaganden	48
3.3.1	Kopparkorrosion.....	48
3.3.2	Processer i bentoniten	49
4	Alternativfrågan – rättsliga, tekniska och samhällsvetenskapliga perspektiv	53
4.1	Rättsliga aspekter på alternativfrågan.....	54
4.1.1	Syftet med en miljökonsekvensbeskrivning.....	54
4.1.2	Alternativa platser och alternativa utformningar	55
4.1.3	Tidigt samråd med länsstyrelsen	57
4.1.4	Krav på alternativ under ett samrådsförfarande	57
4.1.5	Alternativ som förts fram under SKB:s samrådsförfarande.....	59
4.1.6	Sammanfattning	60
4.2	Tekniska och naturvetenskapliga aspekter på alternativfrågan.....	61
4.2.1	Djupa borrhål	61
4.2.2	Ny reaktorteknologi – betydelse för återtag och förvar av använt kärnbränsle.....	63
4.2.3	Transmutation.....	65
4.2.4	Sammanfattning	69
4.3	Samhällsvetenskapliga bidrag till belysningen av alternativfrågan.....	70
4.3.1	En teoretisk bakgrund	72
4.3.2	Perspektivbegränsning i kärnavfallsfrågan?.....	72
4.3.3	Sammanfattning	74
4.4	Kärnavfallsrådets ställningstaganden	75

1 Inledning

2010 var det sista året innan ansökan om slutförvar av använt kärnbränsle beräknas lämnas in för prövning till Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) och miljödomstolen. Detta har präglat det svenska kärnavfallsområdet liksom Kärnavfallsrådets verksamhet under det gångna året.

Samtidigt är det synnerligen viktigt att diskussionerna inte begränsas till SKB:s ansökan och den metod de valt (KBS-3 metoden). Tills regeringen har tagit beslut om ansökan om slutförvar av använt kärnbränsle, är det Kärnavfallsrådets ansvar att fortsatt identifiera och utreda frågor som har betydelse för slutförvaret av använt kärnbränsle, och bidra till en öppen diskussion som även tar hänsyn till perspektiv som inte direkt omfattas av SKB:s ansökan.

1.1 Kärnavfallsrådets roll och ansvar

Under det gångna året har Kärnavfallsrådet arbetat för att tydliggöra rådets roll och uppdrag till regeringen, inte minst i samband med hanteringen av SKB:s ansökan¹.

Kärnavfallsrådet ska enligt direktiv lämna råd till regeringen avseende frågor om kärnavfall och avställning och rivning av kärntekniska anläggningar. Kärnavfallsrådets målgrupper är regeringen, berörda myndigheter, kärnkraftsindustrin, kommuner, intresserade organisationer samt politiker, massmedier och intresserad allmänhet.

Rådet tolkar sitt uppdrag som rådgivare på följande sätt: rådet ska inom ramen för sin vetenskapliga kompetens klargöra vilka argument som finns i frågor som är centrala – och ibland kontroversiella – för det svenska slutförvarsprogrammet, samt vilka fråge-

¹ Kärnavfallsrådets roll och ansvar inför granskningen av SKB:s ansökan klargörs i dokumentet "Kärnavfallsrådets roll och ansvar", som finns tillgänglig på Kärnavfallsrådets webbplats: www.karnavfallsradet.se

ställningar rådet uppfattar som relevanta inom olika områden. Kärnavfallsrådet ska vara tydligt och synligt för att fylla funktionen av en relevant samtalspartner och kunskapskälla för rådets målgrupper.

Rådet ska under arbetet med SKB:s ansökan komplettera SSM:s granskning. SSM ska i första hand granska ansökan enligt krav i kärntekniklagen och strålskyddslagen. Rådet har möjlighet att ta upp andra frågor såsom bredare samhällsfrågor, juridiska och etiska frågor samt omvärldsbevakning, samt diskutera och belysa frågor ur andra perspektiv än myndigheten, till exempel bredda diskussionen vad gäller kopparkorrosion och buffert.

1.2 Kärnavfallsrådets ställningstaganden

Kärnavfallsrådet har identifierat frågor som är omdiskuterade och är i behov av ytterligare belysning. Dessa frågor belyses i Kunskapslägesrapportens tre kapitel:

- Kapitel 1 presenterar rådets bedömning av SKB:s redovisade kunskaper om de geologiska förutsättningarna i Forsmark och Laxemar.
- Kapitel 2 följer upp rådets redogörelse och utredning om de tekniska barriärerna; kopparkapseln och bentoniten.
- Kapitel 3 behandlar frågan om alternativa metoder till KBS-3 i ett rättsligt, tekniskt och samhällsvetenskapligt perspektiv.

Här ges en kort sammanfattning av rådets ställningstaganden.

1.2.1 Geologiska förutsättningar för platsvalet

Slutsatserna från en studie av de geologiska utgångspunkterna för platsvalet är att kunskapen om berggrundens sammansättning i både Forsmark och Laxemar är god.

Den dominerande bergarten i Forsmark har en relativt hög kvartshalt, vilket medger god värmeledningsförmåga och därmed kan deponeringsutrymmet göras mindre än i Laxemar. I Forsmark har berggrunden även god hållfasthet och risken för större jordskalv är låg. Kunskapen om den storskaliga strukturella utvecklingen i både Forsmark och Laxemar är god, men i Laxemar före-

ligger en större osäkerhet beträffande förekomst och utbredning av större och mindre deformationszoner och andra strukturelement.

Berggrunden öster om undersökningsområdet i Forsmark är potentiellt malmförande och bör undersökas bättre. Förekomsten av malmer i närheten av Forsmark kan eventuellt leda till säkerhetsrisk (risk för intrång) på längre sikt. Samma problematik föreligger inte i Laxemarområdet. I de hydrogeologiska modellerna föreligger även en viss kunskapsbrist. För att erhålla mindre osäkra modeller för Forsmark rekommenderas att ett tätare nätverk av seismiska profiler utförs.

Alternativen har till stor del identifierats utifrån demokratiska premisser i och med att platsundersökningarna har utgått ifrån kommuner som har deltagit frivilligt i processen. Rådet anser att frivillighetsprincipen måste vara en viktig utgångspunkt i platsvalsprocessen. Rådet kan samtidigt konstatera att den geologiska detaljkunskap som nu finns över dessa områden saknas i övriga delar av landet.

1.2.2 Barriärernas beständighet i slutförvarsmiljö

De tekniska barriärerna (kopparkapsel och bentonitbuffert) utgör viktiga garantier för att slutförvaret av högaktivt kärnbränsle ska vara långsiktigt säkert. Kärnavfallsrådet redogjorde i förra årets kunskapslägesrapport för bakgrund och frågeställningar i samband med forskningsresultat om korrosion av koppar i vatten och erosion av bentonit i buffert och återfyllning. I årets kunskapslägesrapport följer Kärnavfallsrådet upp vad som har hänt under 2010 och ger ytterligare synpunkter på den forskning som bedrivs.

Kopparkapslarna

Termodynamiska beräkningar visar att metalliskt koppar kan reagera i vatten i närvaro av svavelhaltiga joner även under syrefria (anoxiska) förhållanden. Det innebär att kapseln inte kan betraktas som en helt oberoende barriär utan den långsiktiga säkerheten är också beroende av om bentonitbufferten kan skydda kapseln från en långvarig direkt kontakt med grundvattnet. Detta är visserligen inte något okänt fenomen men understryker vikten av att bentonitbufferten kan behållas mer eller mindre intakt i förvaret.

Kärnavfallsrådets anser att det är värdefullt att SKB fortsätter forskningen om kopparkorrosion i kontakt med vatten under både oxiska och anoxiska förhållanden (förhållanden med och utan syre). Rådet anser att korrosionsmekanismerna för koppar under syrefria förhållanden är särskilt intressanta eftersom dessa kommer att råda på lång sikt. Studier under förvarsliknande förhållanden är mycket värdefulla inte minst vid ofullständig och ojämn vattenmättnad av bentoniten. Rådet anser att forskningen inte bör begränsas till rent syrefritt vatten utan också innefatta joner i grundvattnet som kan stabilisera oxidationsprodukterna på koppar som bildas i processen. Det gäller framför allt olika typer av svavelhaltiga anjoner och klorider.

Fördjupade studier av spänningskorrosion och hur hållfastheten av koppar påverkas av väteabsorption är fortsatt angelägna. Krypning i kopparmetallen som orsakar deformation av kopparkapseln kan bli ett problem i slutförvaret genom att kapseln utsätts för höga spänningar och korrosiv miljö. Det finns behov av fortsatt forskning inom området.

Kopparkapslarna kan alltså inte förväntas vara långsiktigt stabila i förvaret under förhållanden som innebär att kapseln står i ständig kontakt med grundvattnets korrosiva joner. Bentonitens egenskaper som barriär är därför kritiska för den långsiktiga säkerheten.

Processer i bentoniten

Det är Kärnavfallsrådets uppfattning att det behövs fortsatt forskning om bentonitens egenskaper för specifik användning i slutförvaret. Detta gäller bentonit i form av kompakterade block, ringar och pellets i såväl buffert som återfyllning. Bentonitbuffertens innehåll påverkar en rad mekaniska och kemiska egenskaper och Kärnavfallsrådet har i tidigare rapporter uppmanat SKB att närmare studera och redovisa dessa. Andra viktiga faktorer för att ge bufferten optimala egenskaper utgörs av den förbehandling bentoniten utsätts för innan den placeras i förvaret.

Bentonitens vattenmättnad är en viktig parameter för buffertens framtida funktion (buffertens hållfasthet och dess kemisk/fysikaliska egenskaper i övrigt) och bör även vara ett område för SKB:s fortsatta utvecklingsarbete.

Kärnavfallsrådet noterar att studier som innebär att bentonit upprepade gånger fått frysa och därefter åter tinats upp har genom-

förts. Rådet rekommenderar att motsvarande försök görs med förorenat grundvatten och att eventuella förändringar av bentonitens egenskaper dokumenteras.

1.2.3 Alternativfrågan i rättsliga, tekniska och samhällsvetenskapliga perspektiv

Huvudsyftet med avsnittet är att, i relation till rådets förra kunskapslägesrapport², redovisa nya kunskaper om alternativa metoder ur tre perspektiv: de rättsliga, tekniska och samhällsvetenskapliga.

Rättsutvecklingen talar för att större vikt måste fästas vid alternativredovisningen i kärnavfallsfrågan. En godkänd miljökonsekvensbeskrivning utgör en processförutsättning för att ansökan ska kunna prövas. HD har i en dom från 2009 förklarat att en miljökonsekvensbeskrivning inte är godtagbar om de alternativa utformningar som presenterats under samrådsprocessen inte redovisats i miljökonsekvensbeskrivningen. Ett minimikrav enligt HD är att sökanden redogör för olika möjligheter och motiverar varför ett alternativ inte har följts upp närmare och anger på vilken grund sökanden har kommit fram till att inga alternativ finns.

Tekniskt och vetenskapligt har vissa landvinningar gjorts när det gäller djupa borrhål och transmutation. Det finns dock idag ingen metod som kan mäta sig med KBS-3 när det gäller kunskapsläget och rådet anser att fortsatt forskning behövs för att kunna utvärdera om djupa borrhål är ett alternativ för slutförvar. Transmutation och separation eliminerar inte behovet av ett geologiskt slutförvar, men kommer att leda till ändrade krav på de tekniska barriärerna. Teknikutvecklingen på reaktor- och kärnbränsleområdet kommer att vara av avgörande betydelse för det avfall som kommer att genereras.

Frågan om alternativ i planering och beslutsfattande om slutförvar av använt kärnbränsle visar tydligt på behovet av såväl teknisk som samhällsvetenskaplig forskning oberoende av verksamhetsutövarens direkta behov. Rådet anser att det är mycket angeläget att resurser skapas för att stimulera en samhällsvetenskaplig och kritiskt reflekterande forskning om kärnavfallsfrågan och villkoren för planerings- och beslutsfattande.

² Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2010 – utmaningar för slutförvarsprogrammet. SOU 2010:6.

Rådets anser att framtagande och värdering av olika alternativ till KBS-3 metoden är av fundamental betydelse för ett tillförlitligt beslutsunderlag som möjliggör en säker och socialt legitim lösning på slutförvarsfrågan.

2 Geologiska utgångspunkter för platsvalet

I juni 2009 meddelade SKB sitt val av Forsmark som plats för slutförvar av använt kärnbränsle. Det slutliga valet stod mellan Forsmark i Östhammars kommun och Laxemar i Oskarshamns kommun.

Lokaliseringsprocessen utgick från två grundläggande krav: det måste finnas geologiska förutsättningar, det vill säga en berggrund som medger långsiktigt säker förvaring, och det måste finnas politiskt och folkligt stöd i den berörda kommunen¹.

De geologiska gränsvärden som SKB fastställt ligger på en sådan nivå att svensk berggrund på 500 meters djup generellt uppfyller kraven. Men det faktum att lokaliseringsprocessen varit förankrad hos kommuninvånarna i respektive Östhammar och Oskarshamn har möjliggjort detaljerade geologiska undersökningar, som i sin tur har givit en geologisk kunskap om dessa områden som saknas i övriga delar av landet.

Detta kapitel belyser rådets bedömning av SKB:s redovisade kunskaper om de geologiska förutsättningarna för SKB:s platsval.

2.1 Geologisk bakgrund i Forsmark och Laxemar

Det slutliga platsvalet har styrts av hur geologiska förutsättningar i praktiken uppnår den långsiktiga säkerhetsnivå som preciserats i Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter.

Berggrunden i de båda undersökningsområdena är till viss del besläktade. De bildades under olika faser av den Svekofenniska, eller Svekokarelska bergskedjebildningen. Berggrunden i Forsmark är något äldre (1,9 miljarder år) och metamorfoserad (deformerad och omvandlad) under uppbyggnaden av denna bergskedja. Den

¹ Slutförvar för använt kärnbränsle i Forsmark – underlag och motiv för platsval. SKB 2009-06-04. <http://www.skb.se/b990a427-e921-4a59-9e61-5b1ef72db356.fodoc>

något yngre berggrunden i Laxemar är 1,8 miljarder år och bildad under delvis andra betingelser, efter den metamorfos som påverkat Forsmarksområdet. Traditionellt har berggrunden i Laxemar tillskrivits det Transskandinaviska magmatiska bältet, som sträcker sig tvärs igenom Sverige och Norge, från Småland i sydost mot Lofoten i nordväst.

För att få större tillförlitlighet i den tredimensionella modelleringen av berggrunden i de båda områdena har SKB utfört både kärnbörningar och hammarbörningar², samt olika typer av geofysiska undersökningar.

² Kärnbörningar ger sammanhängande borrhärdar, som studeras i detalj. Hammarbörningar ger splittrat bergmaterial, som undersöks med olika geofysiska metoder.

Figur 2.1



Mätning av borrkärnor från provborrningar. Foto Carl-Robert Lindqvist. Källa: SKB.

2.1.1 Berggrunden i Forsmarksområdet

Kandidatområdet i Forsmark är ungefär 6x2 kilometer stort, och utgörs av en så kallad tektonisk lins, det vill säga en relativt opåverkad och skyddad bergvolym, som är omgiven av mäktiga skjuvzoner³. Linsen är orienterad i nordvästlig-sydostlig riktning och är mest välundersökt i den nordvästliga delen där ett slutförvar är tänkt att placeras. Förutom detaljerade undersökningar av geologin vid markytan har 23 kärnbörningar utförts i detta begränsade område, varav 22 är borrade till förvarsdjup eller mer. Ytterligare två kärnbörningar har utförts utanför själva kandidatområdet. De sammanhängande borrhämnarna har studerats i detalj. Förutom dessa direkta undersökningar av områdets geologi, har cirka 40 hammarborrhål borrats och olika typer av geofysiska undersökningar utförts för att man ska få en högre upplöst, tredimensionell modell av berggrunden.

Den dominerande bergarten i området, ner till åtminstone 1 000 meters djup, är en metagranit (metamorf granit). Underordnat förekommer aplitisk metagranit, amfibolit, granodiorit-tonalit, pegmatit och pegmatitisk granit. Övriga bergarter utgör endast några procent och består av felsiska till intermediära vulkaniter, skarn, basiska och ultrabasiska bergarter samt diorit och kvartsdiorit, som alla är mer eller mindre metamorfoserade (se faktaruta 1).

Den dominerande metagraniten har relativt hög kvartshalt (20–35 %), vilket medger god värmeledningsförmåga⁴. Bergarten har även god hållfasthet, det vill säga tål höga belastningar utan att spricka.

Strukturer i berggrunden

Forsmarkslinsen begränsas av Singözonen i öster och deformationszonerna Eckarfjärdenzonen och Forsmarkzonen i väster.

På djupet, sydväst om förvarsområdet i Forsmark, går en subhorisontell komplex deformationszon, eller snarare en seismisk reflektor, indirekt observerad genom geofysiska undersökningar⁵. Zonen antas nå markytan någon kilometer norr om undersökningsområdet, men nya undersökningar tyder på att den troligtvis utgör en blind struktur⁶, det vill säga att den inte skär markytan. Reflek-

³ En skjuvzon är ett berggrundsområde som kännetecknas av intensiv deformation.

⁴ SKB, 2008a.

⁵ Juhlin & Stephens, 2006.

⁶ Juhlin, personlig kommentar, 2010.

torn har en sydlig stupning, och under förvarsområdet är djupet till strukturen större än 1 000 meter. Det finns olika tolkningsmöjligheter för vad den seismiska reflektorn representerar. Juhlin & Stephens har föreslagit bandade amfiboliter⁷, men det är inte uteslutet att den utgör en vattenförande spröd zon⁸. Närvaro av vattenförande zoner sänker kvaliteten på berget som yttre barriär.

Det begränsade antalet seismiska profiler, och identifiering av (troligen) blinda, icke karaktäriserade strukturer, innebär att det råder kunskapsbrist i de tredimensionella modeller som finns över området. För att erhålla en mer tillförlitlig bild av berggrunden krävs att ett tätt nätverk av seismiska profiler utförs och att eventuella reflektorer karaktäriseras geologiskt och hydrologiskt.

Sprickor och vattenföring

Ner till ett djup av 200 meter i kandidatområdet i Forsmark är det relativt vanligt förekommande med flackt stupande, vattenförande sprickor och dessa står i hydraulisk förbindelse med varandra över stora områden. Tillsammans med subhorisontella, spröda deformationszoner, utgör dessa de huvudsakliga vattenflödesvägarna och bildar ett nätverk av vattenförande sprickor. Frekvensen av vattenförande sprickor avtar markant mot djupet, och på 400 meters djup är avståndet mellan dessa mer än 100 meter, vilket innebär att möjligheten för vatten att transporteras är låg.

Den hydrogeologiska sprickmodellen består av sex domäner, där utbredningen av vattenförande sprickor extrapolerats. Denna extrapolering innebär att det finns en osäkerhet i tolkningarna av de områden som ligger mellan observationerna och därmed i de hydrologiska modellerna.

Reflektorer från ett tätare nätverk av seismiska profiler kan komma att påvisa närvaro av fler vattenförande sprickor som i så fall kommer att påverka den hydrologiska modellen.

Bergspänningar

Bergspänningarna i Forsmarksområdet är högre än vad som är normalt för svensk berggrund, men de ökar inte nämnvärt med djupet. På 500 meters djup är de horisontella bergspänningarna igenom-

⁷ Juhlin & Stephens, 2006.

⁸ Juhlin, personlig kommentar 2010.

snitt 41 megapascal (MPa). I kombination med temperaturökningen som det radioaktiva avfallet genererar, kan den relativt höga bergspänningen orsaka spjälkning (det vill säga större eller mindre utfall) i deponeringstunnlar och hål.

Grundvattnet

Både salthalten och åldern på grundvattnet i Forsmark ökar mot djupet. Berggrunden på förvarsdjup har troligen varit isolerad från tillförsel av vatten från ytligare nivåer under mycket lång tid. I den subhorisontella, vattenförande spröda zonen sydost om kandidatområdet finns däremot spår av vatten som troligen härstammar från Littorinahavet, som täckte området för mellan 9 500 och 5 000 år sedan.

Figur 2.2



Gneis. Foto: Karin Högdahl.

Figur 2.3



Granit. Foto Karin: Högdahl.

2.1.2 Berggrunden i Laxemarområdet

I Laxemarområdet har totalt 46 kärnbörningar utförts inom ramen för platsundersökningen varav 19 är borrade ner till försvarsdjup eller mer och 17 av dessa inom det prioriterade området. Till detta har ytterligare 43 hammarbörningar utförts. Berggrunden i Laxemar är i jämförelse med Forsmark relativt välbevarad, det vill säga icke metamorfoserad, och domineras av bergarterna Ävrökvartsmonzodiorit och Ävrögranit. Övriga bergarter är andra typer av granit och kvartsmonzodiorit, pegmatit, diorit och gabbro och diabas. Ävrökvartsmonzodioriten och Ävrögraniten är båda relativt kvartsfattiga (15–20 %) och har därmed förhållandevis låg värmeledningsförmåga⁹. Eftersom radioaktivt avfall alstrar värme är ett förvar i berggrund med hög värmeledningsförmåga eftersträvarsvärd. Hållfastheten är dessutom varierande. Det prioriterade området avgränsas av branta, nordost till sydvästliga stråk av deformationszoner.

⁹ SKB, 2009.

Strukturer i berggrunden

Trots att berggrunden i Laxemarområdet är relativt välbevarad förekommer lokalt en svag, flackt stupande foliation, det vill säga det finns en planstruktur som är orsakad av parallellställning av bergarternas mineral. Foliation har i regel en negativ effekt på berggrundens hållfasthet. I södra delen av området finns skjuvzoner, som är bildade vid höga temperaturer. Dessa är lokaliserade till olika typer av gångbergarter. Duktila (bildade vid höga temperaturer under plastisk deformation) till halvspröda skjuvzoner är allmänt förekommande. Många av dessa zoner har även påverkats av deformation vid senare geologiska händelser, under spröda förhållanden då berggrundens temperatur var lägre. Mineralläkta sprickor av olika generationer har dokumenterats; de yngsta är relaterade till bildningen av fjällkedjan för cirka 0,5 miljarder år sedan¹⁰.

Mellan de avgränsande skjuvzonerna i undersökningsområdet är frekvensen av öppna sprickor låg, men ner till 150 meter är det relativt gott om vattenförande sprickor. Vid större djup är de mindre vanliga. Ner till 150 meter är medelavståndet mellan sprickorna cirka 1 meter, och mellan 400 och 650 meter ökar avståndet i medeltal till mellan 5 och 10 meter. På 700 meter är sprickavståndet uppskattat till mer än 100 meter, men på grund av det begränsade antalet observationer är denna uppskattning osäker och djupet till torrare berg kan vara större. Grundvattnets salthalt och ålder ökar med djupet, och bergspänningarna anses vara jämförbara med dem i Äspölaboratoriet och normala för svensk berggrund. I området har inga större flacka deformationszoner eller större sprickor identifierats. Sprickor och deformationszoner ökar berggrundens permeabilitet, det vill säga genomsläpplighet, och skärande system kan bilda potentiella vattenförande nätverk.

Grundvattnet

Liksom i Forsmark ökar både salthalten och åldern på grundvattnet med djupet. Mot successivt grundare nivåer förekommer en blandning av marint, glacialt, deglacialt och meteoriskt vatten (vatten från olika typer av nederbörd). Delar av berggrunden i Laxemar låg över Littorinahavets högsta kustlinje och saknar därmed marint vatten från denna tid.

¹⁰ SKB, 2008b.

Faktaruta 2.1

Berggrunden är uppbyggd av bergarter som i sig definieras utifrån deras mineralsammansättning och bildningsätt. Det finns tre huvudsakliga bergartstyper: magmatiska, sedimentära och metamorfa bergarter. Magmatiska bergarter är bildade ur en smält = som antingen har kristalliserat på djupet eller stelnat på ytan i form av vulkaniska utbrottsprodukter. Sedimentära bergarter är antingen klastiska, bildade av vittringsprodukter, kemiskt utfällda eller bildade av organiskt material. Metamorfa bergarter har omvandlats under förhöjda tryck och temperaturer. Metamorfa bergarter kan innan omvandlingen ha varit en magmatisk, sedimentär eller en bergart som tidigare utsatts för metamorfos. Metamorfa bergarter är ofta deformerade.

Bergmekaniska egenskaper och de hydrogeologiska förhållandena styrs till stor del av berggrundens sammansättning och struktur, som även påverkar grundvattnets sammansättning och bergets förmåga att motverka transport av lösta ämnen.

Bergarter

Amfibolit: Metamorfoserad *basisk bergart*.

Aplit: Finkorning, ljus magmatisk gångbergart med samma sammansättning som *granit*.

Basiska bergarter: Magmatiska bergarter med en SiO₂-halt på mellan 45–54 %, t.ex. *gabbro* och *diabas*. De är ofta är rika på mörka mineral.

Diabas: Basisk, magmatisk bergart som förekommer som gångar. Kristalliserad på grunda till medelstora djup.

Diorit: Magmatisk djupbergart med intermediär SiO₂-halt (52–63 %).

Felsiska till intermediära vulkaniter: Ljusa, kvart- och fältspatrika, vulkaniska bergarter.

Gabbro: Basisk magmatisk djupbergart.

Granit: Magmatisk djupbergart med hög SiO₂-halt (> 63 %), som består av kvart, fältspat och glimmer eller amfibol.

Granodiorit-tonalit: Magmatiska djupbergarter som har högre halt av mörka mineral än granit, och i regel lägre halt av dessa

mineral än basiska bergarter. Tonalit har lägre kvartshalt än granit.

Kvartsdiorit: Magmatisk djupbergart, som har något högre halt av kvarts i förhållande till *diorit*. Kallas även tonalit.

Kvartsmonzodiorit: Relativt kaliumrik, magmatisk djupbergart med intermediär SiO₂-halt (52–63 %).

Pegmatit: Grovkornig, ljus magmatisk djupbergart som ofta förekommer som gångar.

Pegmatitisk granit: Grovkornig, ofta heterogen granit.

Skarn: Ca-Mg-silikatrik, metamorf bergart.

Ultrabasiska bergarter: SiO₂-fattiga (> 45 %) magmatiska bergarter som är rika på mörka mineral.

2.2 Jordskalv

2.2.1 Observerade jordskalv

Jordskalv uppstår när energi snabbt eller plötsligt frigörs genom rörelser utmed rörelseplan, så kallade förkastningar, varvid seismiska vågor sänds ut. Jordskalv är ett vanligt fenomen, och små skalv förekommer i Sverige varje dag. Kännbara jordskalv är däremot ovanliga. Skalv med en magnitud på 4 till 5 på Richterskalan förekommer och är vanligast utmed norrlandskusten, i sydvästra Sverige och utmed geologiska svaghetsplan (lineament) i norra delen av landet. I historisk tid har kraftigare jordskalv (med en magnitud på 6 eller mer) inte noterats. Under tidsperioden 1904 till 2005 har skalv med magnitud över 3 varit mycket ovanliga i både Laxemar och Forsmark.

Uppmätta jordskalv i Sverige sker på mellan 7 och 35 kilometers djup. I södra delen av landet ligger fokus för skalven på ett djup mindre än 18 kilometer och i norr är de grundare än 13 kilometer. Skalvens rörelser sker framför allt utmed äldre, redan existerande sprickor och förkastningar. På djup större än 35 kilometer är jordskalv i Sverige seismiskt inaktiv.

De relativt kraftiga jordskalven i norra Sverige är relaterade till rörelser utmed senglaciala till postglaciala förkastningar¹¹. Den huvudsakliga seismiska aktiviteten skedde dock för flera tusen år sedan.

¹¹ Bödvarsson m.fl., 2006.

Det är oklart om den seismiska aktiviteten har avklingat eller om större rörelser kommer att ske utmed dessa rörelseplan¹².

Den seismiska aktiviteten utmed norrlandskusten sker där den postglaciala landhöjningen är som störst (den är mellan 7 och 9 millimeter per år). Aktiviteten sammanfaller med den konturlinje för jordskorpanns tjocklek som visar att tjockleken avtar från sitt maximum i centrala Finland och Bottenviken. Även jordskalvskoncentrationen i sydvästra Sverige sammanfaller med skorpanns avtagande tjocklek, och liknande samband mellan seismisk aktivitet och avtagande skorptjocklek har tidigare noterats även på annat håll¹³.

Geodetisk data från stationära GPS-stationer på olika platser i Sverige, Finland och Norge visar att den maximala vertikala rörelsen är 11 millimeter per år och att den maximala horisontella rörelsen är 2 millimeter per år¹⁴. Dessa rörelser beror på återjusteringen av jordskorpan, efter det att den senaste inlandsisen dragit sig tillbaka och smält. För att utvärdera ytliga berg rörelser orsakade av andra fenomen, som till exempel plattetektoniska processer (se faktruta 2) måste de lokala GIA-värdena beaktas och kompenseras för. (GIA står för *Glacial Isostatic Adjustment*).

Berg rörelser i jordskorpanns ytligare delar kan orsaka spröda brott i berggrunden och påverka ett slutförvar för kärnavfall negativt. Aktiva berg rörelser har indikerats på olika platser i Sverige, bland annat i Laxemar-Simpevarp området, men varken resultaten eller tolkningarna är entydiga¹⁵. Ett begränsat antal av GPS-data mätta på olika sidor om en förkastningszon i Laxemar-Simpevarp området visar en statistiskt signifikant variation, som antyder att den norra sidan rört sig relativt åt öster med 1 millimeter per år¹⁶. Denna rörelse har inte åtföljts av seismisk aktivitet, men skulle i och för sig ändå kunna vara relaterad till tektonisk aktivitet på djupet¹⁷. Det måste dock poängteras att resultatet är mycket osäkert, eftersom den indikerade rörelsen vid ytan är av samma storleksordning som felmarginalen på mätmetoden, och huvuddelen av data mängden inte är statistiskt signifikant¹⁸.

¹² SKB, 2008b.

¹³ Kunck m.fl., 1993.

¹⁴ Johansson m.fl., 2002.

¹⁵ Pan m.fl., 1999; Sjöberg m.fl., 2004; Bödvarsson m.fl., 2006.

¹⁶ Sjöberg m.fl., 2004.

¹⁷ Bödvarsson m.fl., 2006.

¹⁸ SKB, 2008b.

Faktaruta 2.2

Jorden består av ett antal plattor som rör sig i förhållande till varandra genom så kallade plattetektoniska processer. Vissa plattor kolliderar, andra glider isär eller längs med varandra. Gränsen mellan den Nordamerikanska plattan och den Eurasiska, som Sverige tillhör, ligger mitt i Atlanten. Dessa plattor glider isär med en hastighet av cirka 2 centimeter per år, vilket innebär att spänningar byggs upp i plattornas berggrund. När spänningarna frigörs uppstår jordskalv och seismisk aktivitet.

2.2.2 Förhistoriska jordskalv – sen- till post-glaciala jordskalv

Tecken på förhistoriska jordskalv (paleoseismisk aktivitet) i Sverige visar sig antingen direkt genom tydliga förskjutningar av ytan mellan berggrunden och det överliggande jordlagret, eller indirekt av seismiskt deformerade kvartära jordlager (faktaruta 3).

Den paleoseismiska aktiviteten i Sverige har förklarats som en kombination av plattetektoniska processer i Atlanten (se faktaruta 2) och frigjorda bergspänningar, som ackumulerats i berget av den pålagrade inlandsisen när isen snabbt drog sig tillbaka. Ackumulerad horisontell spänning kan även ha uppkommit genom den nedsänkning av berggrunden som orsakades av det tjocka istäcket.

I norra Sverige har ett antal större förkastningsplan i berggrunden identifierats utmed större svaghetsplan (lineament) och det är troligt att de är bildade genom kraftiga jordskalv (med en magnitud 8 på Richterskalan)¹⁹. Enligt SKB finns det inga entydiga bevis för att liknande sen- eller post-glaciala förkastningar förekommit i södra Sverige²⁰. Detta har dock ifrågasatts²¹.

I närheten av både Laxemar-Simpevarp området och i Forsmark förekommer linjära mönster och höjdskillnader, så kallade morfologiska lineament, i landskapet där deformerade kvartära jordlager har påträffats. Dessa kan dock inte entydigt tillskrivas kraftig paleoseismisk aktivitet²².

Störda kvartära jordlager har påträffats i olika delar av Uppland, men de är överlag ytmässigt begränsade och mycket lokala, vilket

¹⁹ Lagerbäck & Sundh, 2008.

²⁰ 2008b.

²¹ t.ex. Mörner m.fl., 2008, och referenser däri.

²² Lagerbäck m.fl., 2006; Lagerbäck & Sundh, 2008.

motsäger att de har orsakats av kraftiga jordskalv²³. I Forsmarksområdet är störningsbenägna jordarter odeformerade. Att dessa är ostörda tyder på att området inte utsatts för någon påtaglig seismisk aktivitet efter det att sedimenten avsattes. I Uppsalaåsen har dock avvattningsstrukturer och slumpveck påträffats, som anses vara orsakade av lokala hydrologiska förhållanden snarare än av seismisk aktivitet²⁴. Det kan dock inte uteslutas att det finns andra tolkningsmöjligheter.

Även i Oskarshamnsområdet har störda, störningsbenägna kvartära jordlager påträffats²⁵. De förekommer i de övre delarna av sediment som anses härröra från äldre istider. Liknande jordarter på lägre nivåer är däremot odeformerade, vilket talar emot att området skulle ha påverkats av större jordskalv. Det är dock viktigt att påpeka att de undersökta lagren lyftes upp över den dåtida havsnivån relativt snart efter avsättningen, och på så sätt torkat ut och kompakterats och därmed blivit mindre störningsbenägna. De är alltså osäkra seismiska markörer.

2.3 Utgångspunkter för platsvalet

Val av plats för slutförvar av använt kärnbränsle ska ske med hänsyn tagen till ändamålet och uppfylla de krav som följer av kärntekniklagen, strålskyddslagen och miljöbalken. Syftet är att åstadkomma ett långsiktig säkert förvar med rimliga konsekvenser på omvärlden och miljön. Två områden, Forsmark och Laxemar, har undersökts i detalj och enligt SKB ska platsvalet tillfalla det område som har bäst förutsättningar och som påverkas minst av intrång och störning.

2.3.1 Jämförelse mellan berggrundens sammansättning och struktur

Både i Forsmark och i Laxemar är kunskapen om berggrundens sammansättning god. Däremot är den tredimensionella utbredningen av de underrepresenterade bergarterna (se faktaruta 1) mindre känd på grund av det relativt begränsade antalet borrhärlor. Eftersom

²³ Lagerbäck & Sundh, 2008.

²⁴ Lagerbäck m.fl., 2005.

²⁵ Lagerbäck m.fl., 2006.

dessa bergarter kan påverka berggrundens kvalitet bör de kontinuerligt modelleras matematiskt under byggskedet i Forsmark.

Berggrunden i kandidatområdet i Forsmark har högre kvartshalt än Laxemar, vilket innebär att värmeledningsförmågan är bättre och deponeringsutrymmet därför kan göras mindre i Forsmark än i Laxemar.

Graden av omvandling av berggrunden, det vill säga omkristallisering av befintliga mineral eller bildning av nya, kan påtagligt påverka dess kemiska och fysikaliska egenskaper, vilket SKB också försökt bedöma vid sina platsundersökningar. För Forsmark finns inga angivna uppskattningar beträffande bergarternas omvandlingsgrad, men merparten av bergarterna är här omvandlade medan i Laxemar en mindre del av berggrunden är mer eller mindre omvandlad. Inom deponeringsområdet i Forsmark har en senare omvandlad, hålrumsförande granit påträffats i en av borrhämnarna. Hålrummen har bildats genom selektiv utlösning av kvarts och sammanfaller med kraftig oxidation. Denna omvandling påverkar bergartens kemiska såväl som fysikaliska egenskaper och leder bland annat till ökad porositet, minskad täthet, resistivitet och lägre hållfasthet, vilket bland annat ökar vattengenomsläppligheten. SKB behöver därför uppmärksamma den porösa granitens utbredning vid fortsatta undersökningar i Forsmark, och låta undersöka om och i så fall hur denna och andra omvandlingar påverkar bergarternas geokemi, transportegenskaper, hållfasthet och termiska ledningsförmåga.

Kunskapen om den storskaliga strukturella utvecklingen i både Forsmark och Laxemar är god, men i detalj är påvisade större såväl som mindre deformationszoner och andra strukturelement direkt kopplade till den rumsliga fördelningen av antalet borrhål. I detta avseende är borrhålens placering i Forsmark bättre än i Laxemar, vilket innebär att det i Laxemar föreligger en större osäkerhet beträffande förekomst och utbredning av större och mindre deformationszoner och andra strukturelement²⁶.

2.3.2 Malmförekomster

I nordöstra Uppland, utanför kandidatområdet, är felsiska och intermediära metavulkaniter vanliga och det förekommer inte sällan malm i dessa bergarter. I Dannemora, som ligger cirka 25 kilometer

²⁶ Toverud, 2010.

sydväst om Forsmark, har järnmalm brutits fram till 1992 och närliggande planer finns att återuppta produktionen. I området är spår efter brytning och brytningsförsök i form av gamla gruvhål och skärpningar vanliga. Lämningar efter gruvförsök förekommer också i vulkaniska bergarter strax utanför kandidatområdet, och i stråket föreligger dessutom ett antal undersökningstillstånd för koppar.

Även nordost om kandidatområdet finns felsiska till intermediära metavulkaniter. Förutom ett antal mindre öar är dessa bergarter till stor del täckta av vatten och har därför inte närmare kunnat undersökas. Det kan därför inte helt uteslutas att dessa bergarter saknar icke-magnetiska mineraliseringar, till exempel av hematit eller sulfid, som inte registreras av magnetiska undersökningar. Dessutom är berggrunden i den nordvästra delen av den tektoniska linsen i Forsmark, precis utanför det prioriterade området, tyngre än genomsnittet. Tunga bergarter kan bestå av gabbro eller liknande, eller av olika typer av mineraliseringar. Förekomst av dessa bergarter, även när de inte är exponerade, indikeras av tyngdkraftsmätningar där de utgör en positiv geofysisk anomali. Det bör poängteras att förvaret i sig kommer att utgöra en kraftig positiv geofysisk anomali, på grund av dess tyngd och förekomst av järn. Detta innebär att det föreligger en viss risk att området i en avlägsen framtid kan bli föremål för malmprospektering²⁷.

Prospektering med hjälp av geofysiska metoder efter djupt liggande malmkroppar, som inte når markytan, kommer troligen att bli allt vanligare. Innan metavulkaniterna nordost om kandidatområdet undersökts bör det inte uteslutas att framtida exploaterbara mineralfyndigheter förekommer i Forsmarksområdet.

Samma problematik föreligger inte i Laxemarområdet²⁸.

²⁷ Toverud, 2010.

²⁸ (Lindroos, 2004).

2.3.3 Sannolikhet för jordskalv

Sannolikheten för större jordskalv i såväl Forsmark som Laxemar är mycket liten, men inte försumbar.

2.3.4 Bergspänningar

Tolkade bergspänningar i Forsmark är betydligt högre än i Laxemar vilket kan komma att medföra att omfattande förstärkningsarbeten måste ske under byggskedet i Forsmark.

Faktaruta 2.3

Kvartär avser den geologiska period som innefattar de senaste cirka 2 miljoner åren. Sveriges jordarter bildades framför allt under denna tid av glaciala processer kopplade till inlandsisar. Jordarterna består i huvudsak av mineral och bergartsfragment. Jordarter avsatta av själva isen (morän) är i regel osorterade medan vattenavsatta jordarter har en mer begränsad kornstorleksvariation. Grovkorniga jordarter är ofta så kallade friktionsjordar där skjuvhållfastheten framför allt utgörs av friktion. I finkorniga jordarter är kontaktytan mellan de ingående partiklarna många och kohesionskraften hög, och de är därför inte störningsbenägna. Löst packade och vattenmättade friktionsjordarter är däremot störningsbenägna och kan bete sig som vätska då de utsätts för skakningar från till exempel en jordbävning. De är i regel goda paleoseismiska markörer.

2.4 Kärnavfallsrådets ställningstaganden

De geologiska betingelserna i Forsmark utgjorde en del av de förutsättningar som låg till grund för SKB:s platsval. De slutliga alternativen identifierades även utifrån demokratiska premisser, i och med att platsvalsprocessen har utgått ifrån de kommuner som frivilligt har deltagit i processen. Rådet anser att frivillighetsprincipen har varit och måste vara en viktig utgångspunkt i platsvalsprocessen. Rådet kan samtidigt konstatera att den geologiska detaljkun-

skap som nu finns över dessa områden saknas i övriga delar av landet.

Jämförelse av kunskapsläget vad gäller geologin i platsvalsområdena

Med hänsyn till de geologiska kunskaper som SKB har redovisat för platsvalet kan rådet konstatera att både i Forsmark och i Laxemar är kunskapen om berggrundens sammansättning och den storskaliga strukturella utvecklingen god. Detaljkunskapen om vissa större såväl som mindre deformationszoner och andra strukturelement som kan påverka förvarets kvalitet, är däremot mindre väl kända. Denna kunskap är direkt kopplad till den rumsliga fördelningen av antalet borrhål, vilket innebär att i Laxemar föreligger en större osäkerhet gällande deformationszoner.

I de hydrologiska modellerna föreligger även en viss kunskapsbrist. För att erhålla mindre osäkra modeller i Forsmark rekommenderas att ett tätare nätverk av seismiska profiler utförs.

Kunskapen om den tredimensionella utbredningen av de underrepresenterade bergarterna är även bristande, och det samma gäller den observerade omvandlade och hålrumsförande graniten i Forsmark. Dessa bergarter kan påverka berggrundens kapacitet som yttre barriär och bör modelleras kontinuerligt under byggfasen. Dessutom är berggrunden öster om undersökningsområdet i Forsmark potentiellt malmförande och bör undersökas bättre. Förekomsten av malmer i närheten till Forsmark kan eventuellt leda till säkerhetsrisk (risk för intrång) på längre sikt. Samma problematik föreligger inte i Laxemarområdet.

Referenser

- Bödvarsson, R., Lund, B., Roberts, R. & Slunga S., 2006. Earthquake activity in Sweden. Study in connection with proposed nuclear waste repository in Forsmark or Oskarshamn. SKB R-06-67. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Johansson, J.M., Davis, J.L., Sherneck, H.-G., Milne, G.A., Vermeer, M., Mitrova, J.N., Bennett, R.A., Jonsson, B., Elgered, G., Elósegui, P., Koivula, H., Poutanen, M., Rönnäng, B.O. & Shapiro, I.I., 2002. Continuous GPS measurements of postglacial adjustment in Fennoscandia: 1. Geodetic results. *Journal of Geophysical Research* 107, doi:10.1029/2001JB000400.
- Juhlin, C & Stephens, M.B., 2004. Gently dipping fracture zones in Paleoproterozoic metagranite, Sweden: Evidence from reflection seismic and cored borehole data and implications for the disposal of nuclear waste. *Journal of Geophysical Research* 111, B09302.
- Kinck, J.J., Husebye, E.S., Larsson, F.R., 1993. The Moho depth distribution in Fennoscandia and the regional tectonic evolution from Archean to Permian times. *Precambrian Research* 64, 23–51.
- Lagerbäck, R & Sundh, M., 2008. Early Holocene faulting and paleoseismicity in northern Sweden. Swedish Geological Survey, Research Paper C 836.
- Lagerbäck, R., Sundh & M., Svantesson, S.-I., 2006. Searching for evidence of late- or postglacial faulting in the Oskarshamn region. Results from 2005, SKB R-06-160. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Lagerbäck, R., Sundh, M., Svedlund, J.-O. & Johansson, H., 2005. Searching for evidence of late- or postglacial faulting in the Forsmark region. Results from 2002-4, SKB R-05-51. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Lindroos, H., 2004. The potential for ore, industrial minerals and commercial stones in the Simpevarp area. SKB R-04-72. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Mörner, N.A., Sjöberg, R., Audemard, F., Dawson, S. & Sun, G., 2008. Paleoseismicity and uplift of Sweden. 33 IGC excursion No 11, A: July 30–August 5, B: August 15–19, 2008.

- Pan, M., Sjöberg, L.E., Talbot, C.j. & Asenjo, E., 1999. GPS measurements of crustal deformation in Skåne, Sweden, between 1989 and 1996. GFF 121, 67–72, 1999.
- Sjöberg, L.E., Pan, M. & Asenjo, E., 2004. Oskarshamn site investigation. A deformation analysis of the Äspö GPS monitoring network from 2000 to 2004. SKB P-04-96. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2008a. Site description of Forsmark at completion of the site investigation phase. SDM-Site Forsmark. SKB TR-08-05. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2008b. Geological evolution, palaeoclimat and historical development of the Forsmark and Laxemar-Simpevarp areas. Site descriptive modellering SDM-site. SKB R-08-19. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2009. Site description of Laxemar at completion of the site investigation phase. SDM-Site Laxemar. SKB TR-09-01. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Söderbäck, B. (red), 2008. Geological evolution, paleoclimat and historical development of the Forsmark and Laxemar-Simpevarp areas. Site descriptive modellering SDM-Site. SKB R-08-19. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Toverud, Ö., 2010. Jämförande bedömning av platserna Forsmark och Laxemar som lämpliga för slutförvar av använt kärnbränsle. Rapport till Kärnavfallsrådet, Bromma Geokonsult.

3 Barriärernas beständighet i slutförvarsmiljö

De tekniska barriärerna (kopparkapsel och bentonitbuffert) utgör viktiga garantier för att slutförvaret av högaktivt kärnbränsle ska vara långsiktigt säkert. Under senare tid har emellertid resultat från ny forskning utmanat egenskaperna hos både kopparkapseln och bentonitbufferten och ifrågasatt deras långsiktiga funktion.

Kärnavfallsrådet redogjorde i förra årets kunskapslägesrapport för bakgrund och frågeställningar i samband med forskningsresultat om korrosion av koppar i vatten och erosion av bentonit i buffert och återfyllning¹. Kärnavfallsrådet uppmanade SKB att fortsätta forskningen om koppars egenskaper i olika miljöer där metallen kommer i kontakt med vatten. Under våren 2010 publicerades en rapport från Kärnavfallsrådets seminarium om kopparkorrosion, som anordnades i november 2009.² I årets kunskapslägesrapport följer Kärnavfallsrådet upp vad som har hänt under 2010 och ger ytterligare synpunkter på den forskning som bedrivs. Några av synpunkterna är resultat av ett möte med ett antal korrosionsexperter vid Massachusetts Institute of Technology, MIT, i november 2010.

Kärnavfallsrådets Kunskapslägesrapport 2010 innehöll vidare beskrivningar av några av de utmaningar mot bentonitbufferten och återfyllningen som har aktualiserats under senare tid. Det gäller inte minst bentoniterosion i förvaret och i återfyllningen som upplevs som hot, särskilt under efterglaciala förhållanden. En annan aktuell fråga gäller processen för vattenmättnaden av bentonit som kan påverka buffertens egenskaper på kort och lång sikt. Den

¹ Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2010 – utmaningar för slutförvarsprogrammet. SOU 2010:6.

² Mechanisms of Copper Corrosion in Aqueous Environments. A report from the Swedish National Council for Nuclear Waste's scientific workshop, on November 16, 2009. Report 2009:4.

senare frågan belyses närmare i årets kunskapslägesrapport som också innehåller några synpunkter på den nya forskning som presenterats av SKB under 2010.

3.1 Om korrosion av koppar i kontakt med vatten

Kopparkapseln utgör en viktig barriär i KBS-3-metoden, eftersom den förväntas vara helt tät och korrosionsbeständig. Det är därför nödvändigt att det finns väl underbyggda data om korrosion av koppar i slutförvarsmiljö för att trovärdigheten för KBS-3 metoden ska bestå. Fullständiga kunskaper om mekanismer, hastigheter och drivkrafter för kopparkorrosion under de förhållanden som råder i slutförvaret är nödvändiga. 2009 publicerade en grupp forskare från KTH resultat som ifrågasatte nuvarande kunskap om kopparkorrosion under syrefria (anoxiska) förhållanden, vilka förväntas råda i slutförvaret³. Deras experimentella resultat tyder på att koppar kan korrodera spontant även i rent vatten genom att hydroxidjoner (OH⁻) tas från vattnet tillsammans med att vätgas (H₂) utvecklas. Detta innebär att en allmän korrosion av koppar skulle kunna ske i slutförvaret på lång sikt.

Deras resultat har emellertid varit föremål för flera kritiska granskningar och ifrågasättanden, främst på grund av att de strider mot kända termodynamiska data för hur koppar reagerar i rent syrefritt vatten⁴.

Kärnavfallsrådet arrangerade i november 2009 ett internationellt vetenskapligt seminarium med titeln "Mechanisms of Copper Corrosion in Aqueous Environments" som samlade nära 300 personer. Inbjudna experter från olika länder invände mot att de nya forskningsresultaten skulle vara otvetydiga, men skulle möjligen kunna ske under extrema förhållanden i ultrarent vatten. Även om koppar faktiskt skulle kunna reagera i ultrarent vatten, på det sätt som dessa forskare föreslår, skulle detta inte kunna orsaka några allvarliga angrepp på kopparkapseln under dess livslängd på över 100 000 år i slutförvaret. Denna slutsats har baserats på grundval av de data om vätgasutveckling som presenterats i de publicerade experimentella resultaten av Hultquist *et al.*

Från rent termodynamiska utgångspunkter är korrosion av koppar i syrefritt vatten möjlig endast om vätgastrycket är extremt

³ Hultquist *et al.* 2007, 2009.

⁴ t. ex. Apted *et al.*, 2009; King, 2009.

lågt⁵ och koncentrationen koppar(I)joner(Cu^+) dessutom är försumbar. Det är partialtrycket av vätgas (p_{H_2}) och koncentrationen av kopparjoner och vätejoner (H^+) som utgör nyckelvariabler i korrosionsprocessen av koppar i vatten, och termodynamiska beräkningar visar att dessa parametrar måste ha mycket låga värden för att koppar ska korrodera. Koppar är alltså mycket motståndskraftigt mot korrosion i syrefritt vatten, men detta kan påverkas drastiskt i närvaro av sulfidjoner och en del andra oönskade föroreningar.

3.1.1 Termodynamiska beräkningar

Termodynamiska beräkningar som gjorts av professor Digby Macdonald⁶ visar att resultaten från Hultquist *et al.* inte nödvändigtvis strider mot kända termodynamiska lagar, under förutsättning att experimenten utfördes under de extrema förhållanden som beskrivits ovan eller om vattnet innehöll föroreningar som exempelvis sulfidjoner. Om grundvillkoren för korrosion är uppfyllda så kommer processen att initieras, vilket leder till att vätgastrycket ökar och koncentrationen av koppar (I)joner stiger tills värdena överskrider respektive jämviktswärde i ett system med begränsad masstransport. Vid jämvikt gäller att korrosionshastigheten bestäms av transporten av reaktanter till metallytan och produktens transport därifrån.

De ibland motsägelsefulla resultaten vid studier av kopparkorrosion i syrefritt vatten, där några experiment visar att koppar korroderar medan andra visar på motsatsen, kan troligen förklaras av varierande initialförhållanden i experimenten, till exempel kopparmetallens renhetsgrad och struktur samt vattnets reningsgrad.

3.1.2 Experternas slutsatser

De internationella experternas utlåtanden kan huvudsakligen beskrivas så att de nyligen publicerade resultat, som visar att koppar kan korrodera i rent syrefritt vatten vid rumstemperatur, är kontroversiella och utmanar nuvarande kunskap om termodynamiska data med avseende på kombinationen av koppar och vatten

⁵ $p_{\text{H}_2} < 10^{-11}$ atm vid 25°C.

⁶ Pennsylvania State University, USA.

(Cu/H₂O). Rent vatten kan normalt inte oxidera koppar, inte heller om vattnet innehåller låga halter av kloridjoner. Som beskrivits ovan kan koppar endast angripas temporärt under extraordinära förhållanden, och de nya experimentella resultaten gällande korrosion av koppar i rent syrefritt vatten kan därför inte tillämpas på förväntade förhållanden i slutförvaret och därmed inte heller för att förutsäga kopparkapselns beteende på lång sikt.

Andra forskare har inte lyckats upprepa resultaten från experimenten utförda av Hultquist *et al.* Den stora ökningen av vätgasttrycket under försöket kan tyda på att alla variabler inte var helt under kontroll. Det experimentella utförandet kan innehålla felkällor som hittills inte har identifierats. Experterna menade att det är därför nödvändigt att en tredje part upprepar experimenten med en metodik och instrumentering som i största möjliga utsträckning liknar dem som använts av Hultquist *et al.*

3.1.3 Kopparkapseln i slutförvaret

Utvecklingen av de geokemiska förhållanden som förväntas råda i slutförvaret är omsorgsfullt utvärderade och beskrivna⁷. Syrgas från atmosfären kommer att finnas i slutförvaret när det försluts (i vatten och bentonit) och strålningsvärmens från kapseln kommer att skapa fuktiga och oxiderande förhållanden. Syret förväntas att relativt snabbt (upp till ett par hundra år) förbrukas genom ett antal processer inklusive kopparkorrosion och reaktioner med mikrober och andra föroreningar i bufferten och återfyllningen. Den elektrokemiska miljön nära kopparkapseln kommer så småningom att förändras från varm och oxiderande till kall och reducerande när syret konsumerats och strålningsvärmens från kapseln klingar av. Innan bentonitbufferten har vattenmättats räknar SKB med ett allmänt korrosionsdjup på 30 tusendels millimeter (30 µm) och ett maximalt korrosionsdjup på 300 tusendels millimeter, baserat på mängden syrgas som förväntas finnas tillgänglig vid förslutningen⁸. Under syrefria förhållanden (vilka beräknas råda upp till 99,9 % av tiden) förväntas korrosionen att avklinga och så småningom upphöra, beroende på att vätgasttrycket ökar tillsammans med koncentrationen av kopparjoner i omgivningen nära kapseln.

⁷ King *et al.*, 2002.

⁸ King *et al.*, 2002.

Faktaruta 3.1

Grundvatten i förvaret är långtifrån rent och vanliga föreningar är klorider (Cl^-), karbonater (HCO_3^-), sulfat- (HSO_4^-) och sulfidjoner (HS^-). Sulfider aktiverar koppar genom att bilda utfällningar av kopparsulfid (Cu_2S) vid elektrokemiska potentialer som är avsevärt mer negativa än för bildande av kopparoxid (Cu_2O). Det innebär att koppar kan korrodera under syrefria förhållanden och beräkningar visar att det är mycket sannolikt att koppar korroderar i närvaro av sulfider. Eftersom även förhållandevis små mängder av sulfidjoner i slutförvaret kan resultera i korrosion av koppar måste transport av sulfidjoner till kapseln förhindras genom tekniska åtgärder. I närvaro av sulfider aktiveras koppar, som kommer att korrodera genom att bilda stabila och svårösliga föreningar av kopparsulfid (Cu_2S).

3.1.4 Korrosionsprocessen är komplex

Korrosionsprocessen innehåller både elektrokemiska och komplexkemiska komponenter. Elektrokemiska reaktioner innebär ett elektronutbyte mellan kopparmetallen och en eller flera reaktanter i omgivningen till exempel syrgas eller vätejoner i vattnet. Komplekxemin påverkas av mängd och typ av föroreningar och innebär att producerade kopparjoner fälls ut som kopparoxid eller i närvaro av sulfidjoner som kopparsulfid, och kopparjoner kan även komplexbindas av klorider och karbonatjoner i vattnet. Dessa reaktioner samverkar och utgör i vissa miljöer drivkrafter för korrosionsprocessen.

Studier av kopparkorrosion kan således inte begränsas till rent syrefritt vatten. Som beskrivits i faktarutan ovan måste vissa typer av föroreningar förhindras från att komma i direkt kontakt med kopparkapseln under lång tid. En viktig faktor i sammanhanget är bentonitbuffertens egenskaper som berörs i nästa avsnitt. Man kan säga att kopparkapselns långsiktiga funktion är beroende av om bufferten fungerar effektivt, och kopparkapseln är därigenom inte en helt oberoende förvarsbarriär.

Om kopparkapseln under lång tid står i direkt kontakt med grundvatten som innehåller en rad korrosiva ämnen kommer kap-

seln att korrodera. Den långsiktiga säkerheten är alltså beroende av att bentoniten kan skydda den från ett flöde av grundvatten⁹.

Detta har demonstrerats av bland andra professor Digby Macdonald vid det ovan nämnda symposiet om kopparkorrosion i Stockholm 2009. Korrosionens omfattning beror på mängden sulfider och diffusionen av dessa genom bentonitbufferten till kopparkapseln. Den bildade kopparsulfiden skyddar inte ytan från fortsatt korrosion och därför utgör sulfider och andra svavelhaltiga ämnen (till exempel polysulfider och olika typer av sulfater) långsiktiga hot mot kopparkapslarna och bör studeras ingående. Potentiella svavelkällor omfattar bland annat pyrit (FeS_2) och sulfater i bentoniten. Sulfatreducerande bakterier kan omvandla sulfater till sulfider i slutförvaret.

3.1.5 Krav på öppenhet och kvalitet

SKB:s forskningsprogram om kopparkapselns egenskaper som barriär i förvaret följs med stort intresse av många enskilda personer såväl som olika organisationer och myndigheter. Forskningen måste självklart vara av hög vetenskaplig kvalitet, där resultaten utvärderas på ett objektiva sätt utifrån tydligt uppställda motiv och hypoteser. Även om forskningen bedrivs av olika externa konsultgrupper och universitetsinstitutioner, är det ändå SKB som måste ta ansvar för att forskningsresultat och slutsatser redovisas med hänsyn till god forskningsetik.

När det gäller frågan om kopparkorrosion i olika miljöer får man intrycket av att forskningsprojekten ibland har gått ut på att söka bekräftelse på det man redan tror sig veta, snarare än att söka helt ny kunskap. Det betyder inte att forskningskvaliteten har varit dålig, men när resultaten inte blir de förväntade bör utgångspunkten vara att få nya erfarenheter som ska redovisas öppet. Det är onödigt att SKB utsätter sig för extern kritik och misstänklighöranden av såväl media, myndigheter som miljöorganisationer, när trovärdigheten inför att ansökan ska lämnas in är viktigare än någonsin tidigare¹⁰. Kärnavfallsrådet ser fram emot att SKB fortsätter forsk-

⁹ Det bör framhållas att Strålskyddsmyndigheten i sina föreskrifter och allmänna råd (SSMFS 2008:21), 7 §, föreskriver att "(b) arriärsystemet ska innehålla flera barriärer så att så långt det är möjligt nödvändig säkerhet upprätthålls trots enstaka brist i en barriär". Med tanke på det finns brister i bentonitbufferten som kan få till konsekvens att kopparkapseln korroderar, är det berättigat att ställa frågan om detta krav är tillgodosett i den nuvarande utformningen av KBS-3-systemet.

¹⁰ SSM; Research 2010:17; Ny Teknik 1 dec. 2010.

ningen inom området kopparkorrosion med stor öppenhet, genom att anlita oberoende forskargrupper.

3.1.6 Forskningen fortsätter

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

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

Studierna av kopparkorrosion under förvarsliknande förhållanden innebär att man vill undvika den problematik som hänger samman med tolkningen av resultaten från mer kortvariga och begränsade laborieförsök. Det är viktigt att få kunskap om utvecklingen av miljön i kompakterad bentonit och hur detta påverkar korrosionshastigheten. Det är naturligtvis av intresse att identifiera eventuella punktangrepp ("gropfrätning") och korrosionsprodukternas roll för fortsatt allmän korrosion av kapseln.

Krypning i kopparmetallen som orsakar deformation och möjligt brott av kopparkapseln t.ex. på grund av ojämn svällning av bentoniten kan vara ett annat långsiktigt hot i slutförvaret. Krypningens inverkan på kopparkapselns egenskaper på lång sikt är ett viktigt område för fortsatt forskning.

I projektet "Miniature canister corrosion experiment" har försöken utformats för att förstå korrosionen av insatsen av gjutjärn i kapseln, om kapseln skadas så att vatten kan tränga in. Under försöket kommer kapselns korrosionspotential och omgivningens

redoxpotential¹¹ att registreras, det inträngande vattnets sammansättning och vätgastrycket i kapseln att mätas samt hur detta påverkar töjningen på kapselns utsida. Man förväntar sig att gjutjärnet korroderar genom bland annat galvanisk korrosion och bildar produkter som till exempel magnetit, samtidigt som vätgas utvecklas. Försöken ska utföras vid en temperatur på cirka 15°C och kommer att pågå i åtminstone 5 år innan kapslarna återtas för undersökning.

3.2 Om bentonit som barriär i vått och torrt

Den diskussion som pågår om kopparkapselns långsiktiga egenskaper som tät barriär i slutförvaret har aktualiserat betydelsen av bentonitens roll som buffert. Kopparkapseln är visserligen ett förhållandevis korrosionsbeständigt material, men som beskrivits ovan är kapseln inte opåverkbar i den miljö som förväntas i förvaret och som innebär kontakt med grundvattnet.

Kopparkapselns funktion som tät barriär är i hög grad beroende av bentonitbuffertens förmåga att skydda kapseln från korrosiva ämnen i grundvattnet. Grundvattnet innehåller en rad ämnen (joner och mikrober) som utgör potentiella hot mot kapseln. Det är väl ingen större överdrift att påstå att fritt strömmande grundvatten i kontakt med kapseln skulle kunna leda till förödande konsekvenser på lång sikt, även under syrefria förhållanden. Bentonitbuffertens egenskaper på kort och lång sikt är därigenom avgörande för hur väl förvaret kommer att fungera, och det är därför viktigt att sammanfatta den kunskap som finns om bentonitens egenskaper i olika miljöer.

Det finns tusentals publicerade tekniska rapporter och vetenskapliga artiklar om bentonit och dess användning i olika tekniska sammanhang. De viktigaste användningsområdena är som bindemedel i gjutsand, vid pelletisering av järnmalm, i borrhälskor vid oljeborrning, för tätning inom bland annat byggnadsindustrin, vid uppsugning av brandfarliga och andra vätskor (till exempel i katt-sand), oljor och fetter inom livsmedelsindustrin. Det är mot den bakgrunden lätt att förstå att kunskapen om bentonitens allmänna egenskaper är mycket bred och delvis också djup.

¹¹ Redoxpotentialen anger om miljön är oxisk eller anoxisk, det vill säga om miljön har tillgång till syre eller ej.

Här är inte ambitionen att ge en fullständig redogörelse för den samlade kunskapen om bentonit, utan att koncentrera frågeställningarna till några för slutförvaret kritiska parametrar.

3.2.1 Specifika krav i slutförvaret

Det måste ställas mycket specifika krav på den typ av bentonit som ska användas i slutförvaret, främst beträffande det totala innehållet av mineral som sväller i vatten, men även med avseende på begränsningar av sådana föroreningar som kan påverka kopparkapseln på lång sikt till exempel sulfider och andra svavelhaltiga ämnen. Bentoniten bör dessutom innehålla en optimal sammansättning av mineral och joner eftersom vanligt förekommande mineral (till exempel kvarts, fältspater, kalcit, gips, pyrit och siderit) har olika egenskaper med avseende på löslighet i vatten, hårdhet, partikelstorleksfördelning med mera. Kärnavfallsrådet har i tidigare yttranden understrukit vikten av att SKB på ett tydligare sätt redogör för hur bentonitens innehåll påverkar buffertens egenskaper på kort och lång sikt¹².

De egenskaper som kan förväntas variera med bentonitens sammansättning är till exempel svällning i vatten och erosion, cementering, mekaniska egenskaper, filtrering av lösta ämnen och kolloider, pH-värde och jonstyrka i porvattnet, livsmiljö för mikroorganismer, värmeledningsförmåga samt kemisk och fysikalisk stabilitet. De flesta av ovanstående egenskaper är direkt eller indirekt beroende av halten av montmorillonit i bentoniten, men även övriga mineral och föroreningar påverkar egenskaperna i varierande utsträckning. Andra viktiga faktorer för att ge bufferten optimala egenskaper skapas av den förbehandling bentoniten utsätts för innan den placeras i förvaret. Dit hör till exempel malning, vattentillsatser och kompaktering som alla påverkar egenskaperna på olika sätt.

3.2.2 Vattenmättnad och cementering

En av bentonitbuffertens uppgifter är att förhindra att kapseln utsätts för ett direkt flöde av grundvatten och dessutom filtrera bort så mycket som möjligt av korrosiva joner och mikroorganismer.

¹² Se t.ex. SOU 2008:70.

Tanken är att bentoniten ska absorbera grundvatten och svälla till dess att den fyller ut alla tomrum och dessutom tränga in i sprickor i omgivande berg. Samtidigt ska tätheten öka till en nivå av cirka 2 kg/dm^3 (åtminstone i deponeringshålen) varpå bufferten blir mycket tät.

På grund av strålningsvärmens från kapseln kommer en temperaturgradient att uppstå genom bufferten i deponeringshålet¹³, det vill säga att temperaturen i bufferten kommer att variera beroende på avståndet till kapseln. Denna temperaturskillnad förväntas finnas kvar i över 1 000 år och kommer naturligtvis att påverka mekanismen för bentonitens vattenmättnad. Vattnet tränger in från den kallare sidan närmast omgivande berg och ”sugs” in i bentoniten genom en kombination av processer. Bentoniten är emellertid inte helt torr från början utan leran måste ha en viss (relativt stor) fuktighet för att kunna kompakteras till hållfasta block och ringar. Vattnet i bentoniten närmast den varma kapseln kommer att röra sig ut mot berget medan det kalla vattnet sugas inåt. Det är alltså i denna komplicerade miljö med vattentransporter i olika riktningar och en rörlig temperaturgradient som vattenmättnaden av bentonitbufferten ska ske. Man kan förvänta sig att de föroreningar och mineral som finns i bentoniten och är relativt lösliga kommer att följa med i vattentransporten. De föreningar som är lösligare i varmt vatten kommer att förflytta sig utåt från kapseln och de som är lösligare i kallt vatten kommer att röra sig inåt. På flera ställen i fronten mellan det varma och det kalla vattnet kommer så kallade sekundära utfällningar att ske, en process som brukar kallas cementering och som påverkar bentonitens mekaniska och kemiska egenskaper. SKB bedriver för närvarande forskning omkring de mekaniska konsekvenserna av cementering.¹⁴

3.2.3 Transport av korrosionsprodukter

Samverkan mellan korrosionsprodukter från koppar och bentonit¹⁵ under liknande villkor som förväntas i slutförvaret har studerats i ett POSIVA-projekt från 2008.¹⁶ Man har använt atacamite (=koppar(II)klorid-hydroxid) som modell för en korrosionsprodukt som var i kontakt med kompakterad bentonit i nära 3 år.

¹³ TR-09-29.

¹⁴ TR-10-41.

¹⁵ Bentonit av typen MX-80.

¹⁶ POSIVA är en finsk motsvarighet till svenska SKB.

Koppar(II)joner från korrosionsprodukten transporterades mindre än 1 mm in i bentoniten oberoende av temperatur. Mot detta kan ställas resultaten från motsvarande processer i SKB:s LOT-projekt, då korrosionsprodukter från upphettade kopparrör transporterades flera centimeter in i omgivande bentonit. De olika resultaten kan bland annat bero på att ett upphettat kopparrör ger upphov till en temperaturgradient som medför en samtidig transport av vatten och korrosionsprodukter från ytan. Korrosionsprodukter från kopparröret följer med det uppvärmda vattnet ut i bentoniten och transporteras därför en längre sträcka.

Under förhållanden i slutförvaret torde en liknande vattentransport endast kunna ske under den första tiden när bentoniten är fuktig och miljön är oxiderande, och därefter upphöra när temperaturen är mer utjämnad; under förutsättning att det inte har skett ett plötsligt genombrott av vatten i bufferten.

3.2.4 Bentoniten påverkar kapseln

Mekanismen för vattenmättnad av bufferten är alltså relativt komplex och kompliceras ytterligare av de species (komplexjoner) som finns i grundvattnet, det vill säga huvudsakligen klorider, kalciumjoner samt karbonat- och sulfatjoner, som alla har unika vägar att sprida sig in i bentoniten. Man kan inte förvänta sig att grundvattnet är homogent fördelat i de yttre delarna av bufferten utan bentoniten i närheten av vattenförande sprickor i berget kommer att vattenmättas först och svälla. Om vattenfördelningen är mycket ojämn kan detta medföra påfrestningar på kapseln genom att den utsätts för varierande tryck och töjning, som i sin tur kan påverka kapselns krypnings- och korrosionsegenskaper. Kärnavfallsrådet har i tidigare rapporter uppmanat SKB att bedriva fortsatt forskning kring spänningskorrosion.¹⁷ Om skillnaden i vattenmättnad är stor i bentoniten närmast kapseln, varierar miljön på olika delar av ytan och det kan finnas risk för så kallad gropfrätning. Frågan är hur omfattande den kan bli innan miljöskillnaderna närmast kapseln har utjämnats.

¹⁷ Se t.ex. SOU2010:6.

3.2.5 Frysning av bentonit

SKB har genomfört ett stort antal laboratorieförsök där vattenmättade bentonitprov har utsatts för temperaturer i intervallet -10°C till $+25^{\circ}\text{C}$ samtidigt som svälltrycket har uppmätts. Proverna har varierats med avseende på bentonittyp (natrium- eller kalciumbentonit) samt på smektit-innehåll och täthet. Det är naturligtvis en mycket viktig undersökning eftersom temperaturen i förvaret kommer att variera, både med tiden och beroende på hur djupt man är i förvaret. Slutsatserna är att bufferten inte kommer att frysa under förvarets livstid eftersom isbildning i bentoniten bara sker under -5°C och den lägsta förväntade temperaturen på förvarsdjup är cirka -2°C . Man förutspår att bentoniten i återfyllningen av tunnlar, ramp och schakt kan frysa men att detta inte är ett problem eftersom frysings-/tiningsprocessen har visat sig vara helt reversibel.

Figur 3.1: De tekniska barriärerna. Illustration: Willis Forsling och Jonas Nilsson.

3.3 Kärnavfallsrådets ställningstaganden

3.3.1 Kopparkorrosion

Det är mycket tillfredsställande att SKB fortsätter forskningen om kopparkorrosion i kontakt med vatten under både oxiska och anoxiska förhållande (=både med och utan syre).

Forskningens trovärdighet är en nyckelfråga i samband med frågan om de tekniska barriärernas långsiktiga funktion. Rådet vill i detta sammanhang åter påminna om behovet av en från SKB oberoende forskning, som också gärna finansieras från andra håll. Forskningens roll kommer vara fortsatt viktig, även efter det att ansökan om slutförvar har inlämnats.

Korrosionsmekanismerna för koppar under syrefria förhållanden är särskilt intressanta eftersom dessa kommer att råda på lång sikt. Studier under förvarsliknande förhållanden är mycket värdefulla inte minst vid ofullständig och ojämn vattenmättnad av bentoniten, då det finns risk för att lokala korrosionsceller kan uppkomma bland annat genom varierande tillgång på syre och transport av reaktiva ämnen till kapseln. Ojämn vattenmättnad av bentoniten kan dessutom ge upphov till krypning i kopparmetallen och att kapseln deformeras. Rådet rekommenderar fortsatt forskning inom området

Rådet anser att forskningen inte bör begränsas till rent syrefritt vatten utan också innefatta joner i grundvattnet som kan stabilisera kopparjoner (Cu^+ och Cu^{2+}) som bildas i processen, det vill säga framför allt olika typer av negativt laddade svavelhaltiga joner (anjoner) och klorider.

De försök som har initierats av SKB och som utförs bland annat vid Uppsala Universitet för att utvärdera resultaten från Hultquist *et al.* verkar ha en lovande uppläggning och kan förhoppningsvis ge information om dessa resultat går att upprepa. Det bör poängteras att initialförhållandena på många sätt kan vara avgörande för resultatet, det vill säga kopparmetallens renhetsgrad och struktur (kornstorlek), på vilket sätt foliernas ytor har rengjorts före försöket samt tiden från rengöring till kontakt med vatten. Vattnets renhetsgrad är naturligtvis också en nyckelfaktor, inklusive mängden lösta gaser från atmosfären och eventuella föroreningar från jonbytare och/eller destillationsanläggning.

Resultaten från Hultquist *et al.* innebär att en hittills okänd korrosionsprodukt bildas med en sammansättning som liknar koppar-

hydroxid men vars egenskaper inte har kunnat fastslås. Kärnavfallsrådet beskrev i sin senaste kunskapslägesrapport¹⁸ en reaktion på ytor av koppar som ger en likartad reaktionsprodukt tillsammans med vätgasutveckling¹⁹. En sådan reaktion finns beskriven i litteraturen²⁰ och allmänt gäller att betydelsen av kemiska reaktioner på ytor av koppar i samband med korrosion är dåligt undersökta och bör studeras vidare. Dessa reaktioner inkluderar adsorption (vidhäftning) och utfällning på ytorna och aktualiserar också betydelsen av det så kallade ytkemiska dubbellagret som uppstår genom att de bipolära vattenmolekylerna nära ytan arrangerar sig för att motverka ytornas laddning. Ytornas betydelse för korrosion av koppar kan utvärderas genom att arealen ökas vilket kan åstadkommas genom att använda kopparpulver. Det kan förbehandlas på olika sätt genom att utsättas för olika miljöer (till exempel oxideras) och därefter kan korrosionshastigheten och dess utbredning jämföras. Det finns ett värde i att skilja på den typ av korrosion som initieras av ytornas utseende och mikrostruktur och de reaktioner med "bulkmetallen" som styrs av termodynamiska samband i systemet koppar/vatten (Cu/H₂O).

Fördjupade studier av spänningskorrosion och hur hållfastheten av koppar påverkas av väteabsorption är fortsatt angelägna.

3.3.2 Processer i bentoniten

Det är Kärnavfallsrådets uppfattning att forskning om bentonitens egenskaper för specifik användning i slutförvaret bör fortsätta. Det gäller bentonit i form av kompakterade block, ringar och pellets i såväl buffert som återfyllning. I sin förra kunskapslägesrapport kommenterade Kärnavfallsrådet den utmaning mot buffert och återfyllning som beror på möjligheten till bentoniterosion²¹.

Det finns en rad egenskaper hos bentonitbufferten som beror på bentonitens sammansättning och innehåll av olika typer av föroreningar. Som beskrivits ovan påverkar innehållet en rad mekaniska och kemiska egenskaper och Kärnavfallsrådet har i tidigare rapporter uppmanat SKB att närmare studera och redovisa detta. Andra viktiga faktorer för att ge bufferten optimala egenskaper utgörs av den förbehandling bentoniten utsätts för innan den place-

¹⁸ Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2010 – utmaningar för slutförvarsprogrammet.

¹⁹ $\equiv\text{Cu} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \equiv\text{CuOH} + \frac{1}{2}\text{H}_2$ där \equiv betecknar ytan.

²⁰ t. ex. E. Protopopoff and P. Marcus; *Electrochimica Acta*, 51, 408 [2005].

²¹ SOU 2010:6.

ras i förvaret. Dit hör till exempel malning, vattentillsatser och kompaktering som alla påverkar egenskaperna på olika sätt. Förbehandlingen ger ju också en viss möjlighet att modifiera bentoniten om man så önskar. Det kanske vore värt att pröva om en tillsats av till exempel en begränsad mängd Cu^+ joner i bentoniten skulle kunna motverka eller i varje fall försvåra en eventuell oxidation av kopparkapseln. Korrosionsreaktionen av koppar kan sammanfattningsvis uttryckas som en kemisk jämvikt, $\text{Cu} \rightleftharpoons \text{Cu}^+ + \text{e}^-$, och en liten mängd tillsatt CuCl (på höger sida i jämviktsuttrycket) gör kopparmetallen (Cu på vänster sida) stabilare.

Kärnavfallsrådet har i tidigare rapporter beskrivit vattenmättnadsprocessen som en viktig parameter för buffertens framtida funktion²². Ett mycket torrt berg (som förväntas i Östhammar) innebär att vattenmättnaden tar mycket lång tid och bentoniten närmast kopparkapseln kommer att torka ut i hög grad, vilket kommer att påverka buffertens hållfasthet och dess kemisk/fysikaliska egenskaper i övrigt. I samband med att miljön närmast kapseln blir torrare kommer värmeledningsförmågan genom bufferten troligen att minska vilket betyder att en högre temperatur kommer att upprätthållas under längre tid. Det i sin tur betyder att bufferten kan bli sprödare, vilket också har konstaterats av SKB²³. Frågan är om den kompakterade bentoniten håller ihop eller om den faller sönder vid uttorkningen, och hur detta påverkar buffertens egenskaper innan och efter den har vattenmätts. Det bör vara ett område för SKB:s fortsatta utvecklingsarbete.

De experiment som har gjorts om hur bentonitens svälltryck påverkas av frysning är högst relevanta med tanke på förvarets långsiktiga funktion. Frågan är om slutsatsen att frysningen inte innebär några problem är helt riktig. Om yttemperaturen sjunker kommer återfyllningen närmast markytan att frysa först. Vattnet som har sugits upp av bentoniten innehåller lösta ämnen och salter som när bentoniten fryser kommer att separeras från vattnet och koncentreras. Ju längre den djupfrysta perioden varar desto mer uttalad blir den processen. När bentoniten sedan åter tinar upp och smältvatten rinner ner i förvaret finns det troligen risk för att bentoniten och därmed återfyllningens egenskaper har påverkats negativt.

Studier som innebär att bentonit upprepade gånger får frysa i förorenat grundvatten och därefter åter tinas upp bör genomföras.

²² SOU 2007:38, SOU 2008:70.

²³ TR-10-41.

Referenser

- Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2010 – utmaningar för slutförvarsprogrammet. SOU 2010:6.
- Mechanisms of Copper Corrosion in Aqueous Environments; A report from the Swedish National Council for Nuclear Waste's scientific workshop on November 16, 2009; Report 2009:4.
- Macdonald, D., Latanision, R., King, F., Hänninen, H. and Forsling, W. Möte om kopparkorrosion; MIT, Boston, 4–5 November 2010.
- Szkalos, P., Hultquist, G. and Wikmark, G. (2007). Corrosion of copper by water; *Electrochemical and Solid-State Letters*, 10(11), C63–C67.
- Hultquist, G., et al. (2009) Water corrodes copper. *Catal. Lett* 132, 311–316.
- Hultquist, G. et al. (2009) Detection of hydrogen in corrosion of copper in pure water. *Corrosion-2009, NACE, Houston, Texas, Paper No. 3884.*
- Apted, M.J., Bennett, D.G. and Saario, T. (2009). A review of evidence for corrosion of copper by water. *SSM Report 2009:30.*
- King, F., Ahonen, L., Taxén, C., Vuorinen, U. and Werme, L. (2002). Copper corrosion under expected conditions in a deep geologic repository. *Posiva 2002-01.*
- Svensk Kärnbränslehantering AB (2010). FUD-program 2010. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall. September 2010.
- SSM; Research 2010:17; Quality Assurance Review of SKB's Copper Corrosion Experiments.
- Ny Teknik 1 dec. 2010; Hemlig rapport: Kapslarna korroderar; ”SKB släpper nya hemliga kopparrön”.
- Long term test of buffer material at the Äspö Hard Rock Laboratory, LOT Project Final report on the A2 test parcel TR-09-29.
- Protopopoff, E. and Marcus, P. (2003) Potential-pH diagrams for sulfur and hydroxyl adsorbed on copper surfaces in water containing sulfides, sulfites or thiosulfates. *Corrosion Science* 45, 1191–1201.

Protopopoff, E. and Marcus, P.n (2005); Potential-pH diagrams for hydroxyl and hydrogen adsorbed on a copper surface, *Electrochimica Acta*, 51, 408–417.

Thermo-mechanical cementation effects on bentonite investigated by unconfined compression tests TR-10-41.

Freezing of bentonite – Experimental studies and theoretical considerations TR-10-40.

Bentonite erosion – Final report TR-09-34.

Final Disposal of Nuclear Waste; The Swedish National Council for Nuclear Waste's Review of the Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co's (SKB's) RD&D Programme 2007 (SOU 2008:70).

Tid för slutförvaring av kärnavfall – samhälle, teknik och natur; En fördjupning till KASAM:s rapport om kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2007 (SOU 2007:38).

4 Alternativfrågan – rättsliga, tekniska och samhällsvetenskapliga perspektiv

Vid planering av samhällsförändringar kommer frågan om alternativ alltid upp i någon form i olika delar av planeringsprocessen. Vilka alternativ finns tillgängliga? Vilka anses möjliga eller rimliga att genomföra? När ska de läggas fram? Detta är frågor som alla aktörer i en planeringsprocess ställer sig och tar ställning till – medvetet eller omedvetet.

När det gäller slutförvar av använt kärnbränsle har frågor om alternativ teknik och alternativ plats varit en återkommande fråga sedan början av 1970-talet. Frågan om de geologiska förutsättningarna för platsvalet uppmärksammas i en annan del av denna kunskapslägesrapport. I detta avsnitt behandlas frågan om alternativa metoder till KBS 3 i ett rättsligt, tekniskt och samhällsvetenskapligt perspektiv.

Inför SKB:s ansökan om uppförande av ett slutförvar för använt kärnbränsle är det mycket relevant att fokusera frågan om alternativen till KBS 3. Det är relevant ur ett demokratiskt perspektiv och ur perspektivet att kunskapsunderlaget inför miljödomstolens och regeringens beslut ska vara allsidigt och främja en ”samlad bedömning”. Hur alternativa tekniker och metoder för slutförvar hanteras i planeringsprocessen och hur slutförvarets plats valts ut utgör centrala frågor i detta skede.

Kärnavfallsrådet har alltsedan sin första kunskapslägesrapport 1986 uppmärksammat den så kallade alternativfrågan. Egentligen handlar det om två olika delfrågor:

1. vilka alternativ till KBS 3 bör beaktas av SKB?
2. vilka krav bör en sådan alternativredovisning uppfylla?

Under senare år är det främst alternativet djupa borrhål som framhävts i diskussionen (bland annat vid Kärnavfallsrådets alternativseminarium 2006, seminariet om djupa borrhål 2007, kunskapslägesrapporten 2007 och Karl Inge Åhälls rapport till Kärnavfallsrådet 2010).

I rådets synpunkter på SKB:s preliminära miljökonsekvensbeskrivning (MKB 2010) framhålls ”att den information som presenteras i miljökonsekvensbeskrivningen måste vara så omfattande att det i alla frågor tydligt framgår vilka ställningstaganden SKB gör och vilken grund SKB har för dessa ställningstaganden. *Rådet anser att detta inte är fallet när det gäller underlag för bedömning av miljöeffekter med avseende på den långsiktiga säkerheten, beskrivning och bedömning av alternativa metoder (inkl. noll-alternativet) samt vad som ligger till grund för SKB:s val av plats.*”

Huvudsyftet med detta avsnitt är att, i relation till rådets kunskapslägesrapporten 2010, redovisa nya kunskaper om alternativa metoder. Avsnittet handlar om det aktuella läget när det gäller:

1. tolkningar av de rättsliga kraven på alternativredovisning
2. eventuella nya fakta som tillkommit när det gäller tekniker och metoder för slutförvar, främst alternativen djupa borrhål och transmutation
3. samhällsvetenskapens bidrag till att belysa huruvida alternativ hanterats i tillräcklig omfattning i planeringsprocessen.

4.1 Rättsliga aspekter på alternativfrågan

Krav på att redovisa alternativ i samband med ansökningar om tillåtlighet för verksamheter regleras rättsligt i miljöbalkens bestämmelser om miljökonsekvensbeskrivning. Hur kraven ska tolkas har varit och är föremål för diskussion. Avsikten här är att visa på det nuvarande läget i den rättsliga tolkningen av vilka alternativa utformningar som bör redovisas i samband med en ansökan enligt miljöbalken om ett slutförvar för använt kärnbränsle.

4.1.1 Syftet med en miljökonsekvensbeskrivning

En miljökonsekvensbeskrivning ska ingå i det underlag som läggs till grund för prövningen av en tillståndsansökan enligt miljöbalken. Enligt 6 kap. 7 § första stycket i miljöbalken ska en miljökon-

sekvensbeskrivning, i den utsträckning det behövs med hänsyn till verksamhetens eller åtgärdens art och omfattning, innehålla de uppgifter som behövs för att beskrivningen ska uppfylla sitt syfte.

Detta syfte är att identifiera och beskriva de direkta och indirekta effekter som den planerade verksamheten eller åtgärden kan medföra dels på människor, djur, växter, mark, vatten, luft, klimat, landskap och kulturmiljö, dels på hushållningen med mark, vatten och den fysiska miljön i övrigt, dels på annan hushållning med material, råvaror och energi. Vidare är syftet att möjliggöra en samlad bedömning av dessa effekter på människors hälsa och miljö.¹

Av förarbetena till miljöbalken framgår att arbetet med en miljökonsekvensbeskrivning ska ge ett så bra underlag som möjligt för beslut om verksamheter eller åtgärder, som var för sig eller sammantagna kan påverka människors hälsa, miljö, hushållningen med mark och vatten med mera. Arbetet ska medverka till att kunskapsluckor upptäcks, liksom till ökad kunskap och insikt om miljö-, hälso- och naturresursfrågor i det enskilda ärendet. Allmänhetens medverkan och möjlighet att påverka miljökonsekvensbeskrivningen och den planerade verksamheten i ett tidigt skede är en viktig del i sammanhanget².

4.1.2 Alternativa platser och alternativa utformningar

Om verksamheten eller åtgärden – som när det gäller ett slutförvar för använt kärnbränsle – kan antas medföra en betydande miljöpåverkan ska miljökonsekvensbeskrivningen alltid innehålla en redovisning av alternativa platser, om sådana är möjliga, samt alternativa utformningar.

Sökanden ska i samband med redovisningen också motivera varför ett visst alternativ har valts. Konsekvenserna av att verksamheten eller åtgärden inte alls kommer till stånd – det så kallade nollalternativet – ska också beskrivas.³ Nollalternativet innebär att en jämförelse ska göras av konsekvenserna mellan att genomföra det projekt som ansökan avser och en förväntad framtida situation där det aktuella projektet inte är genomfört. Förhållandena vid nollalternativet fungerar alltså som referensram för att underlätta jämförelser mellan olika alternativ – i detta fall mellan att uppföra ett

¹ Jfr 6 kap. 3 § miljöbalken.

² Se prop. 1997/98:45 II s. 56.

³ Jfr 6 kap. 7 § andra stycket punkten 4 miljöbalken.

slutförvar för använt kärnbränsle och att fortsätta att mellanlagra det använda kärnbränslet.

Delvis liknande regler finns inom gemenskapsrätten, när ett projekt kan antas medföra betydande påverkan på miljön. Sålunda ska exploitören under närmare angivna förutsättningar tillhandahålla bland annat en översiktlig redovisning av de huvudalternativ som exploitören övervägt, och de viktigaste orsakerna till den valda lösningen med beaktande av miljöeffekterna.⁴

Beträffande innehållet i miljökonsekvensbeskrivningen har som framgått kravet på en redovisning av alternativ kommit till direkt uttryck i lagtexten, för de fall då verksamheten eller åtgärden ska antas medföra en betydande miljöpåverkan. Vad som närmare ligger i lagens krav anges emellertid inte.

I motiven erinras om gemenskapsrättens regler och det som där sägs om en översiktlig redovisning. Lagstiftaren har dock betecknat kravet på en redovisning av alternativ som grundläggande och betonat att inte bara alternativa utformningar utan också – i förekommande fall – alternativa platser måste anges om miljökonsekvensbeskrivningen ska fylla sin funktion.⁵

Kravet på en redovisning av alternativ måste ses i samband med de allmänna hänsynsreglerna i 2 kap. miljöbalken⁶. En sökande ska visa att de förpliktelser som följer av kapitlet efterlevs. Det gäller bland annat skyldigheten att vidta försiktighetsmått och välja en plats som är lämplig med hänsyn till att ändamålet ska kunna uppnås med minsta intrång och olägenhet för människors hälsa och miljö.⁷

Redovisningen ska kunna läggas till grund för en bedömning av ansökan enligt 2 kap. miljöbalken. En miljökonsekvensbeskrivning ska på så sätt bidra till att en viss verksamhet, om den får komma till stånd, leder till så lite negativ miljöpåverkan som möjligt.⁸ Vidare finns en koppling till det tidigare samrådet, genom att sökanden kan ha anledning att i miljökonsekvensbeskrivningen behandla realistiska alternativ som kommer fram vid samrådet⁹.

⁴ se artikel 5 i Rådets direktiv 85/337/EEG av den 27 juni 1985 om bedömning av inverkan på miljön av vissa offentliga och privata projekt, i lydelse enligt direktiv 97/11/EG av den 3 mars 1997).

⁵ Se prop. 1997/98:45 del 1 s. 290 och del 2 s. 63.

⁶ NJA 2009 s. 321 (HD den 10 juni 2009, mål nr T 3126-07, s. 7).

⁷ Se prop. 1997/98:45 del 2 s. 63.

⁸ Se prop. 1997/98 del 2 s. 56.

⁹ NJA 2009 s. 321 (HD den 10 juni 2009, mål nr T 3126-07, s. 7)

4.1.3 Tidigt samråd med länsstyrelsen

Länsstyrelsen har enligt balken givits en möjlighet att med utgångspunkt i det enskilda fallet bestämma inriktningen och omfattningen av redovisningen. Enligt balkens bestämmelser får länsstyrelsen inom ramen för samrådsförfarandet ställa krav på att även andra jämförbara sätt att nå samma syfte ska redovisas¹⁰.

I sitt beslut den 30 december 2002 avseende ett eventuellt djupförvar för använt kärnbränsle vid Forsmark gör Länsstyrelsen i Uppsala län följande bedömning:

utöver en redovisning och bedömning av realistiska alternativa metoder, för slutligt omhändertagande av det använda kärnbränslet som ett avfall, inom ramen för miljökonsekvensbeskrivningen har länsstyrelsen inte funnit att det föreligger skäl att ställa krav på en särskild redovisning av andra jämförbara sätt att nå samma syfte enligt 6 kap 7 § andra stycket miljöbalken när alternativa utformningar redovisas i miljökonsekvensbeskrivningen.

Som motiv till denna bedömning ser länsstyrelsen:

att möjligheten att nyttiggöra det använda kärnbränslet, som en resurs för produktion av elkraft, inte är realistisk med hänsyn till den svenska inställningen och lagstiftningen med avseende på kärnteknisk verksamhet.

Därmed kan enligt länsstyrelsens bedömning:

de krav, som behöver ställas på en bred alternativredovisning i miljökonsekvensbeskrivningen, utgå från bestämmelsen i 6 kap 7 § första stycket fjärde punkten miljöbalken, som bland annat föreskriver en redovisning av alternativa platser och alternativa utformningar.

Länsstyrelsens beslut hindrar dock inte att frågan om alternativa sätt aktualiseras hos domstolen, men då inom ramen för den materiella bedömningen av tillståndsansökningen.

4.1.4 Krav på alternativ under ett samrådsförfarande

Miljökonsekvensbeskrivningen ska i ett tidigare led föregås av ett samrådsförfarande mellan verksamhetsutövaren, myndigheter och enskilda¹¹. Samrådet ska utgöra en del i arbetet med miljökonse-

¹⁰ Jfr 6 kap. 4 och 5 §§ miljöbalken.

¹¹ Jfr 6 kap. 4 § miljöbalken.

kvensbeskrivningen, och det ska finnas en möjlighet för de olika intressenterna att påverka beskrivningens innehåll och utformning genom sina synpunkter¹². Samrådet ska komma in i ett så tidigt skede att även mer grundläggande förändringar av projektet är praktiskt möjliga.

Genom miljökonsekvensbeskrivningen sker det en offentlig redovisning av den inverkan som en planerad verksamhet kan få på miljön. Det ska därför kungöras, när en miljökonsekvensbeskrivning har upprättats i ett mål eller ärende, och beskrivningen ska hållas tillgänglig för allmänheten som ska få tillfälle att yttra sig innan målet eller ärendet prövas.¹³

HD har i en aktuell dom behandlat betydelsen av alternativredovisningen i miljökonsekvensbeskrivningen¹⁴. Målet gällde anläggningen av en damm. Domstolen kom i målet fram till att den i ansökan redovisade miljökonsekvensbeskrivningen, inte var godtagbar med hänsyn till att alternativa utformningar av dammen, som aktualiserats under samrådsprocessen, inte redovisats i miljökonsekvensbeskrivningen. Den aktuella ansökningen skulle således avvisas. En godtagbar miljökonsekvensutredning utgör en processförutsättning i ett ansökningsmål.

Av betydelse för den aktuella bedömningen var förhållandet att sökanden i sin miljökonsekvensbeskrivning inte hade redovisat några alternativ till huvuddammens utformning med deras inverkan på miljön, trots att det under samrådsprocessen pekats på andra möjligheter till utformning av dammen. Sökanden hade inte motiverat varför andra alternativ valts bort.

Sökanden gjorde visserligen gällande att det saknades alternativ i egentlig bemärkelse. Miljökonsekvensbeskrivningen gav enligt HD emellertid inte tillräckligt stöd för detta påstående.

Det är enligt HD viktigt att sökanden inte är obenägen att se alternativ till den lösning som sökanden själv förordar och att materialet utformas så att andra intressenter och ytterst den beslutande domstolen får underlag för en egen bedömning¹⁵. Ett minimikrav enligt HD är att sökanden redogör för olika möjligheter och motiverar varför ett alternativ inte har följts upp närmare och anger på vilken grund sökanden har kommit fram till att inga alternativ finns.

¹² Se prop. 1997/98:45 del 1 s. 286 f.

¹³ Jfr 6 kap. 8 § miljöbalken, jfr artikel 6.2 i 1985 års EG-direktiv i 1997 års lydelse.

¹⁴ NJA 2009 s. 321.

¹⁵ NJA 2009 s. 321 (HD den 10 juni 2009, mål nr T 3126-07, s. 7).

HD framhöll att det därmed inte är sagt att sökanden kan begränsa sin redovisning till sådana alternativ som framkommit under samrådsprocessen; ytterst är det sökanden som svarar för att beskrivningen innehåller alla de uppgifter som behövs.

4.1.5 Alternativ som förts fram under SKB:s samrådsförfarande

I en skrivelse till SKB den 1 december 2006 anförde dåvarande SKI att den miljökonsekvensbeskrivning som kommer att ingå i bolagets ansökan enligt lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet (kärntekniklagen) och enligt miljöbalken vid sidan om det valda huvudalternativet och nollalternativet även bör redovisa de alternativ som SKB har utrett inom ramen för sitt Fud-program enligt 12 § kärntekniklagen, samt motiven varför alternativen inte har utretts vidare. De alternativ som avses i det sammanhanget är bland andra en teknik med djupa borrhål samt transmutation.

Länsstyrelserna i Uppsala och Kalmar län har utvecklat en gemensam syn på de samråds- och MKB-frågor som ska ligga till grund för prövningarna av en inkapslingsanläggning och ett slutförvar. Länsstyrelserna anser att det är viktigt med en uttömmande redovisning av alternativ till KBS-3 metoden samt varför vissa alternativ anses gynnsamma och varför andra har valts bort¹⁶.

I ett yttrande till SKB redovisar Länsstyrelsen i Uppsala län sina principiella synpunkter på alternativredovisningen i en kommande miljökonsekvensbeskrivning¹⁷. Yttrandet lämnas i anslutning till SKB:s underlag för samråd om inkapslingsanläggningen och slutförvar för använt kärnbränsle¹⁸. Länsstyrelsen framhåller i yttrandet att alternativredovisningen i miljökonsekvensbeskrivningen bör beröra samtliga möjliga alternativa platser och utformningar, som är eller har varit föremål för överväganden vid SKB:s samråd eller forsknings- och utvecklingsarbete. En sådan översiktlig redovisning bör, enligt Länsstyrelsen, vara så omfattande att den möjliggör en samlad, jämförande bedömning av alternativens för- och nackdelar, med särskild hänsyn till effekter på människors hälsa och miljö samt hushållningen med naturresurser, mot bakgrund av de

¹⁶ Se rapport 2006:1 från Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM), s. 20 f.

¹⁷ Dnr 559-6890-06.

¹⁸ SKB 2006-05-11, referens MKB/2006/19.

grundläggande värderingar som framgår av 1 kap. 1 § miljöbalken. Alternativredovisningen bör, enligt Länsstyrelsens bedömning, även innehålla en analys av möjligheterna att minska avfallens mängd och farlighet (till exempel genom separation och transmutation), eftersom det skulle kunna minska risken för miljöpåverkan.

Miljörelsernas kärnavfallsgranskning, MKG, har framhållit att organisationen vill att SKB ska jämföra olika geologiska metoder, som djupa borrhål, med KBS-3 metoden. Även transmutation bör tas med i alternativredovisningen. När det gäller plats för slutförvaret anser MKG att alla platser som diskuterats under SKB:s förstudier ska tas med i redovisningen. Genomgången av platsvalet bör fokusera på miljöfrågorna. SKB bör därvid redovisa vilka miljömässiga bedömningar SKB gjort när vissa platser valts bort och hur ett slutförvar i inlandet förhåller sig till ett förvar vid kusten¹⁹.

Miljöförbundet Jordens vänner och Folkkampanjen mot kärnkraft, MILKAS, framhåller att man vill se ett alternativ som innebär att det radioaktiva materialet förvaras i torrt berg under några hundratals år för att därigenom kunna dra nytta av teknikutveckling, till exempel transmutation, som kan komma.²⁰

4.1.6 Sammanfattning

En godkänd miljökonsekvensbeskrivning utgör en processföretsättning för att en ansökan ska kunna prövas.

HD har i en dom från 2009 förklarat att en miljökonsekvensbeskrivning inte är godtagbar om de alternativa utformningar som aktualiserats under samrådsprocessen inte redovisats i miljökonsekvensbeskrivningen. Ett minimikrav enligt HD är att sökanden redogör för olika möjligheter och motiverar varför ett alternativ inte har följts upp närmare och anger på vilken grund sökanden har kommit fram till att inga alternativ finns.

De alternativ till den av SKB förordade KBS-3-metoden som förts fram under det tidiga samrådet gäller bland andra en teknik med djupa borrhål. Andra alternativ som framhållits är möjligheterna att minska avfallens mängd och farlighet, till exempel genom separation och transmutation.

¹⁹ Se rapport 2006:1 från Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM), s. 23 f.

²⁰ Se rapport 2006:1 från Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM), s. 24 f.

Om någon eller alla av dessa alternativ av SKB i en kommande ansökan bedöms som orealistiska eller av andra skäl ogenomförbara, bör SKB ge hållbara och relevanta skäl för denna bedömning.

4.2 Tekniska och naturvetenskapliga aspekter på alternativfrågan

Vid sidan av de rättsliga aspekterna är den vetenskapliga och tekniska utvecklingen av alternativa metoder av grundläggande betydelse i kärnavfallsfrågan. I Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud-program 1998²¹ behandlades olika strategier för hantering av högaktivt kärnavfall. I rådets kunskapslägesrapport 2007 behandlas dessa utförligt i ett särskilt kapitel.²² Sedan dess har nya kunskaper tillkommit främst vad gäller alternativen *djupa borrhål* (deponering i borrhål på 2–4 km djup i det svenska urberget), *ny reaktorteknologi* (nya möjligheter både för framtida kärnkraft och hur använt kärnbränsle kan omhändertas) och *transmutation* (omvandling av långlivade radioaktiva ämnen till mer kortlivade, genom neutronbestrålning).

4.2.1 Djupa borrhål

Metoden djupa borrhål innebär att avfallet innesluts i kapslar, som sedan sänks ner i borrhål till 2–4 km djup i det svenska urberget. Huvudmotivet för denna metod är att vattenomsättningen på detta djup är mycket begränsad och att det skulle ta så lång tid för grundvattnet att transportera upp radioaktiva ämnen från kapslarna att den farliga strålningen avklingat innan dessa ämnen når ut i biosfären.

Pågående forskning

I SKB:s Fud-program 2010 redovisar SKB sin uppfattning vad gäller djupa borrhål som ett alternativ till KBS-3 metoden: ”SKB:s bedömning från tidigare Fud-program kvarstår, det vill säga att

²¹ SOU 1999:97.

²² SOU 2007:38, kap. 3.

deponering i djupa borrhål inte är en realistisk metod för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle.”

I samband med att ansökan för KBS-3 metoden lämnas in 2011, utlovas en rapport som redovisar en jämförelse mellan KBS-3-metoden och deponering i djupa borrhål.

Fud-programmet 2010 redovisar tre nya rapporter vad gäller djupa borrhål. Från Storbritannien redovisas två rapporter²³ där positiva bedömningar görs av möjligheterna att göra borrhål ner till de djup (över 3 000 meter) och med de diametrar (över 500 millimeter) som erfordras. I rapporterna diskuteras också problem med fodring och förslutning av borrhålen. ”Den övergripande slutsatsen i studien är att konceptet djupa borrhål för Storbritanniens del, under vissa förutsättningar, kan ha trovärdighet, men att ett stort utvecklingsarbete skulle krävas, både vad gäller borrhållsteknik och teknik för deponering.” (I en rapport från Kanada²⁴ pekas likaså på den omfattande forskning som kommer att behövas för att kunna göra en jämförelse mellan djupa borrhål och KBS-3 metoden.) Den tredje rapporten kommer från USA²⁵ och i den görs en positiv bedömning av djupa borrhål som en metod för säker långtidsförvaring. I rapporten rekommenderas att fullskaliga försök görs för att de kunskaper som erfordras för en fullständig säkerhetsanalys ska kunna inhämtas.

Sammanfattning

Under 2009 har även en svensk sammanfattning av kunskapsläget skrivits.²⁶ I denna text pekas på FoU insatser inom tre områden där kompletterande kunskapsinhämtning behövs för att kunna utvärdera om djupa borrhål (DB) är ett alternativ till KBS-metoden. Man behöver:

- påvisa att metodens fysiska förutsättningar föreligger inom landet.
- uppgradera kunskapen om grundvattnets densitetsskiktning så att det åtminstone finns en relevant hydrogeologisk modell av normal svensk berggrund ned till 5 km djup.

²³ Beswick 2008 och Baldwin, Chapman & Neall 2008.

²⁴ Jackson & Dormuth, 2008.

²⁵ Brady et al. 2009.

²⁶ Åhäll 2009.

- uppgradera kunskapen om borrh- och deponeringsteknik samt om förvarets funktion över tid, så att man kan göra de allsidiga och säkerhetsrelaterade jämförelser som är alternativredovisningens mål och mening.

Dessa rapporter visar att andra aktörer ser djupa borrhåll som ett möjligt alternativ för slutförvar av använt kärnbränsle, och att endast fördjupad forskning kan avgöra om denna metod kan uppfylla de högt ställda säkerhetskraven som gäller för ett slutförvar. Det är därför väsentligt att SKB klargör i sin ansökan varför de ser djupa borrhåll som en ”inte realistisk metod för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle.”

Den dramatiska gruvolyckan i Chile i augusti 2010, och den räddningsaktion som lyckosamt genomfördes, pekar på att avancerad teknik finns tillgänglig. De 33 gruvarbetarna kunde räddas genom ett 702 meter djupt borrhål med 66 centimeters diameter.

Svensk forskning på området kan också förväntas bidra till teknikutvecklingen. Swedish Deep Drilling Project, SDDP, bildades våren 2007 och involverar i dag sex vetenskapliga projekt med cirka 40 svenska och lika många utländska forskare. Vetenskapsrådet (VR) har tidigare gett projektet planeringsanslag men har nu beviljat medel för inköp av en borrhigg. Förutsatt att SDDP:s arbetsgrupp får det ekonomiska stöd som behövs, kommer ett första djupt borrhål i ”svensk” berggrund förverkligas under 2011 eller 2012²⁷.

4.2.2 Ny reaktorteknologi – betydelse för återtag och förvar av använt kärnbränsle

Under senare år har vi kunnat se ökande satsningar på forskning kring reaktorteknik och kring kärnbränslecykeln i världen, EU och Sverige. Denna forskning öppnar nya möjligheter både för framtida kärnkraft och för hur använt kärnbränsle bäst kan omhändertas. Inom en relativt nära framtid kommer viktiga beslut att tas i många länder om kärnkraftens framtid, och om man väljer fortsatt kärnkraft måste man också välja typ av reaktorer och bränsle för dessa. Detta får i sin tur mer eller mindre långtgående konsekvenser för hur ett förvar av använt kärnbränsle utformas på bästa sätt.

²⁷ http://www.sddp.se/sites/default/files/SDDP_ScienceTechnologyPlan_2010-print.pdf

Utvecklingen på reaktorområdet hänger intimt samman med frågan om utveckling av metoder för separation och transmutation, ett sätt att behandla avfallet för att reducera radiotoxicitet och volym. På ett övergripande plan är därför dessa frågor förknippade med frågan om återtagbarhet av det använda kärnbränslet.

Nedan ges en mycket kortfattad redogörelse för vilken betydelse den framtida utvecklingen på reaktorområdet kan få för utformningen av det svenska förvaret av använt kärnbränsle²⁸.

Ny reaktorteknologi

Pågående forskning inom reaktorteknikområdet förväntas leda till kärnreaktorer som baseras på andra principer än dagens traditionella lättvattenreaktorer (LWR). Olika alternativa principer för kärnbränslecykeln i dessa så kallade Generation IV reaktorer kan tänkas. I en nyligen publicerad rapport från Massachusetts Institute of Technology²⁹ rekommenderas att man håller dessa olika alternativ öppna i avvaktan på en metod för hantering och deponering av använt kärnbränsle från lättvattenreaktorer.

Gemensamt för de olika alternativa Generation IV reaktorerna är att en avsevärt större energimängd, upp till 50 gånger, kan utvinas ur samma mängd bränsle. Med dagens reaktorteknik utgör emellertid kostnaden för uran endast en mycket liten andel av den totala kostnaden för den producerade elektriciteten och de ekonomiska incitamenten för att hushålla med uran, som en begränsad naturresurs, saknas i närtid. Av denna anledning görs bedömningen att lättvattenreaktorer troligtvis kommer att vara det primära valet av kärnreaktor under innevarande århundrade. I ett perspektiv på cirka 100 år kan dock kostnaden för uran bli en stark drivkraft för att införa Generation IV reaktorteknologi i en mer omfattande kommersiell drift. En annan drivkraft kan uppstå om man finner att denna teknik gör det möjligt att avsevärt öka säkerheten, sett till hela kedjan från framställning av bränsle till förvar av det använda bränslet.

En Generation IV reaktor kan drivas med använt bränsle från lättvattenreaktorer, med någon form av upparbetning. Om detta är

²⁸ Energiproduktion med fusionskraft eller med reaktorer som utnyttjar torium som bränsle i stället för uran är också två typer av eventuell framtida teknik för kärnenergiproduktion, som inte beaktas i denna rapport men som därför inte heller bör glömmas bort då tiden är mogen.

²⁹ MIT Interdisciplinary study, The Future of the Nuclear Fuel Cycle, 2010.

en ekonomiskt bärkraftig metod jämfört med att nyttja bränsle framställt från nybrutet uran, kommer det använda bränslet från lättvattenreaktorer att utgöra en ekonomisk resurs.

Avfallet från Generation IV reaktorer

Det producerade avfallet från Generation IV reaktorer kommer till sin sammansättning att skilja sig avsevärt från det som erhålls från lättvattenreaktorer. Sammansättningen kommer också att vara beroende på vilken variant av reaktor som använts, vilket också är en av de faktorer som bör beaktas i utvärderingen. Allmänt sett så gäller dock att det mer effektiva utnyttjandet av bränslet i Generation IV reaktorer, bland annat innebär att avfallsvolymen reduceras avsevärt. Andelen radionuklider med mycket lång halveringstid är också betydligt lägre, varför kravet på långsiktig hållbarhet inte blir detsamma. Eventuellt kan den långsiktiga säkerheten ytterligare förstärkas genom att den mindre mängd långlivade fissionprodukter som man förväntar finna i avfallet, separeras från resten av avfallet. För att bättre klarlägga de radiologiska riskerna på kort sikt från detta avfall behöver man avvakta ytterligare forskning kring de möjliga kärnbränslecyklerna.

Det använda bränslet från Generation IV reaktorerna utgör i sig inte en potentiell resurs, eftersom man inte kan räkna med att det är möjligt att i någon signifikant utsträckning utvinna ytterligare energi från det. Då också volymen är förhållandevis liten skulle det därför lämpa sig väl för slutförvar i ett djupt borrhål.

Det är värt att påpeka att även om Generation IV reaktorerna blir verklighet kommer behovet av ett förvar för avfall från dagens lättvattenreaktorer att kvarstå.

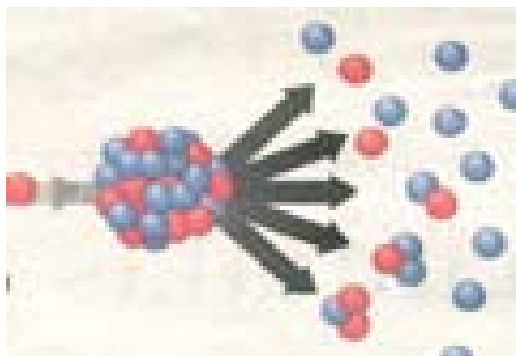
4.2.3 Transmutation

Begreppet transmutation innebär att man omvandlar ett grundämne till ett annat, alternativt en isotop av ett grundämne till en annan isotop. Detta är något som människan utan framgång strävat efter i hundratals år, för att framställa guld från bly. Syftet nu är att omvandla radioaktiva isotoper med lång halveringstid till sådana med kortare halveringstid eller till stabila ämnen. I Kärnavfallsrådets kunskapslägesrapport från 2004 redogörs utförligt för prin-

ciperna och olika metoder för transmutation och separation³⁰. I föreliggande rapport redogörs därför endast kortfattat för metoden, samt för det aktuella forskningsläget.

Ett grundämne definieras av antalet protoner i atomkärnan; olika isotoper av grundämnet har olika antal neutroner i kärnan. För att omvandla ämnet behöver man därför igångsätta en kärnreaktion vilket förändrar antalet protoner och/eller neutroner i kärnan. En metod att åstadkomma detta är att bestråla ämnet med partiklar, till exempel neutroner eller protoner. Med tillräckligt hög energi på partiklarna, kan man slå sönder de tunga atomkärnorna till flera mindre fragment, så kallad spallation. Man använder sig då ofta av joner som är tyngre än protoner. Härigenom splittrar man dessa tunga kärnor av transuraner till mindre. De lättare atomkärnor, som man får som ett resultat av spallationen (kärnsplittringsprocessen), är normalt relativt kortlivade radioaktiva isotoper eller stabila ämnen (se figur 3.1). Det är denna metod man vanligtvis avser med ”accelerator driven transmutation”, eller ”accelerator driven spallation” (ADS). Ett annat sätt är att bestråla bränslet med neutroner i en kärnreaktor. För att detta ska fungera krävs dock en reaktor där energin på neutroner är högre än i en konventionell reaktor. Av den anledningen kyles man en sådan reaktor med flytande metaller eller gas, till exempel helium, eftersom vatten som vanligtvis används för kylning är ett effektivt ämne för att bromsa in neutroner.

Figur 4.1 Schematisk beskrivning av spallation (kärnsplittringsprocessen). När protoner (röda klot) med hög hastighet från acceleratorn kolliderar med bly- och vismutatomer i centrum av den underkritiska reaktorn, splittras atomkärnan i flera fragment och ett stort antal neutroner (blåa klot) frigörs.



³⁰ KLR 2004 kapitel 8.

Transmutation genom bestrålning måste föregås av en kemisk eller mekanisk separation av de olika ämnena i det använda bränslet.

De använda bränslestavarna består till allra största delen av kvarvarande uran, med ^{238}U som helt dominerande isotop. Dessutom återfinns man tunga grundämnen, så kallade transuraner (aktinider), som bildats vid neutronbestrålning av bränslet, tillsammans med stabila och radioaktiva fissionsprodukter (det vill säga resterna av kärnklyvningen) (se figur 3.2.). Fissionsprodukterna har i allmänhet halveringstider på mindre än 100 år, med bland annat två viktiga undantag ^{129}I och $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Flera av transuranerna har däremot långa halveringstider, i storleksordningar på tusen till miljoner år.

Figur 4.2 Schematisk beskrivning av klyvningsprocessen (fission). En neutron infångas av en uranatom, som exciteras och klyvs (fissionerar) i två delar (klyvningsprodukter). Samtidigt avges ett antal neutroner.



Pågående forskning

I likhet med forskning om ny kärnteknik pågår forskning om transmutation och separation i såväl Sverige (KTH, Chalmers och Uppsala universitet) som inom sjunde ramprogrammet inom EU. Även Japan och Ryssland har pågående forskningsprogram och i USA börjar forskningen inom området nu återigen att ta fart efter ett längre uppehåll. (USA har hela tiden haft forskning om fjärde generationens reaktorer, till exempel Idaho Falls VHTR). Vetenskapsrådet har nyligen satsat ett större belopp på forskning kring ny kärnteknik och fjärde generationens reaktorer. Här ingår

forskning i syfte att ta fram metoder som är användbara i industriell skala för separation och transmutation, och arbetet med detta i Sverige går nu in i ett intensivare skede. Det är värt att notera att i och med detta statliga bidrag är inte längre SKB största bidragsgivare till denna typ av forskning i Sverige.

EUROTRANS är ett projekt som pågått inom EU:s femte och sjätte ramprogram. Syftet har varit att studera hur anläggningar för accelerator driven transmutation skulle kunna utformas. Två koncept för sådana anläggningar har skisserats upp och deras konstruktion och funktion detaljstuderats:

- XT-ADS visar principerna för hur en accelerator driven transmutationsanläggning skulle kunna fungera. Den är dock tänkt att utnyttjas snarare för forskning inom området än för industriell användning.
- EFIT (European Facility for Industrial Transmutation), en konstruktion för en anläggning som skulle kunna nyttjas för transmutation i industriell skala.

Inom sjunde ramprogrammet har man valt att även integrera transmutationsforskning med forskning kring utveckling av Generation IV reaktorer, där energi kan utvinnas ur avfallet. Man har skapat en plattform SNETP (Sustainable Nuclear Energy Technology Platform), för att samla olika aktörer och intressenter. Kärnkraftsindustrin, forskningsinstitutioner, universitet och andra har här möjligheter att identifiera och framföra behov av forskningsinsatser. En av de främsta uppgifterna är utvecklingen av fjärde generationens reaktorer, med snabba neutroner, således direkt kopplat till utveckling av metoder för transmutation och separation. Till detta kommer också ett flertal andra projekt, bland annat grundforskning för att ta fram kärnfysikaliska och tekniska data som kan ligga till grund för den fortsatta utvecklingen på området (ANDES³¹) och för att utveckla kemiska processer för separation (ACSEPT³²).

³¹ Accurate Nuclear Data for nuclear Energy Sustainability.

³² Actinide reCycling by SEparation and Transmutation.

Återtag

Frågan om transmutation är intimt förknippad med frågan om möjligheten till återtag. Eftersom separation av de olika ingående komponenterna i avfallet är ett nödvändigt inslag i transmutationsprocessen, är denna också förknippad med frågan om upparbetning av det använda kärnbränslet. Tekniker liknande den vid transmutation av avfallet kan också komma att vara en förutsättning för framställning av bränsle till fjärde generationens kärnreaktorer.

Om man antar att transmutation någon gång i framtiden kommer att utvecklas till en fungerande teknisk metod för att användas i industriell skala, samtidigt som reaktortekniken utvecklas så att den effektivare kan utnyttja den energi som teoretiskt går att utnyttja ur bränslet, skulle avfallet som finns lagrat från dagens reaktorer kunna användas som bränsle, och dessutom skulle man kunna omvandla det till ämnen med betydligt kortare halveringstider och en lägre radiotoxicitet. Ett sådant scenario förutsätter att det är tekniskt möjligt och ekonomiskt rimligt att återta avfallet för vidare bearbetning. Härigenom kommer frågan om hur man bedömer de framtida möjligheterna och sannolikheten för att denna teknik kommer till användning att ha bäring på diskussionen om hur avfallet ska förvaras. Intresset för att göra detta skulle bero på bland annat den framtida tillgången till naturligt uran ur gruvor. Idealiskt sett skulle man kunna reducera den nödvändiga förvaringstiden för avfallet till 500–1000 år, samtidigt som radiotoxiciteten reduceras med en faktor 100.

4.2.4 Sammanfattning

Den traditionella typen av kärnreaktorer, som utnyttjar vanligt vatten för kylning, kommer med all sannolikhet att dominera energiproduktionen från kärnkraften under de närmaste 50–100 åren. Teknikutvecklingen på reaktor- och kärnbränsleområdet kommer att vara av avgörande betydelse för om avfallet från dagens och den närmaste framtidens reaktorer kan betraktas som en resurs för framtida generationer eller inte. Möjligheterna och fördelarna med att använda denna resurs måste då vägas mot de olika typer av risker detta innebär för nuvarande och framtida generationer.

Transmutation och separation eliminerar inte behovet av geologiskt slutförvar, men kraven på den tekniska barriären kommer att

minska, liksom volymen av avfallet. Det kommer inte heller att finnas några ekonomiska incitament att efter transmutation eller ”förbränning” i en Generation IV reaktor återta avfallet. Däremot tillkommer låg- och medelaktivt avfall från transmutations- och separationsprocesserna, och dessa avfallsvolymer kan komma att öka vilket gör att det krävs större utrymme i dessa förvar.

Kärnavfallsrådets slutsats när det gäller transmutation kan formuleras med hänvisning till EURATOM, som tillsammans med Europeiska kommissionen har sammanfattat transmutationsfrågan på följande sätt:

- Att använda kärnbränslet endast en gång förefaller inte vara ett uthålligt resursutnyttjande.
- Separation krävs för att reducera volymen och radiotoxiciteten på det avfall som behöver lagras.
- Transmutation identifieras som ett sätt att reducera avfallets totala halveringstid och följaktligen den nödvändiga lagringstiden till några hundra år.³³

Pågående forskning om transmutation kan, än så länge, betraktas som i sin linda. Även om man förutsätter framgång i denna forskning, är det orealistiskt att förvänta sig att storskaliga industriella anläggningar för ändamålet kommer att kunna byggas tidigare än om 25–30 år. Det är också viktigt att betona att denna komplicerade teknik, med relativt höga investeringskostnader, kräver att utvecklingen kan ske inom ramen för ett europeiskt samarbete. För att Sverige ska kunna tillgodogöra sig de landvinningar som görs inom detta område krävs att vi deltar i de olika forskningsprogrammen. En nationell anläggning för Sverige ter sig i dag som ett orealistiskt alternativ.

4.3 Samhällsvetenskapliga bidrag till belysningen av alternativfrågan

Kärnavfallsrådet har regelbundet återkommit till frågan om den samhällsvetenskapliga forskningens relevans för kärnavfallsfrågan.

³³ Bhatnagar 2008.

2007 publicerades en rapport, där SKB:s samhällsforskningsprogram och annan fristående forskning på området inventerades³⁴.

Forskningsläget sammanfattades på följande sätt:

Den samhällsvetenskapliga forskningen i fråga om kärnavfall är i dag till övervägande delen finansierad av sektorns egna aktörer, främst SKB, men i viss mån även SSI och SKI. Endast ett forskningsprojekt med stiftelsefinansiering och ett projekt med EU finansiering har identifierats (dessa medel handhas dessutom av samma forskare). SKB:s samhällsforskningsprogram har av naturliga skäl karaktären av tillämpad forskning, med fokus på lokaliseringsproblematiken, dock med en inbördes bredd. Inkluderat det forskningsprojekt som startats upp under 2006, kan frågor som berör lokala beslutsprocesser, lokala socioekonomiska faktorer och attityder och uppfattningar kring kärnavfall i bred mening, sägas vara en prioriterad fråga, även om internationella perspektiv inkluderas i forskningsprogrammet. Samtidigt kan konstateras att denna forskning inte berört frågor som problematiserar kärnavfallsfrågan i ett vidare nationellt demokratiskt och ekonomiskpolitiskt sammanhang. Exempelvis kopplas inte frågan samman med kärnkraftens till synes osäkra framtid i Sverige och den övergripande miljö- och energipolitiken. Även forskningen utanför den sektorsinitierade har i stor utsträckning fokuserat på processer på den lokala nivån, dock med ett mer tydligt fokus på aktörernas roller och strategier. Emellertid saknas här forskning som lyfter frågan till ett nationellt sammanhang, exempelvis inbegripet etiska, miljörättsliga, miljöpolitiska och energipolitiska problematiseringar.³⁵

SKB:s samhällsforskningsprogram efter 2007 har utvecklats och breddats. Man kan bland annat notera Per Cramérs rättsvetenskapliga undersökning om "Ansvarstagande i kärnbränslecykelns slutsteg", Magnus Frostenssons projekt "Slutförvarets industriella organisering" och Sven Ove Hanssons projekt om "Etiska och filosofiska perspektiv på kärnavfallsfrågan". Samhällsvetenskapliga aspekter på alternativfrågan har dock inte fått någon uppmärksamhet (även om frågan tangeras i Arne Kaijers projekt "Resurs eller avfall? Internationella beslutsprocesser kring använt kärnbränsle").

I detta sammanhang vill vi framförallt koncentrera oss på bristen på samhällsvetenskaplig och humanistisk forskning *om de allmänna samhälleliga och kulturella villkoren för behandling av alternativfrågan*. Det finns i stort sett ingen forskning, som belyser denna fråga³⁶. Och detta trots att det inte saknas relevant samhälls-

³⁴ KASAM Rapport 2007:5.

³⁵ KASAM Rapport 2007:5, s. 40.

³⁶ Förutsättningarna för en bred hantering av alternativ i planeringsprocessen för slutförvar av kärnbränsle hanteras dock i forskningsprojektet "Communities of practice – the Swedish case of final disposal of spent nuclear fuel" (Tuija Hilding-Rydevik och Antoinette

vetenskaplig teoribildning om samspelet mellan vetenskap och samhälle. Vi vill i detta sammanhang antyda hur en sådan teoribildning skulle kunna kasta ett betydelsefullt ljus över alternativfrågan.

4.3.1 En teoretisk bakgrund

I *Re-thinking Science. Knowledge and the Public in an Age of Uncertainty* (2001) framlägger Helga Nowotny, Peter Scott and Michael Gibbons en teori om ett intensifierat samspel mellan forskare och olika samhällsinstitutioner. Tidigare talade forskarna till samhället – och samhället lyssnade. I dag svarar samhället med krav på relevans och tillämpbarhet. En ny form av omgivningsberoende forskning håller på att växa fram.

One important change is the erosion of the collectivist belief-systems that characterize the science system and generate the norms which bind it together. The result is less 'segregation' from, and more 'integration' with, society. -Scientists now share their once exclusive systems for communicating information with these 'outsiders'. One way of putting it is to say that the rising tide of individualism in society now has reached collectivist scientific communities.³⁷

Det finns många positiva konsekvenser av denna utveckling. Politiska och ekonomiska institutioner efterfrågar en evidensbaserad forskning för sin verksamhet och därmed kan beslutsunderlagets kvalitet förbättras. Samtidigt blir forskningen alltmer beroende av de begränsningar som utmärker den politiska och ekonomiska utvecklingen. Perspektiven begränsas och den vetenskapliga metodens problematisering uppfattas som mindre betydelsefull och kanske till och med som en "störningsfaktor".

Nowotnys och andras teorier är naturligtvis inte oemotsagda, men det finns ändå anledning att påminna om dess relevans för kärnavfallsfrågan i allmänhet och alternativfrågan i synnerhet. Har politiska och ekonomiska intressen begränsat perspektiven och lämnat vissa alternativa metoder för hanteringen av det använda kärnbränslet obeaktade? Har fördelarna med planeringsförutsätt-

Wärnbäck, Sveriges lantbruksuniversitet, finansierat av Formas). Naturvårdsverket har också givit Tuija Hilding-Rydevik och Lars Emmelin i uppdrag att göra en förstudie om hur alternativkravet i miljöbalkens MKB-krav hanteras och om det finns stora problem i denna hantering (avslutas årsskiftet 2010/2011).

³⁷ Nowotny et al. 2001, pp. 102 ff.

ningen – KBS 3 metoden – blivit accentuerade och nackdelarna inte tillräckligt belysta?

4.3.2 Perspektivbegränsning i kärnavfallsfrågan?

I Kärnavfallsrådets kunskapslägesrapport 2007:38 framhölls den så kallade AKA-utredningens³⁸ betydelse för den efterföljande utvecklingen på kärnavfallsområdet³⁹. KBS 1 metoden, som utvecklades i slutet av 1970-talet, byggde på ett geologiskt flerbarriärsystem som sedan vidareutvecklats av SKB till den så kallade KBS-3-metoden. Enligt ett regeringsbeslut 2001 skulle denna metod utgöra en planeringsförutsättning för de kommande platsundersökningarna. KBS 3-metoden innebär en geologisk direktdeponering av korrosionsbeständiga kopparkapslar, omgivna av bentonitlera på cirka 500 meters djup i stabilt svenskt urberg.

Geologisk direktdeponering har också blivit ett huvudalternativ i många andra länder. (Finland har exempelvis valt KBS-3-metoden med en inneslutning av det högaktiva avfallet i insatser av järn omslutna av koppar.) De svenska myndigheternas föreskrifter är också tydligt utformade med hänsyn till KBS-3-metoden.

Från samhällsvetenskaplig utgångspunkt finns det anledning att ställa sig frågan huruvida politiska instanser, myndigheter och industri i alltför hög grad bildat en intressegemenskap kring KBS-3-metoden, vilken begränsat forsknings- och teknikutvecklingen i relation till alternativa metoder.

Kärnavfallsrådet har ett särskilt ansvar att motverka en perspektivbegränsning i kärnavfallsfrågan och påtala de brister i det tekniska och vetenskapliga underlaget som en sådan begränsning kan medföra. Därtill kommer den begränsning som SKB:s dominans inom kärnavfallsforskningen kan medföra. Frågan om hur SKB:s forskning upphandlats, publicerats och kritiskt analyseras blir av central betydelse. I fokus kommer också frågan om regeringen och myndigheterna i tillräcklig utsträckning uppmärksammat behovet av samhällsvetenskaplig forskning. Har regeringen forskningsproposition, myndigheternas regleringsbrev och föreskrifterna för kärnavfallsfonden i tillräckligt stor utsträckning uppmärksammat samhällsvetenskapliga perspektiv?

³⁸ *Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall*, SOU 1976:30, 31 och 41.

³⁹ SOU 2007:38, s. 20 och 37.

Kärnavfallsrådet har i olika sammanhang påtalat behovet av fristående kärnavfallsforskning bland annat på det samhällsvetenskapliga området.⁴⁰ Det är i detta sammanhang intressant att notera att SKB nyligen också uppmärksammat det samma.

Man skulle kunna hävda – som en del debattörer gjort – att kärnavfallsfrågan är av särskild nationell betydelse och därför bör studeras med medel av från industrin fristående instanser. Man kan ställa frågan varför statliga forskningsråd och myndigheter inte skapat egna större program för att finansiera forskningsprojekt på ett så viktigt område som kärnavfallens sociala och samhällsliga dimensioner. Sådana program skulle ha kunnat fungera som komplement till den forskningsverksamhet som SKB tagit initiativ till. Så har emellertid inte skett. Inte heller i regeringens aktuella forskningsproposition har området lyfts fram som särskilt väsentligt att satsa på. Därför har det blivit så att en stor del av den samhällsvetenskapliga och humanistiska kunskap som i dag finns om kärnavfallsfrågan i Sverige har tagits fram inom SKB:s samhällsforskningsprogram. Vi konstaterar att utan SKB:s finansiering hade större delen av forskningen inte genomförts⁴¹.

SKB:s beredningsgrupp anser vidare att de kunskaper som tillförts kärnavfallsfrågan genom dess samhällsforskningsprogram är tillförlitliga. Man framhåller att forskningsverksamheten på SKB utförs på universitet, högskolor och forskningsinstitut både inom och utanför Sverige, och att den håller hög kvalitet och bedrivs med hög vetenskaplig integritet. Med den insyn Kärnavfallsrådet beretts i programmet, finns det ingen grund att ifrågasätta detta påstående. Det hindrar dock inte att det kritiskt-samhällsvetenskapliga perspektivet på till exempel alternativfrågan kunde fått större uppmärksamhet. Redan 2007 framhöll Kärnavfallsrådet att det är oklart i vilken utsträckning som det samhällsvetenskapliga forskningsprogrammet är relaterat till befintliga kunskapsluckor. Denna oklarhet kvarstår.

Ovanstående resonemang förtydligar och exemplifierar behovet av forskning som belyser förutsättningarna för planering och beslutsfattande, bland annat när det gäller alternativhantering, för verksamheter av slutförvarsfrågans karaktär. Än en gång vill Kärnavfallsrådet uppmärksamma behovet av kritiskt reflekterande samhällsvetenskaplig kärnavfallsforskning.

⁴⁰ Se t.ex. Kunskapslägesrapporten 2007 (SOU 2007:38, s. 74).

⁴¹ Samhällsforskning 2004–2009. Teman, resultat och reflektioner. SKB. 2010, s. 8.

4.3.3 Sammanfattning

Olika sociala, politiska och ekonomiska processer kan ha medfört en perspektivbegränsning till nackdel för alternativa metoder. Även om SKB:s samhällsforskningsprogram tillfört området viktiga kunskaper, saknas i stort sett samhällsvetenskaplig och kritiskt reflekterande forskning som belyser slutförvarsfrågan, till exempel när det gäller förutsättningarna för planering och beslutsfattande, bland annat när det gäller alternativhantering.

4.4 Kärnavfallsrådets ställningstaganden

De rättsliga, politiska, ekonomiska och demokratiska förutsättningarna att få fram och värdera olika alternativ till slutförvar av utbränt kärnbränsle är av fundamental betydelse för ett tillförlitligt beslutsunderlag, som möjliggör en säker och socialt legitim lösning på slutförvarsfrågan. Rättsutvecklingen ger vid handen att kraven på alternativ redovisning i miljökonsekvensbeskrivningen har aktualiserats, framhävts och förtydligats i olika aktuella rättsfall. Detta har sannolikt konsekvenser för kraven på miljökonsekvensbeskrivningens innehåll i SKB:s ansökan och den rättsliga bedömningen av denna och av ansökan.

Tekniskt och vetenskapligt har vissa landvinningar gjorts när det gäller djupa borrhål och transmutation. Det finns dock i dag ingen metod som kan mäta sig med KBS-3 när det gäller genomarbetning och utvecklad kunskapsbas. Olika sociala, politiska och ekonomiska processer kan ha medfört en perspektivbegränsning till nackdel för alternativa metoder. Det saknas i stort samhällsvetenskaplig och kritisk reflekterande forskning som belyser slutförvarsfrågan, till exempel när det gäller förutsättningarna för planering och beslutsfattande, bland annat när det gäller alternativhantering.

Frågan om hur alternativ tas fram, accepteras, legitimeras, värderas med mera, kopplar såväl till tekniska som sociala och kulturella aspekter. Frågan om alternativ i planering och beslutsfattande om slutförvar av kärnbränsle visar tydligt på behovet av såväl teknisk som samhällsvetenskaplig forskning oberoende av verksamhetsutövarens direkta behov.

Kärnavfallsrådet anser:

- att rättsutvecklingen talar för att en större vikt måste fästas vid alternativredovisningen i kärnavfallsfrågan.

- att SKB i sin slutliga ansökan om uppförande av en slutförvarsanläggning för använt kärnbränsle tydligt bör redovisa och motivera sina ställningstaganden vad gäller konceptet djupa borrhål.
- att teknikutvecklingen på reaktor- och kärnbränsleområdet kommer att vara av avgörande betydelse för om det avfall som genereras i dagens och den närmaste framtidens reaktorer kan betraktas som en resurs för framtida generationer eller inte. Transmutation och separation eliminerar inte behovet av geologiskt slutförvar, men kraven på de tekniska barriärerna kommer att minska, liksom volymen av avfallet. Däremot tillkommer låg- och medelaktivt avfall från transmutations- och separationsprocesserna, och dess avfallsvolymer kan komma att öka, vilket gör att det krävs större utrymme i dess förvar.
- att om någon eller alla av alternativen till KBS 3-metoden av SKB i en kommande ansökan bedöms som orealistiska eller av andra skäl ogenomförbara, bör SKB ge hållbara och relevanta skäl för denna bedömning.
- att det är angeläget att resurser tillskapas för att stimulera en samhällsvetenskaplig och kritiskt reflekterande forskning om kärnavfallsfrågan och villkoren för planerings- och beslutsfattande.

Referenser

- AKA-utredningen. Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall. Betänkande från AKA-utredningen. SOU 1976:41.
- Baldwin T, Chapman N, Neall F, 2008. Geological Disposal Options for High-Level Waste and Spent Fuel. Report for the UK Nuclear Decommissioning Authority.
- Aneheim, E., Ekberg, C., Fermvik, A., Foreman, M, Löfström-Engdahl, E., Retegan, T., Skarnemark, G., Špendlíková, I. *Partitioning and transmutation Annual report 2009* SKB Rapport R10-07.
- Bhatnagar V.P., Van Goethem G.,; *EU strategy in partitioning and transmutation and its implementation within the EURATOM framework programmes*. In: Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation, Tenth OECD Nuclear Energy Agency Information Exchange Meeting in Mito, Japan 2008, p. 43–51, NEA No. 6420, ISBN 978-92-64-99097-5 (2010).
- Jan Blomgren (ed.) *Partitioning and transmutation Current developments – 2010 A report from the Swedish reference group for P&T-research*. SKB Rapport TR-10-35.
- Brady P, Arnold B, Freeze G, Swift P, Bauer S, Kanney J, Rechar R, Stein J, 2009. Deep Borehole Disposal of High-Level Radioactive Waste. SAND2009-4401, Sandia National Laboratories.
- Beswick J, 2008. Status of technology for deep borehole disposal. EPS International Contract No NP 01185. Report for the UK Nuclear Decommissioning Authority.
- Hilding-Rydevik, T and Wärnbäck, Antoinette (2010) /ref artikel/
Hilding-Rydevik, T och Emmelin, L (2010) /ref rapportmanus/
- Jackson D, Dormuth K, 2008. Watching Brief on Reprocessing, Partitioning and Transmutation and Alternative Waste Management Technology – Annual Report 2008. NWMO TR-2008-22, Nuclear Waste Management Organization.
- KASAM. *Transmutation – ett alternativ till slutförvaring. En uppmärksam fråga*. I Kunskapslägesrapport 2004, s. 323–384. SOU 2004:67.
- Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2007.
- MIT Nuclear Fuel Cycle Study Advisory Committee. *The future of the nuclear fuel cycle – An interdisciplinary MIT study* (2010).

- Report, Massachusetts Institute of Technology, ISBN 978-0-9828008-1-2.
- Nowotny, Helga, Peter Scott & Michael Gibbons, 2001. *Re-thinking Science. Knowledge and the Public in an Age of Uncertainty*. Cambridge: Polity Press.
- Nuclear Energy Agency: *Physics and Safety of Transmutation Systems. A Status Report*. NEA No. 6090, ISBN 92-64-01082-3 (2006).
- Werkander, J. *Transmutation – En genomgång av teknik och forskning i anslutning till upparbetning, separation, och transmutation av använt kärnbränsle*. Uppsala universitet, System i teknik och samhälle, projektrapport 2008.
- Åhäll K I 2009. ”Brister i redovisningen av djupa borrhål som alternativmetod inför MKB-prövningen av ett svenskt slutförvar 27 mars 2009”. Rapport till Kärnavfallsrådet.
- http://www.sddp.se/sites/default/files/SDDP_ScienceTechnologyPlan_2010-print.pdf

Statens offentliga utredningar 2011

Kronologisk förteckning

1. Svart på vitt – om jämställdhet i akademien.
U.
2. Välfärdsstaten i arbete. Inkomsttrygghet och omfördelning med incitament till arbete. Fi.
3. Sanktionsavgifter på trygghetsområdet. S.
4. Genomförande av EU:s regelverk om inre vattenvägar i svensk rätt. N.
5. Bemanningsdirektivets genomförande i Sverige. A.
6. Missbruket, Kunskapen, Vården.
Missbruksutredningens forskningsbilaga.
S.
7. Transporter av frihetsberövade. Ju.
8. Den framtida gymnasiesärskolan
– en likvärdig utbildning för ungdomar
med utvecklingsstörning. U.
9. Barnen som samhället svek.
Åtgärder med anledning av övergrepp och
allvarliga försummelse i samhällsvården.
S.
10. Antidopning Sverige.
En ny väg för arbetet mot dopning. Ku.
11. Långtidsutredningen 2011. Huvud-
betänkande. Fi.
12. Medfinansiering av transportinfrastruktur
– utvärdering av förhandlingsarbetet
jämfört överväganden om brukaravgifter
och lånevillkor. N.
13. Uppföljning av signalspaningslagen. Fö.
14. Kunskapsläget på kärnavfalls-
området 2011 – geologin, barriärerna,
alternativen. M.

Statens offentliga utredningar 2011

Systematisk förteckning

Justitiedepartementet

Transporter av frihetsberövade. [7]

Försvarsdepartementet

Uppföljning av signalspaningslagen. [13]

Socialdepartementet

Sanktionsavgifter på trygghetsområdet. [3]

Missbruket, Kunskapen, Vården.

Missbruksutredningens forskningsbilaga.
[6]

Barnen som samhället svek.

Åtgärder med anledning av övergrepp och
allvarliga försummelser i samhällsvården.
[9]

Finansdepartementet

Välfärdsstaten i arbete.

Inkomsttrygghet och omfördelning med
incitament till arbete. [2]

Långtidsutredningen 2011. Huvudbetänkande.
[11]

Utbildningsdepartementet

Svart på vitt – om jämställdhet i akademien. [1]

Den framtida gymnasiesärskolan
– en likvärdig utbildning för ungdomar
med utvecklingsstörning. [8]

Miljödepartementet

Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2011
– geologin, barriärerna, alternativen. [14]

Näringsdepartementet

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

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

Kulturdepartementet

Antidopning Sverige.

En ny väg för arbetet mot dopning. [10]

Arbetsmarknadsdepartementet

Bemanningsdirektivets genomförande i
Sverige. [5]