

Naturskyddsföreningen
Box 4625, 116 91 Stockholm
Telefon: 08-702 65 00
Hemsida: www.naturskyddsforeningen.se
E-post: info@naturskyddsforeningen.se

Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning, MKG
Box 7005, 402 31 Göteborg
Telefon: 031-711 00 92
Hemsida: www.mkg.se
E-post: info@mkg.se

2010-12-15

SAMRÅDSINLAGA

Till: Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB
106 58 Stockholm

Samrådsinlaga från Naturskyddsföreningen och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning, MKG, rörande riskerna för att det konstgjorda barriärsystemet med kopparkapslar och lerbuffert i KBS-metoden för slutförvar av använt kärnbränsle inte kommer att fungera, samt krav på offentliggörande av forskningsrapporter

Naturskyddsföreningen och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning, MKG, vill med denna samrådsinlaga, föra viktiga frågeställningar in i samrådet för ett slutförvar för använt kärnkraftsbränsle. Inlagan behandlar frågeställningar som rör kopparkorrosion och hur risker för korrosion av kopparkapseln i påverkar den långsiktiga miljösäkerheten för ett slutförvar enligt KBS-metoden. Inlagan behandlar även risker för att funktionen av den buffert av bentonitlera som långsiktigt ska skydda kopparkapseln från korrosivt grundvatten ska förstöras redan under den tidsperiod då lerbufferten ska mättas. Ett annat ämne som behandlas i inlagan är risken för att lerbarriären långsiktigt eroderas och spolats bort. Slutligen kräver föreningarna att kärnavfallsbolaget SKB ska offentliggöra samtliga forskningsrapporter och minnesanteckningar från forskningsprojektmöten, även de som bolaget anser vara endast interna.

Tidiga problem med kopparkorrosion och påverkan på lera

KBS-metodens långsiktiga säkerhet är beroende av funktionen hos de konstgjorda barriärerna (kopparkapslar och buffert av bentonitlera) som ska isolera det högaktiva kärnavfallet från människa och miljö i hundratusentals år. De frågeställningar som behandlas i inlagan är därför av avgörande betydelse för den långsiktiga säkerheten för det planerade slutförvaret.

Naturskyddsföreningen och MKG har förstått att det finns stora osäkerheter rörande de korrosionsprocesser som kan påverka den kopparkapsel som ska omsluta de använda kärnbränslestavarna. Utgående från den vetenskapliga diskussion som ägt rum de senaste åren finns det skäl att befara att det finns en risk att kopparkapslarna vid en lokalisering i Forsmark förstörs i tidsperspektivet hundratals år. Även om det tar längre tid än så för kapslarna att korrodera, skulle koppar från kapslarna kunna förstöra leran så att de inte kan antas ha den förväntade långsiktigt skyddande funktionen kvar. Att problemet är så akut i början av slutförvarets livslängd beror på att kopparkapslarna är upphettade de första tusentals åren och att det tar lång tid – upp till tusen år i det relativt torra berget i Forsmark – för leran att svälla och nå det initialtillstånd som antas i den långsiktiga säkerhetsanalysen.

Naturskyddsföreningen och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning, MKG, menar att kärnavfallsbolaget SKB i samrådet om den långsiktiga miljösäkerheten måste visa att de konstgjorda barriärerna av koppar och lera inte kommer att skadas eller förstöras under de första hundratals eller tusentals åren. Dessa frågor behandlas mer utförligt i avsnitt 2.

Långsiktiga problem med lererosion

På senare år har det uppstått tvivel om den buffert av bentonitlera som ska långsiktigt skydda kopparkapseln mot korroderande grundvatten kommer att fungera som förväntat i säkerhetsanalysen under perioder av nedisning under en istid. Ett slutförvarssystem ska enligt kriterierna för långsiktig säkerhetsanalys hålla för upprepade istider. De hydrologiska förhållanden som råder under en glaciationscykel riskerar att orsaka en snabbare erosion (bortspolning) av bufferten än vad som är tidigare antagits.

Naturskyddsföreningen och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning, MKG, menar att kärnavfallsbolaget SKB i samrådet om den långsiktiga miljösäkerheten måste visa det inte finns någon risk för en tidig erosion (bortspolning) av lerbufferten vid upprepade glaciationscykler. Dessa frågor behandlas mer utförligt i avsnitt 3.

Krav på att alla forskningsrapporter och minnesanteckningar offentliggörs

MKG, har under de senaste åren arbetat med att granska och analysera kärnavfallsbolaget SKB:s forskningsarbete rörande kopparkorrosion. Föreningen har haft uppenbara svårigheter att få ta del av forskningsresultat, bland annat från bolagets forskning i berglaboratoriet vid Äspö i närheten av Oskarshamnns kärnkraftverk. Korrespondens i olika ärenden där försök gjorts att få ut forskningsrapporter bifogas som bilaga 1 och 2.

Under våren 2010 påbörjade kärnavfallsbolaget SKB försök med att undersöka kopparkorrosion i rent syrgasfritt vatten. Bolaget skapade en referensgrupp kopplat till dessa försök och MKG har deltagit i denna grupp. I gruppen lyfte MKG omedelbart behovet av att liknande insyn i den övriga kopparkorrosionsforskning som SKB bedriver. Dessutom framförde MKG och andra deltagare i referensgruppen att det fanns andra områden där SKB bör bedriva forskning och att bolaget bör ta upp fler försökspaket i Äspö-laboratoriet i syfte att ta fram kunskap som skulle kunna bidra till att klargöra några av de viktiga frågeställningar som finns inom området. Eftersom SKB bara svarande undvikande skrev MKG ett brev till SKB om dessa frågor. SKB

svarade och MKG kommenterade SKB:s svar. Denna korrespondens finns som bilaga 3.

Även Strålsäkerhetsmyndigheten har intresserat sig för kopparkorrosionsforskningen i Äspö-laboratoriet och genomförde våren 2010 en granskning av bolagets kvalitetssäkring av detta arbete. Granskningen resulterade i en rapport där avsevärd kritik framfördes rörande kärnavfallsbolagets rapportering av forskningsresultat från försök där kopparkorrosion och påverkan på leran studerats (SSM 2010). Dessutom framkom att bolaget dolt forskningsresultat i en projektrapport som offentliggjorts.

MKG fick under hösten kärnavfallsbolaget SKB att, trots ett tidigare avvisande, offentliggöra de två konsultrapporter som var aktuella i fallet med de dolda forskningsresultaten. MKG skrev därefter en skrivelse till SKB där föreningen krävde att SKB agerar mer vetenskapligt och offentliggör alla de konsultrapporter som ligger till grund för bolagets offentliga resultatrapportering från forskning som rör barriärsystemen (bilaga 4). Kärnavfallsbolaget har svarat med att förklara att en rapportserie rörande forskning vid Äspö-laboratoriet (IPR-rapporter – International Progress Reports) kommer att offentliggöras, men anser att övriga forskningsrapporter är bolagsinterna (bilaga 5).

Naturskyddsföreningen och MKG anser att detta inte räcker. Bägge föreningarna har företrädare med lång erfarenhet av forskning och vetenskapligt arbete. Kärnavfallsbolagets vägran att lämna ut forskningsresultat strider mot grundläggande vetenskapliga kriterier. När SKB:s agerande diskuteras bland personer som har vetenskaplig skolning och erfarenhet av forskning är förvåningen stor över bolagets agerande.

MKG har redan haft tillgång till ett antal IPR-rapporter och kan konstatera att långt ifrån alla konsultrapporter med resultat från forskning i Äspö-laboratoriet blir IPR-rapporter. Från de mest intressanta försöken för förståelsen av kopparkorrosion och påverkan på leran har i stort sett inga konsultrapporter blivit IPR-rapporter. För att kärnavfallsbolagets forskning ska kunna granskas vetenskapligt av Strålsäkerhetsmyndigheten och andra, måste alla konsultrapporter och andra forskningsrapporter, som kärnavfallsbolaget SKB anser vara interna, offentliggöras inom samrådet. Dessutom måste även minnesanteckningar från möten där forskningsprojekt diskuterats offentliggöras.

Föreningarna anser att tillgång till dessa rapporter som ett underlag i samrådet är ett krav för att samrådsunderlaget ska vara fullgott.

Naturskyddsföreningen och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning, MKG, begär att verksamhetsutövaren, kärnavfallsbolaget SKB, inom samrådet offentliggör alla konsultrapporter och andra rapporter, samt minnesanteckningar från forskningsprojektmöten, som finns med resultat från koppar- och lerforskning i Äspö-laboratoriet och annan forskning som rör barriärsystemen. Denna fråga diskuteras mer utförligt i avsnitt 4 och föreningarna har i avsnittet bland annat börjat lista de försök från vilka föreningarna vill se alla konsultrapporter med resultat och mötesminnesanteckningar från forskningsprojektmöten.

1. Bakgrund

Verksamhetsutövaren Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, avser att den 16 mars 2011 ansöka om tillåtlighet/tillstånd för ett slutförvar för använt kärnkraftsbränsle strax söder om Forsmarks kärnkraftverk i Östhammars kommun. Föreningen Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning, MKG, har deltagit i samrådet enligt miljöbalken sedan föreningen bildades i slutet av 2004. Naturskyddsföreningen är tillsammans med Naturskyddsföreningens länsförbund i Kalmar och Uppsala län, Fältbiologerna och Opinionsgruppen för slutförvar i Östhammar, Oss, de föreningar som bildat MKG. Naturskyddsföreningen har deltagit i samrådet som en del av MKG och under samrådets senare del har Naturskyddsföreningen och MKG lämnat in gemensamma samrådsinlagor till verksamhetsutövaren, kärnavfallsbolaget SKB¹.

Kärnavfallsbolaget SKB har meddelat att bolaget anser att samrådet är avslutat i och med att bolaget mottagit synpunkter efter det särskilda samrådsmötet 100503 i Östhammar om den långsiktiga säkerhetsanalysen. Naturskyddsföreningen och MKG menar att samrådet måste fortsätta tills dess samråd kunnat ske med ett fullgott samrådsunderlag. Det hittillsvarande samrådsunderlaget har inte varit fullgott vad gäller den långsiktiga miljösäkerheten eller alternativa lokaliseringar eller alternativa sätt att lösa slutförvarsfrågan på. Föreningarna menar att samråd åtminstone borde genomföras med preliminära versioner av den långsiktiga säkerhetsanalysen SR-Site, samt preliminära versioner av de särskilda dokument om platsval och metodval, som kärnavfallsbolaget SKB planerar att lämna in tillsammans med ansökan. Detta har avisats av verksamhetsutövaren, senast i ett utbyte av e-postmeddelanden i andra halvan av juni 2010².

Den nu aktuella samrådsinlagan behandlar den långsiktiga miljösäkerheten för KBS-metoden. Detta är den viktigaste frågan som kommer att behandlas i en kommande prövning

2. Risker för att kopparkapslar korroderar och lerbufferten förstörs i ett inledande skede under driftfasen³

Verksamhetsutövaren, kärnavfallsbolaget SKB, har under våren 2009 tagit ställning till platsen för det slutliga förvaret av kärnavfall och då förordat lokalisering vid kärnkraftverket i Forsmark i Östhammars kommun före alternativet Laxemar nära Oskarshamns kärnkraftverk i Oskarshamns kommun. Bolaget anger att beslutet har gjorts utifrån från en sammanvägning av de säkerhetsmässiga utgångspunkterna.

I diskussionen har framkommit att det utvalda förvaringsutrymmet i Forsmark är behäftat med färre sprickor i omgivande berg än i Laxemar och att detta är

¹ Samrådsinlaga om lokalisering 090505 (<http://www.mkg.se/mkg-lamnar-samradsinlaga-till-industrin-om-platsvalet>), samrådsinlaga om preliminär MKB 100310 (<http://www.mkg.se/naturskyddsforeningens-och-mkgs-samradsinlaga-om-den-preliminara-mkbn-for-ett-slutforvar>), samrådsinlaga om den långsiktiga säkerhetsanalys mm 100517 (<http://www.mkg.se/samradsinlaga-fran-naturskyddsforeningen-och-mkg-om-samradet-om-den-langsiktiga-sakerheten-mm>).

² Se nyhet "SKB och MKG korresponderar om samrådet" på MKG:s hemsida (<http://www.mkg.se/skb-och-mkg-korresponderar-om-samradet>).

³ Detta avsnitt baseras till en stor del på ett underlag framtaget åt MKG av docent Olle Grinder,

huvudskälet till att Forsmark valdes före Laxemar⁴. Det kan vara en fördel vad gäller långsammare transport av radioaktiva ämnen till ytan vid ett läckage. Däremot ger ett tätare berg med dess lägre grundvattenflöde en mycket längre tid för vattenmättnad av bentoniten i deponeringshålen. Det senare är viktigt för att slutförvarssystemets barriärer långsiktigt ska fungera som i modellerna i säkerhetsanalysen.

Det föreligger alltså stora skillnader i vattenflöden mellan Laxemar och Forsmark. Den omfattande sprickbildningen i berget i Laxemar ger höga flöden av grundvatten, vilket medför att deponeringshålen blir vattenfyllda inom begränsad tid. Detta leder då till att den bentonit som omger kopparkapseln blir vattenmättad och sväller.

Enligt kärnavfallsbolaget SKB är vattenflödet mycket begränsat i Forsmarkberget. I den preliminära säkerhetsanalysen SR-Can från 2006, som bolaget angett som samrådsunderlag rörande långsiktig miljösäkerhet, anges att modellering ger att inflödet av vatten i 999 av 1000 borrhål i ett slutförvar i Forsmark endast är 0,01 liter per minut (SKB 2006, s 212). Med ett sådant inflöde tar det hundratals år innan leran är mättad. I myndigheternas granskning av SR-Can konstaterades att tiden för att nå mättad i leran enligt vissa modeller skulle vara upp till 30 000 år (SKI & SSI 2008, s 55).

Det är i detta sammanhang viktigt att påpeka att flertalet laboratorie-, pilot- och fullskaleförsök rörande slutförvarssystemets barriärer har gjorts i Äspö-laboratoriet, vars miljö och förhållanden motsvarar dessa i det tänkta slutförvaret i Laxemar, eller i laboratoriesystem som simulerar det våta berget i Äspö/Laxemar. SKB har sålunda tagit beslutet rörande slutförvaret i Forsmark utan att ett enda barriärförsök gjorts av bolaget i berg som liknar Forsmarkberget, trots att SKB mycket väl känner till att förhållandena i Forsmark skiljer sig mycket kraftigt åt jämfört med förhållandena i Laxemar och Äspö.

2.1 Vattenflödet till deponeringshålen

Den vattenmängd som strömmar till deponeringshålen har mycket stor betydelse för flera centrala aspekter, exempelvis:

- korrosionsförhållandena; vilka korrosionsmekanismer som föreligger och korrosionshastigheterna för respektive mekanism. Det är sannolikt att koppar korroderar i Forsmark (men inte i Laxemar) genom t.ex. atmosfärisk korrosion, saltindunstning och gränsskiktsskorrosion
- utskiljning av salter från grundvattnet i bentoniten och på kopparytan
- temperaturdistributionen i deponeringshålet; värmeöverföring från bränslestavarna till kopparkapseln och från denna till bentoniten och slutligen till bergväggen. Uppkomst av luftspalter mellan kopparkapseln och bentoniten samt mellan bentoniten och bergväggen
- erosion av bentoniten och uppkomst av sprickor och kanaler i denna

Dessa frågor är centrala vid säkerhetsanalysen för Forsmarks-fallet. Det måste vara omöjligt att teoretiskt räkna fram förväntad korrosionshastighet för koppar om man

⁴ Naturskyddsföreningen och MKG har i en tidigare inskickad samrådsinlägga (090505) framfört att kärnavfallsbolaget SKB noggrant och detaljerat måste precisera beslutsunderlaget för valet av Forsmark och vad som ingår i begreppet sammanvägning av de miljömässiga aspekterna. Samtidigt måste SKB redovisa de säkerhetsmässiga beräkningarna som gjorts för såväl Forsmark som Laxemar på ett sådant sätt att säkerheten för de två alternativa platserna direkt kan jämföras (se <http://www.mkg.se/mkg-lamnar-samradsinlagga-till-industrin-om-platsvalet>).

inte känner till vilka korrosionsmekanismer som är aktuella. Det är därför av avgörande betydelse att SKB redogör för den förväntade vattenflödet i liter/minut till deponeringshålen och hur detta flöde tidsmässigt kommer att variera. Det är också betydelsefullt att mer kunskap tas fram hur vattenflödet kan variera mellan olika deponeringshål. Hänsyn måste då också tas vid den teoretiska analysen och de experimentella försöken till följande:

- vattenflödet vid en eller flera bergssprickor i anslutning till ett deponeringshål och för de fall det inte finns några sådana sprickor
- uppkomst av sprickor vid sprängning av gångarna i slutförvaret
- inflödet av vatten till deponeringshålen; kommer vattnet från botten eller sidorna av berget eller från ovanliggande gång

När förväntade vattenflöden för olika förhållanden har uppskattats måste SKB göra en noggrann analys av hur det inströmmande vattnet reagerar med bentoniten och den varma kopparkapseln.

Det är högst sannolikt att allt eller en stor del av det inströmmande grundvattnet förångas vid kontakt med den varma (90°C) kopparkapseln och med den uppvärmda bentoniten.

Detta leder till utskiljning av de salter som finns i grundvattnet på kopparkapseln, i bentoniten och ev. också på bergväggarna. Här behövs betydligt mer kunskap rörande mängden salter som utskiljs, var dessa utskiljs samt den kemiska sammansättningen på saltutskiljningarna. Det är också viktigt att klargöra om förångningen av det inströmmande grundvattnet i deponeringshålen leder till bildande av en korrosiv vattenlösning med mycket hög halt av olika salter.

2.2 Temperaturförhållandena i deponeringshålen

Vattenflödet till deponeringshålen kommer att variera mycket kraftigt mellan olika hål och sannolikt också tidsmässigt. Det inströmmande vattnet har enligt KBS-3 modellen ett par viktiga funktioner:

- ge en vattenmättnad hos bentoniten så att denna sväller och stabiliserar kapseln
- underlätta värmeöverföringen från kapseln till omgivande berg

För det fall att vattenflödet i det tänkta slutförvaret i Forsmark är mycket begränsat eller så gott som obefintligt kommer det att ge helt andra temperaturförhållanden i deponeringshålen jämfört med normalfallet i Laxemar som har kraftigt vattenflöde. En direkt effekt av det begränsade vattenflödet är att bentonit inte vattenmättnas utan sannolikt till stor del förblir helt torr under många år.

Det framgår av kärnavfallsbolagets SKB:s forskningsprogram Fud-10 att bolaget inte anser att det behövs något forskningsprogram rörande värmetransport i deponeringshålen under förhållandena som råder i Forsmark (SKB 2010a, tabell 23-2, sida 268). Detta är enligt Naturskyddsföreningens och MKG:s uppfattning helt felaktigt. Föreningarnas bedömning är att ett sådant program i högsta grad är nödvändigt och en grundförutsättning för säkerhetsanalysen.

Kärnavfallsbolaget SKB måste klargöra hur det låga vattenflödet påverkar värmetransporten i deponeringshålen från gjutjärnkärnan med bränslestavar, över kopparkapseln och bentonitlagret till bergväggen. Centrala frågor rör

värmeöverföringen och uppkomst av temperaturgradienter. Det är också viktigt att fastställa om det uppkommer luftspalter mellan kopparkapseln och bentoniten respektive mellan bentoniten och bergväggen. Slutligen måste kunskap inhämtas rörande själva förångningen av vattnet. Hur sker detta och vilka volymer av inströmmande vatten förångas beroende av temperaturförhållandena i deponeringshålet och uppkommer därmed kanaler eller sprickbildning i bentonitbarriären?

2.3 Bentonitbufferten

Förhållanden är helt annorlunda i Forsmark jämfört med Laxemar. Den låga vattengenomströmningen resulterar i att bentoniten förblir torr under mycket lång tid, i storleksordningen åtminstone några tiotals år och kanske upp till 1000 år för vissa kapslar. Längden på den torra perioden är beroende av sprickbildningen i omgivande berg och vattenflödet från sprickorna i berget. Sålunda sker ingen initial vattenmättnad av bentoniten, vilket tidigare ansågs som avgörande för bentonitens funktion som barriär.

Den ursprungliga vattenhalten hos bentonitblocken uppgår enligt den preliminära säkerhetsanalysen SR-CAN till 17 % (SKB 2006 s 273). Effekten av den låga tillströmningen av vatten och samtidig uppvärmning av bentoniten resulterar i att vattnet i bentoniten förångas och det sker en direkt torkning av denna.

Kärnavfallsbolaget SKB bör därför experimentellt undersöka hur bentonitens fysikaliska och mekaniska egenskaper påverkas av:

- exponering under mycket lång tid och vid förhöjd temperatur i deponeringshålet
- utskiljning av salter från grundvattnet
- utskiljning av korrosionsprodukter
- förångning av det ursprungliga vattnet

Det är troligt att ovanstående kemiska och termiska påverkan av bentoniten kan leda till att den tänkta funktionen hos denna förändras. Viktiga frågor är här:

- sker sprickbildning och uppkomst av kanaler i bentoniten vid förångning av dess ursprungliga vatteninnehåll
- hur sker vattenmättnad hos bentoniten om denna innehåller höga halter koppar och salter
- kan bentoniten försprödas vid den termiska långvariga uppvärmningen och i kombination med höga halter av koppar och salter

2.4 Korrosion av kopparkapseln

Ett stort antal frågeställningar rör den kopparkapsel som ska skydda det använda kärnbränslet i slutförvaret. De rör både de försök som har, eller inte har, utförts för att undersöka hur koppar beter sig i en slutförvarsmiljö. De rör även de olika korrosionsprocesser som kan äga rum i ett slutförvar.

2.4.1 Undersökning av koppar från LOT-, MiniCan-, återtags- och prototypförvarsförsöken i Äspö-laboratoriet

SKB har genomfört flera försöksserier vid Äspö-laboratoriet under de senaste 15 åren där kopparkorrosion studerats med kapslar eller plåtprover av koppar och under

förhållanden som avsåg att simulera vad kopparkapslarna förväntades utsättas för i det kommande slutförvaret. Försöken har ägt rum inom ramen för projekten LOT, MiniCan, återtagsförsöket och prototypförvaret. Dessa projekt är viktiga för bedömning av:

- koppars korrosionshastighet och därigenom kopparkapselns livslängd i det kommande slutförvaret
- föreliggande korrosionsmekanismer utgående från kemisk sammansättning av korrosionsprodukter på kopparytan
- eventuell uppkomst av ojämn korrosion och förekomst av punktfrätning, s.k. pitting
- försprödning av koppar genom indiffusion av svavel och väte
- upplösning av koppar och utfällning av olika kopparinnehållande korrosionsprodukter i bentonitbarriären

Det är anmärkningsvärt att SKB genomgående valt att inte alls eller endast i begränsad omfattning undersöka de korrosionsprodukter som erhållits på kopparytan samt i bentoniten, förekomst av punktfrätning, koppars mekaniska egenskaper eller koppars metallografiska mikrostruktur. Eller snarare offentligt redovisa sådana studier, t.ex. vid upptaget av försökspaket A2 i LOT-projektet där sådana undersökningar saknas (SKB 2009a).

Speciellt intressant är att SKB ännu inte avrapporterat korrosionsförsöken i det s.k. återtagsförsöket i vilket en kopparkapsel i fullskala placerades i vattenmättad bentonit och uppvärmdes inifrån. Provet pågick under 5 år och kapseln och omgivande bentonit togs upp för undersökning i maj 2006 (SKB 2007). Kapseln och omgivande buffert av bentonitlera har analyserats under 2008 och att analyserna var i det närmaste färdiga det året (SKB 2009b, s 5). Varför har dessa analyser inte publicerats?

Det är nu viktigt att SKB offentliggör alla rapporter som innehåller information och data rörande koppars korrosionshastighet, korrosionsmekanismer, kemisk sammansättning hos korrosionsprodukter, förekomst av punktfrätning, koppars mekaniska egenskaper och mikrostruktur samt förekomst av koppar och kopparföreningar i bentoniten.

2.4.2 Korrosion av koppar i syrgasfritt vatten

Forskare vid Kungliga tekniska högskolan har på 1980-talet och de senaste åren fört fram experimentellt stöd för att koppar korroderar i syrgasfritt rent vatten (Hultquist 1986, Szakalos et al. 2007, Hultquist et al. 2008, Hultquist et al. 2009, Hultquist et al. 2011). Publiceringen av dessa forskningsresultat har lett till en intensiv debatt om möjligheten att korrosion av koppar kan äga rum i syrgasfritt vatten dvs. under anoxiska/anaeroba förhållanden. Fortsatta försök pågår för att undersöka om och hur koppar kan korrodera i syrgasfritt destillerat vatten.

Problematiken är relevant också för slutförvaret där SKB hävdar att koppar inte kan korrodera, med undantag för sulfidkorrosion, i syrgasfritt vatten. Redan för 10 år sedan visade kärnavfallsbolaget SKB att övergången från syrgashaltigt vatten (med Cu-korrosion) till syrgasfritt vatten (utan Cu-korrosion) gick snabbt och på i storleksordningen några veckor i slutförvaret (SKB 2001a). Detta på grund av främst den mikrobiologiska aktivitet som förelåg i grundvattnet och i bentoniten samt kemiska reaktioner i bentonitleran. Finska försök har senare visat samma sak

(Posiva 2006, Carlsson T. & Muurinen A. 2009). Dessutom har snabb syrgaskonsumtion visat sig äga rum i MiniCan-projektet i Äspö-laboratoriet (SKB 2009c).

SKB har under senare år funnit experimentellt att koppar korroderat i LOT- och MiniCan-projekten med en hastighet av 3-20 µm/år. Detta är en hastighet som är 10 000 till 100 000 ggr högre än vad som teoretiskt räknats fram utgående från att det hastighetsbestämmande steget är sulfidkorrosion.

SKB hävdar nu att LOT- och MiniCan-försöken av misstag på grund av syreläckage ägde rum under aeroba förhållanden i syrgashaltigt vatten. I MiniCan-försöken redovisas dock resultat från elektropotentialmätningar och direkta syrehaltmätningar av vattnet som klart visar att förhållandena var anoxiska – vattnet var syrgasfritt (SKB 2009c).

SKB anger sålunda själva att man misslyckats med att genomföra två hela och viktiga försöksserier (LOT och MiniCan) och ev. också Retrieval-försöken utan att det skett syreläckage under de fem åren som försöken pågått i Äspö-laboratoriet. Samtidigt hävdar SKB att hela slutförvaret i Forsmark kan förslutas med hjälp av bentonit och betong så att inget syreläckage sker under 100 000 år.

2.4.3 Förhållandena i Forsmark

Kopparkapseln kommer att utsättas för en helt annan korrosionsmiljö i det tänkta slutförvaret i Forsmark jämfört med förhållandena i Laxemar och Äspö-laboratoriet. Det låga vattenflödet kommer att innebära att kopparkapseln utsätts för ett antal korrosionsmekanismer vilka inte alls eller endast under kortare tid skulle ha förekommit om slutförvaret placerats i Laxemar.

Inströmmande vattenflöde i deponeringshålen i Forsmark är mindre än 0.01 l/min och deponeringshål. Denna volym kan uppskattas vara för liten för att mätta bentoniten med vatten och vattenfylla deponeringshålet. I stället kommer inströmmande vatten förångas under mycket lång tid och eventuellt enligt SKB:s egna uppskattningar kommer en del av deponeringshålen vara "torra" i upp till 1000 år.

Förångning av grundvatten kommer ofrånkomligen att leda till att saltet i grundvattnet kommer att utskiljas på kopparkapselns ytor, i bentoniten och eventuellt också på bergväggarna. När det bildas en vattenfas i deponeringshålet kommer denna få en förhöjd halt lösta salter i form av klorid- och sulfid-joner.

Rebak (2006) har kommenterat denna situation för det fall det utbildats en vattenfas på följande sätt

"The groundwaters associated with the crystalline-rock formations should all be relatively benign to most materials because of their low ionic strengths, near neutral pH, and low concentrations of halide ions [...]. The corrosivity of these waters could increase if significant groundwater vaporization occurs when high container temperatures exist during the early times following emplacement."

Slutsatsen måste vara att de resultat som erhållits vid försök i Äspö-laboratoriet med kraftigt vattenflöde inte kan överföras till fallet Forsmark. Samma sak gäller då också säkerhetsanalysen där i nuläget relevanta ingångsdata saknas för korrosionshastigheter och korrosionsmekanismer i Forsmark.

I ett torrt deponeringshål (utan separat vattenfas) kommer kopparkapseln att utsättas för två korrosionsmekanismer som inte föreligger i Laxemar:

- atmosfärisk korrosion från kvarvarande syre och vattenånga i deponeringshålet
- saltkorrosion från det saltlager som utskilts på kopparytorna och i bentoniten

I ett deponeringshål som har en vattenfas till viss höjd från hålets botten tillkommer ytterligare en korrosionsmekanism:

- gränsskiktsskorrosion i trefasgränsen vatten-luft-koppar

Det finns följaktligen ett stort behov av kunskap och experimentella resultat inom området korrosion av koppar. I nästa avsnitt tas detta upp i sju punkter.

2.4.4 Behov av kunskap och experimentella resultat inom området korrosion av koppar

Det finns ett stort behov av kunskap och experimentella resultat inom området korrosion av koppar inom följande 7 områden:

1. Atmosfärisk korrosion

SKB uppskattar att koppar korroderar med en hastighet av 0.1-0.3 mm/år genom atmosfärisk korrosion under de förhållanden som finns initialt i slutförvaret och innan syret i deponeringshålet är förbrukat (SKB 2001b). Bolaget har även gjort en massbalans som bygger på antagandet att förslutningen av deponeringshålet helt förhindrar inläckage av syre under de kommande 100 000 åren (SKB 2001b, s 45). Detta är något som SKB måste verifiera experimentellt. Det är värt att påpeka att SKB enligt egen uppfattning inte lyckats hindra inläckage av syre vid LOT och MiniCan försöken under de fem år dessa pågick vid Äspö-laboratoriet.

2. Korrosion förorsakad av saltindunstning

SKB har angett att risker för kopparkorrosion på grund av indunstning av salter kan försummas om temperaturen på kopparkapseln ligger kring 100 °C (SKB 2009d, s 19). Bolaget måste visa experimentellt visa att indunstningskorrosion kan försummas vid slutförvar i Forsmark.

3. Korrosion förorsakad av radiolys

Experimentella studier vid Los Alamos Laboratory i USA har funnit mycket höga korrosionshastigheter, i storleksordning 0.3 – 0.5 mm/år, för koppar då denna har utsatts för bestrålat vatten vid rumstemperatur (radiolys) (Lillard et al. 2000, Butt et al. 1996). SKB anger däremot att strålningens inverkan på koppars korrosion är försumbar (SKB 2009d). SKB måste experimentellt visa att strålning inte inverkar på korrosionshastigheten hos koppar vid slutförvar i Forsmark.

4. Sulfidkorrosion

I en rapport av Arilahti et al (2010) från VTT i Finland framhåller författarna på sidan 1 följande:

”In scenarios where the density of bentonite locally decreases (e.g. piping, erosion-corrosion) the access of sulphide to the copper surface will be much easier.”

SKB bygger KBS-konceptet på antagandena att koppars korrosion helt utgörs av sulfidkorrosion och att det hastighetsbestämmande steget är diffusion av sulfidjoner genom den vattenmättade bentoniten.

Vid förvaring av kärnavfallet i kopparkapslar enligt KBS-3 metoden i Forsmark tar det lång tid innan bentoniten blir vattenmättad. När väl delar av bentoniten och slutligen all bentonit blir vattenmättad kan masstransporten av sulfidjoner till kopparytan komma att äga rum genom sprickor och kanaler i bentoniten. Bentoniten kommer vidare att innehålla stor mängd salter.

SKB måste utreda hur dessa förändrade förhållanden påverkar sulfidkorrosion av koppar.

5. Spänningskorrosion

Taniguchi et al (2008) har funnit att ren koppar är känslig för spänningskorrosion i anoxiskt/syrgasfritt, syntetiskt havsvatten innehållande sulfidjoner från natriumsulfid. Författarna uppskattar att tröskelvärdet för initiering ligger inom området 0.005-0.01M natriumsulfid vid 80 °C och att halter överstigande tröskelvärdet genererar spänningskorrosion.

SKB har startat försök för att återupprepa dessa resultat. Det är viktigt att SKB fortsätter att studera om det föreligger risk för spänningskorrosion av kopparkapseln vid slutförvar i Forsmark.

Den kemiska sammansättningen hos vattenlösningen bör då motsvara sammansättningen hos vattnet i deponeringshålen med hänsyn tagen till förhöjningen av salthalten pga. förångning av vatten.

6. Korrosion av koppar genom inlösning i grundvattnet + utskiljning i bentoniten

SKB har kunnat visa i LOT-försöken att koppar löser sig i grundvattnet, kopparjonerna diffunderar in i omgivande bentonit och slutligen binds i bentoniten. Kemisk analys av bentoniten visade på halter av några % koppar i den bentonitzon som låg närmast kopparn (SKB 2009a).

Tjockleken på denna zon var ett par cm. Korrosionshastigheten kan utgående från mängden upplösta och utfälda korrosionsprodukter av koppar uppskattas till 10-20 µm/år. Motsvarande analyser av indiffunderat koppar har sannolikt även gjorts i Retrieval-försöken. Även Fraser King (1992) har uppmätt att koppar korroderar i vattenmättad bentonit och efter några år med en hastighet av 20 µm/år.

SKB måste teoretiskt och experimentellt studera denna korrosionsmekanism som sannolikt kan vara av stor betydelse för slutförvaret. De resultat som SKB hitintills publicerat visar att bentoniten påskyndar nedbrytningen av kopparn samt att kopparutskiljningen i bentoniten kan påverka dess funktionsegenskaper.

I ett första steg bör SKB offentliggöra samtliga resultat från LOT-, MiniCan- och återtagsförsöken som behandlar upplösning av koppar i grundvattnet och utfällning av korrosionsprodukter av koppar i bentoniten.

7. Interkristallin korrosion

Taniguchi et al samt Al Kharafi et al (2008) har rapporterat experimentella resultat som visar att koppar korroderat interkristallint i grundvatten innehållande låga halter av sulfidjoner.

SKB måste undersöka risk för interkristallin korrosion av kopparkapseln genom förslagsvis:

- ytstudier samt metallografiska undersökningar av prover från LOT-, MiniCan- och återtagningsförsöken
- nya korrosionsförsök där den korrosiva miljön motsvarar förhållandena i Forsmark och då med hänsyn tagen till förhöjningen av salthalten pga. förångning av grundvattnet.

Sammantaget finns det en betydande osäkerhet om kunskapsläget vad gäller kopparkorrosion och påverkan på leran i ett tidigt skede om ett slutförvar byggs enligt KBS-metoden i Forsmarkberget. Det mesta tyder på att det har varit stora brister i SKB:s forskningsarbete inom detta område. Med tanke på att de konstgjorda barriärerna av koppar och lera är det som ska garantera den långsiktiga säkerheten i ett slutförvar enligt KBS-konceptet är det föga förtroendeingivande att kärnavfallsbolaget SKB säger att bolaget är redo att ansöka om att få tillstånd att få bygga ett slutförvar utan att ha genomfört ett enda försök under de förhållanden som råder i Forsmark.

2.5 Hållfasthetsegenskaper och försprödningsmekanismer av kopparkapseln

När koppar korroderar leder detta till en försvagning av kopparkapseln i sig. Men det finns även andra mekanismer som genom försprödning kan försvaga kapseln mekaniskt. Det är kombinationen av korrosion och försprödning som gör att det går att befara att kopparkapslar kan komma att börja läcka i ett tidigt skede.

2.5.1 Svavelförsprödning

Sulfidjoner förekommer i det grundvatten som strömmar in i deponeringshålet och kan även bildas genom en bakteriell process (SRB sulfat reducerande bakterier) i bentonitbarriären och i gränzonen berg/bentonit.

I ett nytt projekt finansierat av Strålsäkerhetsmyndigheten har forskare vid VTT i Finland studerat spänningskorrosion i koppar. Under arbetets gång har forskarna funnit att svavel kan tränga in i koppar. I en nyligen presenterad rapport konstaterar de (Ari-Lahti et al. 2010, s 4):

”Based on the results it is clear that sulphur can diffuse into the Cu OFP material when it is exposed at room temperature to saline groundwater with 100 to 200 mg/l sulphide. Indications were found that the in-diffusion preferentially occurs through grain boundaries. Individual grain boundaries were found to contain above 20 at% sulphur [atom%]. Based on SEM/EDS studies of the surfaces the extent of diffusion depth of sulphide into Cu OFP was more than one millimetre per week”.

De resultat som Ari-Lahti et al. redovisar är helt sensationella och beskriver en ny försprödningsmekanism för koppar dvs. svavelförsprödning. Författarna av rapporten har funnit att:

- masstransporten av svavel från det sulfidhaltiga grundvattnet till kopparn går med hög hastighet vid rumstemperatur vid en halt av 100 – 200 mg sulfid per liter grundvatten

- indiffusionen av svavel i koppar går mycket snabbt redan vid rumstemperatur och med en hastighet av över 1 mm/vecka
- svavlet bildar kopparsulfidutskiljningar i koppars korngränser
- kopparsulfidutskiljningarna verkar försprödande

Förekomst av svavelförsprödning är mycket allvarlig för hela KBS-3 konceptet och är sannolikt i sig tillräckligt för att ifrågasätta användningen av koppar som kapselmateriell i Forsmark.

Det är av central betydelse att SKB nu noggrant följer detta arbete, vilket också behöver kompletteras med omfattande mekanisk provning av provstavar med indiffunderat svavel i koppars korngränser.

2.5.2 Väteförsprödning

SKB har under senaste åren initierat forskning rörande väteupptagning samt inverkan av väte i koppar på metallens mekaniska egenskaper se Martinsson et al (2008). Vidare har Nakahara et al (1988) beskrivit hur väte påverkar koppars hållfasthet och duktilitet.

Speciellt viktigt för slutförvaret är risken för väteförsprödning. Det är av vikt att SKB i fortsättningen utför försöken på ett sådant sätt att de är relevanta för det kommande slutförvaret i Forsmark. Eventuell risk för väteförsprödning ska fastställas eller alternativt avvisas. Detta innebär att försöken måste genomföras i en vattenlösning under statisk långtidsbelastning och samtidig uppladdning av väteatomer i kopparn med en elektrokemisk metod. Den kemiska sammansättningen hos vattenlösningen bör motsvara den sammansättning som föreligger i Forsmark med hänsyn tagen till förhöjningen av salthalten pga. förångning av vatten.

2.6 Sammanfattning

I detta avsnitt har ett stort antal frågeställningar uppmärksammas rörande risker för försprödning och korrosion av kopparkapseln och negativ påverkan på lerbufferten som är avgörande för den långsiktiga säkerheten i KBS-metoden lyfts.

Naturskyddsföreningen och MKG menar att kärnavfallsbolaget SKB verkar sakna avgörande kunskaper för att kunna säga att slutförvaret kommer att fungera som planerat när kärnavfallet deponeras i ett slutförvar av KBS-typ. Denna osäkerhet får inte finnas när ansökan lämnas in.

Naturskyddsföreningen och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning, MKG, menar att kärnavfallsbolaget SKB i samrådet om den långsiktiga miljösäkerheten måste visa att de konstgjorda barriärerna av koppar och lera inte kommer att skadas eller förstöras under de första hundratals eller tusentals åren.

3. Risker för att lerbufferten förstörs vid glaciation

Under senare år har kunskapen ökat om att det finns risker för att lerbufferten kan erodera på grund av de förändringar av de kemiska egenskaperna som orsakas av nedisning under en istidscykel. Frågan lyftes i samband med granskningen av säkerhetsanalysen av SR-Can (SKI & SSI 2008). Kärnavfallsbolaget har sedan dess använt avdelningen för kemisk apparatteknik vid KTH och konsultbolaget Clay Technology för att utreda frågan. Bägge verksamheterna jobbar i stort sett enbart åt

SKB sedan många år och kan numera ses som interna verksamheter inom SKB:s forskningsorganisation. Resultatet av SKB:s arbete redovisades offentligt hösten 2009 (SKB 2009e, SKB 2009 f, SKB 2009g). Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM, höll ett speciellt expertgruppsmöte med deras så kallade BRITE-grupp i november 2009 där det konstaterades att det fortfarande fanns ett antal osäkerheter om risken för lererosion. SKB har sedan dess bett avdelningen på KTH göra ytterligare en modellering men resultatet verkar inte ge mycket mer klarhet i frågan (SKB 2010b).

Naturskyddsföreningen och MKG menar att det inte får finnas några oklarheter rörande risken för lererosion under en istid när ansökan lämnas in. Det är även viktigt att kärnavfallsbolaget SKB inte endast använder ett fåtal och närstående forskningsverksamheter för att undersöka centrala och viktiga frågeställningar. För att öka trovärdigheten i forskningsarbetet bör SKB ta in nya oberoende forskare och forskningsgrupper för att genomföra studier eller för att granska genomförda studier.

Naturskyddsföreningen och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning, MKG, menar att kärnavfallsbolaget SKB i samrådet om den långsiktiga miljösäkerheten måste visa det inte finns någon risk för en tidig erosion (bortspolning) av lerbufferten vid upprepade glaciationscykler.

4. Krav på ökad insyn i kärnavfallsbolagets SKB:s forskning och offentliggörande av samtliga forskningsrapporter och minnesanteckningar från forskningsmöten

En stor del av kärnavfallsbolaget SKB:s forsknings och utvecklingsinsatser utförs av olika forskningsinstitut och privata konsultföretag. Det är mycket viktigt att dessa forskningsinsatser och bolagets egna insatser utförs som oberoende forskning, under sedvanlig forskningsetik och är inte styrd av ekonomiska intressen. Resultatet av forskningsuppdraget får inte direkt eller indirekt styras av kärnavfallsbolaget. Målsättningen med projekten och uppdragen får inte vara att de framtagna experimentella resultaten och teoretiska modellerna samt utvärderingen av dessa primärt ska leda till stöd för KBS-3 konceptet eller motarbeta kritik mot densamma. De externa uppdragstagarna måste vara förvissade om att de erhåller fortsatta forskningsanslag även om resultatet av deras arbetsinsats kan väcka frågetecken rörande KBS-3 metoden.

Vad gäller forskningen rörande de konstgjorda barriärerna av koppar och lera har den begränsats till att genomföras av ett fåtal forskningsorgan. MKG har i sitt granskande arbetet i första hand stött på fem forskningsverksamheter som SKB på senare år har använt för studier som rör den långsiktiga säkerheten av de konstgjorda barriärerna av koppar och lera: Clay Technology AB, Avdelningen för kemisk apparatteknik, KTH (Ivars Neretnieks), Integrity Corrosion Consulting Ltd (Fraser King), Bo Rosborg Consulting, Serco Assurance och två bulgariska forskare i samarbete⁵. Dessutom genomförs försök, oklart av vem, vid SKB:s

⁵ Martin Bojinov, Department of Physical Chemistry, University of Chemical Technology and Metallurgy, Sofia, Bulgarien och Iva Betova, Department of Chemistry, Technical University of Sofia, Bulgarien. Dessa forskare har tidigare verkat vid forskningsinstitutet VTT i Finland. SKB har tidigare utfört studier vid VTT men har nu i stället flyttat denna verksamhet med forskarna till Bulgarien.

bentonitlaboratorium vid Äspö-laboratoriet varav några kan vara av intresse för förståelsen av riskerna för buffererosion⁶.

Vid Strålsäkerhetsmyndighetens granskning av SKB:s kopparkorrosionsforskning i Äspö-laboratoriet upptäcktes att fusk skett i den offentliga redovisningen av resultat i interna rapporter framtagna av Serco Assurance som senare offentliggjorts (SSM 2010). Naturskyddsföreningen och MKG menar att det utöver allt arbetet som utförts av Serco Assurance finns starka skäl att granska rapporteringen av all den forskning som genomförs av forskningsverksamheter som är starkt knutna till kärnavfallsbolaget SKB och som är mycket beroende av bolaget. I inledningen av samrådsinlagan har de försök som MKG gjort för att få ta del av forskningsresultat från SKB:s arbete med att studera kopparkorrosion och påverkan på lera beskrivits. Som ett resultat av det granskningsarbetet menar Naturskyddsföreningen och MKG att resultat som tagits fram av ovanstående forskningsverksamheter bör vara föremål för särskild granskning.

Värt att notera är att Clay Technology AB även har fått i uppgift att genomföra studier i för den långsiktiga säkerheten känsliga frågeställningar, såsom hur leran i ett slutförvar påverkas av att infrysning vid permafrost, påverkan av slutförvaringar av jordbävningar under en istid, och risken för att slutförvaret blir en brottanvisning med risk för att hela bergformationen i Forsmark spricker itu under en istid⁷. MKG menar att det finns skäl att granska underlaget för de rapporter som publicerats från det arbetet särskilt noggrant.

Vad gäller utredningar av andra frågor där SKB är angelägen att dess syn på olika frågor ska framgå i resultatet, till exempel rörande alternativa metoder (djupa borrhål) eller lokaliseringar, är även delar av konsultbolaget Kemakta ofta anlitat⁸. MKG menar även att underlaget till rapporter framtagna av Kemakta bör vara föremål för fördjupad granskning.

I den tidigare omnämnda skrivelsen till MKG 2010-11-19 (bilaga 4) har kärnavfallsbolaget SKB angett att en rapportserie med rapporter från Äspö-laboratoriet (IPR-rapporter – International Progress Reports) kommer att offentliggöra, men anser att övriga forskningsrapporter från Äspö-laboratoriet är bolagsinterna⁹.

Naturskyddsföreningen och MKG anser att detta inte räcker. Långt ifrån alla konsultrapporter med resultat från forskning i Äspö-laboratoriet blir IPR-rapporter. Från de mest intressanta försöken för förståelsen av kopparkorrosion och påverkan på leran har i stort sett inga konsultrapporter blivit IPR-rapporter. För att

⁶ Bentonitlaboratoriet ligger administrativt under Äspö-laboratoriet men det saknas i stort sett öppen information om vad som pågår i laboratoriet. I den senaste offentliga årsrapporten för Äspö-laboratoriet finns inte en lista med pågående försök utan bara några bilder på olika försök (SKB 2009b). I status- och planeringsrapporterna för Äspö-laboratoriet i IPR-serien finns det lite mer beskrivande texter för olika försök men inga resultat i form av rapporter verkar finnas.

⁷ SKB TR-10-40, Freezing of bentonite Experimental studies and theoretical considerations, Svensk Kärnbränslehantering AB, January 2010; SKB TR-08-11, Effects of large earthquakes on a KBS-3 repository Evaluation of modelling results and their implications for layout and design, Svensk Kärnbränslehantering AB, June 2010; SKB R-10-36, Assessment of a KBS-3 nuclear waste repository as a plane of weakness, Svensk Kärnbränslehantering AB, June 2010.

⁸ Se exempelvis SKB R-06-58, Djupa borrhål – Status och analys av konsekvenserna vid användning i Sverige, Svensk Kärnbränslehantering AB, September 2006

⁹ MKG kommer i december att offentliggöra merparten av de IPR-rapporter föreningen har fått ta del av i skannade versioner på nyheten <http://www.mkg.se/mkg-gor-ipr-rapporter-tillgangliga>.

kärnavfallsbolagets forskning ska kunna granskas, både vetenskapligt och av Strålsäkerhetsmyndigheten och andra, måste alla konsultrapporter och andra forskningsrapporter, som kärnavfallsbolaget SKB anser vara interna, offentliggöras inom samrådet. Dessutom måste även minnesanteckningar från möten där forskningsprojekt diskuterats offentliggöras.

Det är svårt att ge en lista på rapporter och minnesanteckningar vars exakta existens är oklara. Föreningarna har påbörjat en lista på forskning där det kan finnas denna typ av interna rapporter med forskningsresultat och kan i dagsläget ange följande lista:

1. Alla rapporter som SKB har tagit fram i rapportserierna Technical Documents (TD) och International Technical Documents (ITD)¹⁰
2. Specifikt rapporten SKB ITD-05-01, EDZ seminar at Arlanda December 13th, 2004. Presentations and summary of discussion, Svensk kärnbränslehantering AB, 2005.
3. Alla rapporter i serien SKB arbetsrapport TU
4. Specifikt rapporten SKB arbetsrapport TU-03-05/Posiva R&D Report 2003-01, Djupförvar – Anläggningsutformning. Qualification of low-pH cementitious products in the deep repository
5. Alla konsultrapporter och minnesanteckningar från möten rörande LOT-projektet (många Clay Technology-rapporter, men även andra konsultrapporter)
6. Alla konsultrapporter och minnesanteckningar från möten rörande återtagsförsöket, särskilt studier av koppar och lera (merparten Clay Technology-rapporter)
7. Alla konsultrapporter och minnesanteckningar från möten rörande prototypförvaret (bland annat rapporter med resultat av korrosionsmätningar utförda av Rosborg Consulting)
8. Alla konsultrapporter och minnesanteckningar från möten rörande MiniCan-projektet (merparten Serco Assurance-rapporter)
9. Specifikt Serco Assurance report SERCO/TAS/E.003110.01/Issue 01, Miniature Canister (MiniCan) Corrosion Experiment Progress Report 1 for 2008-9, January 2010
10. Specifikt minnesanteckningarna "N.R. Smart, Minutes of Model Canister Planning Meeting, 2 June 2009, SKB offices, Stockholm".
11. Specifikt Serco Assurance report, Serco/TAS/MCRL/19801/C001 Issue 2, Interactions Between Iron Corrosion Products And Bentonite, 2008
12. Specifikt Serco Assurance report SA/EIG/15031/C001, Expansion Due to Anaerobic Corrosion of Iron, 2005
13. Specifikt Serco Assurance report SA/EIG/11080/C001, The design of the mini-canisters – Design of Model Canister Experiment, March 2005
14. Alla konsultrapporter och minnesanteckningar från möten rörande projektet "Galvanic corrosion of copper-cast iron couples" som avrapporterats i SKB TR-05-06 (merparten Serco Assurance-rapporter)
15. Specifikt Serco Assurance report, SA/EIG/13974/C001, Galvanic Corrosion of Copper-Cast iron Couples, 2004

¹⁰ Rapporter publicerade i rapportserierna TD och ITD rörande forskning i Äspö-laboratoriet finns angivna i status- och planeringsrapporter (IPR-rapporter) för Äspö-laboratoriet. Tidigare namngavs rapporterna men sedan hösten 2008 anges bara vilket antal rapporter som getts ut.

16. Alla konsultrapporter och minnesanteckningar från möten rörande projektet "Investigation of Eh, pH and corrosion potential of steel in anoxic groundwater", som avrapporterats i SKB TR-01-01
17. Specifikt rapporten AEAT/R/PS-0028, issue 1, Investigation of Eh, pH and Corrosion Potential of Steel in Anoxic Groundwater, 2000
18. Alla konsultrapporter och minnesanteckningar från möten rörande projektet "Task Force on Engineered Barrier Systems"
19. Alla konsultrapporter och minnesanteckningar från möten rörande projekt som genomförs i bentonitlaboratoriet
20. Alla konsultrapporter och minnesanteckningar från möten rörande projekt som utförts av Avdelningen för kemisk apparatteknik, KTH, med Ivars Neretnieks som forskningsansvarig
21. Alla konsultrapporter och minnesanteckningar från möten rörande projekt som utförts av Institutionen för materialvetenskap, KTH, med Rolf Sandström som forskningsansvarig

Naturskyddsföreningen och MKG kommer att fortsätta att granska SKB:s forskningsverksamhet och kan i samrådet komma att begära att få ta del av fler forskningsrapporter och minnesanteckningar från möten. Av intresse för framtiden är försöken "Alternative Buffer Materials", "Temperature Buffer Test" och "Large Scale Gas Injection" som genomförs i Äspö-laboratoriet.

Sammanfattningsvis begär Naturskyddsföreningen och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning, MKG, att verksamhetsutövaren, kärnavfallsbolaget SKB, inom samrådet offentliggör alla konsultrapporter och andra rapporter, samt minnesanteckningar från forskningsprojektmöten, som finns med resultat från koppar- och lerforskning i Äspö-laboratoriet och annan forskning som rör barriärsystemen av koppar och lera.

5. Referenser

- Al Kharafi F.M., Ghayad I.M. & Ateya B.G. 2008. Rapid Intergranular Corrosion of Copper in Sulfide-Polluted Salt Water. *Electrochemical and Solid-State Letters*, vol 11, no 4, ss G15-G18.
- Ariilahti E., Lehtikuusi T., Olin M., Saario T. & Varis P.; Evidence for internal diffusion of sulphide from groundwater into grain boundaries ahead of a crack tip in a CuOFP copper, 4th international workshop on long-term prediction of corrosion damage in nuclear waste systems. Brugges, Belgium, June 28 – July 2, 2010. Ett utkast till detta konferensbidrag finns hos Strålsäkerhetsmyndigheten i ärendet dnr 2010/614.
- Butt D.P., Kanner G.S. & Lillard R.S. 1996. Corrosion of Target and Structural Materials in Water Irradiated by an 800 MeV Proton Beam. *The Proceedings of the 2nd Int. Conf. on accelerator-driven transmutation technologies and applications*. June 1996, Kalmar Sweden.
- Carlsson T. & Muurinen A. 2009. Identification of Oxygen-Depleting Components in MX-80 Bentonite, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 1124*.
- King F., Litke C.D. & Ryan S.R. 1992. A mechanistic study of the uniform corrosion of copper in compacted Na-montmorillonite/sand mixtures. *Corrosion Science* 33:12 ss 1979-1995.
- Hultquist, G. 1986. Hydrogen Evolution in Corrosion of Copper in Pure Water, *Corrosion Science*, vol 26, ss 173-177

- Hultquist, G. et al. 2008. Detection of Hydrogen in Corrosion of Copper in Pure Water, uppsats presenterad vid 17th International Corrosion Conference 2008 i Las Vegas, 6-10 oktober.
- Hultquist, G. et al. 2009. Water Corrodes Copper, *Catalysis Letters*, vol 132, ss 311–316.
- Hultquist, G. et al. 2011. Hydrogen gas production during corrosion of copper by water, *Corrosion Science*, vol 53, ss 310-319.
- Lillard R.S., Pile D.L. & Butt D.P. 2000. The corrosion of materials in water irradiated by 800 MeV protons, *J. of Nuclear Materials* 278 (2000) 277-289.
- Martinsson A. & Wu R. 2008. Hydrogen charging of oxygen-free copper. KIMAB-2008-131
- Nakahara S. & Okinaka Y. 1988. The Hydrogen Effect in Copper. *Materials Science and Engineering A*, vol 101, ss 227-230.
- Posiva 2006. Copper Corrosion in Bentonite: Studying of Parameters (pH, Eh/O₂) of Importance for Cu Corrosion, Working Report 2007-62, Posiva, June 2007.
- Rebak R.B. 2006. Selection of Corrosion Resistant Materials for Nuclear Waste Repositories. *Materials Science and Technology 2006*, Cincinnati, OH, United States, October 15, 2006 through October 19, 2006. UCRL-PROC-221893.
- SKB 2001a. O₂ depletion in granitic media, the REX project, TR-01-05, Svensk Kärnbränslehantering AB, February 2001.
- SKB 2001b. Copper corrosion under expected conditions in a deep geologic repository, TR-01-23, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB 2006. Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar – a first evaluation. Main Report of the SR-Can project, TR-06-09, Svensk Kärnbränslehantering AB, October 2006.
- SKB 2007. Äspö Hard Rock Laboratory: Annual report 2006, SKB TR-07-10, Svensk Kärnbränslehantering AB, June 2007.
- SKB 2009a. Long term test of buffer material at the Äspö Hard Rock Laboratory, LOT project: Final report on the A2 test parcel, TR-09-29, Svensk Kärnbränslehantering AB, November 2009.
- SKB 2009b. Äspö Hard Rock Laboratory: Annual Report, 2008, TR-09-10, Svensk Kärnbränslehantering AB, July 2009.
- SKB 2009c. Miniature canister corrosion experiment – results of operations to May 2008, TR-09-20, Svensk Kärnbränslehantering AB, July 2009.
- SKB 2009d. Design premises for a KBS-3V repository based on results from the safety assessment SR-Can and some subsequent analyses), TR-09-22, Svensk Kärnbränslehantering AB, November 2009.
- SKB 2009e. Bentonite erosion: Laboratory studies, TR-09-33, Svensk Kärnbränslehantering AB, November 2009.
- SKB 2009f. Bentonite erosion: Final report, TR-09-34, Svensk Kärnbränslehantering AB, December 2009.
- SKB 2009g. Mechanisms and models for bentonite erosion, TR-09-35, Svensk Kärnbränslehantering AB, December 2009.
- SKB 2010a. Fud-program 2010: Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall, Svensk Kärnbränslehantering AB, September 2010.

SKB 2010b. Modelling of erosion of bentonite gel by gel/sol flow, TR-10-64, Svensk Kärnbränslehantering AB, November 2010.

SKI & SSI 2008. Björn Dverstorp & Bo Strömberg, m fl. "SKI's and SSI's review of SKB's safety report SR-Can", SKI report 2008:23 & SSI report 2008:04 E, Mars.

SSM 2009. Record of SSM BRITE (Barrier Review, Integration, Tracking and Evaluation) Review Group Meetings, 4, 5 and 7 November 2009.

Minnesanteckningarna finns hos Strålsäkerhetsmyndigheten i ärendet med diarienummer 2010/614 och på MKG:s hemsida

(<http://www.mkg.se/motesanteckningar-fran-SSM-expertmote-om-lererosion>).

SSM 2010. Quality Assurance Review of SKB's Copper Corrosion Experiments, SSM Rapport 2010-17.

Szakálos, P. et al. 2007. "Corrosion of Copper by Water", Electrochemical and Solid-State Letters, vol 10, no 11, ss C63-C67.

Taniguchi N. & Kawasaki M. 2008. Influence of sulfide concentration on the corrosion behavior of pure copper in synthetic seawater, J. of Nuclear Materials vol 379, ss 154-161.