



Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning (MKG)
Första Långgatan 18
413 28 GÖTEBORG

Skrivelse

Datum: 2019-11-27
Diariennr: SSM2019-9556
Dokumentnr: SSM2019-9556-2
Handläggare: Bo Strömberg

Svar på MKG:s frågor om kvalitetssäkring och redovisning av resultat från LOT-försöket

SSM noterar MKG:s önskemål beträffande utvärdering av de försökspaket som nyligen har lyfts upp från SKB:s LOT-försök vid Äspölaboratoriet. Önskemålet formulerades i en skrivelse till SSM daterad 2019-10-24. I en andra skrivelse daterad 2019-11-19 framförs vissa kompletteringar till den tidigare skrivelsen. SSM:s svar till MKG inleds med en kort sammanfattning av de formella förutsättningarna för myndighetens granskning av SKB:s arbete, och därefter följer några av SSM:s reflektioner kring MKG:s slutsatser i själva sakfrågan.

SSM:s formella roll i förhållande till SKB:s forskning kring slutförvarsprogrammet för använt kärnbränsle

SSM har i sin roll som tillsynsmyndighet för kärntekniska anläggningar långtgående befogenheter att begära in information från en tillståndshavare med tillstånd enligt kärntekniklagen för att kunna bedöma drift- och säkerhetsfrågor. Dessa formella befogenheter avser dock inte SKB:s slutförvarsprogram för använt kärnbränsle eftersom regeringen vid tidpunkten för detta brev inte har utfärdat något tillstånd enligt kärntekniklagen för en sådan verksamhet. SSM:s möjligheter att hörsamma MKG:s krav kan därför inte baseras på någon formell tillsyn av SKB:s LOT-försök.

Relevant för frågan är dock att SSM, efter ett medgivande från SKB, tidigare har genomfört tillsynsliknande aktiviteter kopplat till vissa delar av SKB:s forsknings- och utvecklingsprogram för slutförvaring av använt kärnbränsle, såsom inspektioner av vissa aktiviteter samt intervjuer med SKB:s personal och SKB:s konsulter. Detta har i första hand, och i störst omfattning, avsett SKB:s fältmätningar i samband med platsundersökningsprogrammet vid Forsmark, men även vissa genomgångar av fältexperimenten i Äspölaboratoriet, bl.a. de nu diskuterade LOT-försöken och även Minican-försöken. En första inledande genomgång av SKB:s kvalitetssäkringsåtgärder gjordes 2007 [1], följt av mer detaljerade genomgångar med fokus på korrosionsexperiment, dels 2010 [2], dels 2015 [3]. Dessa granskningar visade att formell kvalitetssäkring inledningsvis inte tillämpades konsekvent av alla SKB:s leverantörer, men att denna typ av brist gradvis har åtgärdats och att kvalitetssäkringsåtgärder har blivit mer fullständiga och omfattande. Vissa brister vad gäller tekniska rapporters fullständighet rapporterades,



liksom långa ledtider för publicering av sådana rapporter. I den sista granskningen 2015 konstaterades dock att en hög kvalitetssäkringsstandard tillämpades i samband med genomförandet av SKB:s korrosionsförsök [3].

SSM vill betona att det inte är SSM utan SKB själva som enligt SKB:s fastställda kvalitetssäkringsprogram ansvarar för kvalitetssäkring av analyser och andra åtgärder i samband med all fält- och laboratorieverksamhet. Detta förhållande hade gällt även om SKB hade haft ett tillstånd enligt kärntekniklagen för ett slutförvar för använt kärnbränsle.

SSM:s svar på MKG:s tre frågor i skrivelsen daterad 2019-10-24:

- 1) SKB är själva ansvariga för kvalitetssäkring av sin fältverksamhet inklusive LOT-försöken. SSM har, bl.a. baserat på sin tidigare granskning av SKB:s kvalitetssäkring av korrosionsförsök, inget skäl att tro att sådan kvalitetssäkring inte skulle genomföras framledes.
- 2) SSM avser att granska SKB:s dokumentation och hanteringen kring de aktuella faserna av LOT-försöket, och kommer vid behov att efterfråga kompletterande information.
- 3) Som framgår ovan har SSM inget mandat att beordra SKB att lämna ut försöksmaterial till SSM.

LOT-försökspaketens betydelse mot bakgrund av pågående prövning av SKB:s slutförvarsansökan

MKG anger att kopparkorrosion i samband med LOT-försöken måste bero på en för SKB okänd korrosionsprocess, förmodligen reaktion mellan koppar och vattenmolekyler, eftersom korrosionen inte orsakats av reaktion med syre. Det hävdas även i skrivelserna att tillgängligt syre inte kan nå kopparytorna (annat än i mycket liten omfattning), eftersom det innan dess har förbrukats av bakterier och kemiska reaktioner. SSM instämmer inte med denna bedömning. Myndigheten anser att det är rimligt att korrosion och korrosionsprodukter som har observerats under försöken (sid 354 i ref.[4]) avser korrosion under oxiderande betingelser med syre. Detta innebär inte att SSM utesluter att syreförbrukning även kan förekomma som en följd av mikrobiella processer, men den relativa betydelsen av denna typ av reaktion förväntas vara större i det fullstora slutförvaret, än jämfört med de små nerskalade LOT-försöken. I LOT är genomsnittligt avstånd mellan tillgängligt syre och koppar mycket mindre än i slutförvaret, och så länge systemet initialt var omättat var diffusion av syre i gasfas en verksam transportprocess, vilken är cirka 5000 gånger snabbare i jämförelse med diffusion av löst syre i vattenfasen [5]. En förhållandevis snabb reaktion mellan syre och uppvärmda och ganska oexponerade kopparytor är knappast oväntad.

I sin andra skrivelse (daterad 2019-11-19) föreslår MKG att en helt ny etapp av LOT-försöket genomförs under en kortare tidsperiod i stort sett enbart för att påvisa att en reaktion mellan syre och koppar verkligen förekommer. SSM kan dock konstatera att vissa begränsade försök med likartade syften redan har genomförts. I en nyligen genomförd experimentell undersökning som SKB presenterade som en del av sin senaste korrosionskomplettering [6] har syrehalten



kontrollerats kontinuerligt i ett skalförsök med kopparvärmare och bentonitblock, respektive enbart bentonit [7]. Där visades en snabb minskning av syrehalten i försöket med kopparvärmare under drygt en månad, medan syrehalten under en tidsperiod av cirka 1 år endast långsamt minskade i försöket med bara bentonit. Resultaten från detta försök antyder således förekomst av en relativt snabb inledande reaktion mellan koppar och syre såsom beskrivs ovan.

MKG hävdar i sin första skrivelse (daterad 2019-10-24) att SKB:s teoretiska modell för korrosion inom säkerhetsanalysen anger att kopparytorna ska vara i stort sett opåverkade av korrosion efter en inledande period (tidsperioden 20 år som för LOT S2). SSM kan dock konstatera att SKB i underlaget till sin ansökan förutsåg en ganska betydande initial kapselkorrosion av inestängt syre även om tidsramen tills syreförbrukningen fullbordats inte specificerats till just 20 år. Den är pessimistiskt skattad till ungefär 500 mikrometer [8,9,10]. I jämförelse med denna skattning är den konstaterade omfattningen av korrosion för korrosionskuponger för de redan avslutade faserna av LOT, Minican respektive FEBEX-försöket små. Den gravimetriskt bestämda totala omfattningen av korrosion uppgår till någon eller några mikrometer (sid 354 i ref.[4]), förutom FEBEX med totalt 8,5 mikrometer (sid B-20 i ref.[11]). Skillnader mellan de uppmätta korrosionsangreppen och SKB:s ovan beskrivna förutsägelser kan delvis förklaras av att den inestängda mängden syre skulle vara väsentligt mycket större i ett verkligt slutförvar med fullstora deponeringshål och deponeringstunnlar. Små korrosionsangrepp just för korrosionskupongerna kan möjligen också kopplas till att den mest omfattande kopparkorrosionen avser just den varmaste delen av centralröret så som MKG påpekar, men enligt SSM:s bedömning i så fall sannolikt som en följd av en temperaturberoende reaktionshastighet mellan koppar och syre.

Den schweiziska organisationen med ansvar för slutförvaring av radioaktivt avfall, Nagra, har även beräknat en genomsnittlig korrosionshastighet för koppar inom FEBEX baserad på gravimetri (dvs. vikt av koppar före och efter exponering) som motsvarar 0,5 mikrometer per år (sid B-20 i ref.[11]). SSM konstaterar att denna typ av beräkningsresultat lätt kan missförstås och tolkas som att korrosionen har varit jämnt fördelad i tiden, medan gravimetrisk bestämning av korrosion på detta sätt i själva verket inte ger information om när korrosion har ägt rum som funktion av tiden.

MKG omnämner de metallografiska undersökningar som påvisar ojämna korrosionsangrepp på kopparytorna i samband med FEBEX-försöken. Ifrån rapporteringen från försöken framgår maximala penetrationsdjup för denna typ av korrosion som omfattar ungefär 100 mikrometer (sid B-5 i ref.[11]). Detta resultat stämmer rimligt väl överens med observationer från andra liknande undersökningar (sid 98 i ref.[10]), i vilka fenomenet benämns ”under-deposit corrosion”. SKB har definierat en förväntad omfattning av korrosionsformen på runt 50 mikrometer. SSM konstaterar på basis av FEBEX-resultaten att denna siffra kan underskatta korrosionsformens betydelse, men att den ändå är av liten betydelse i sammanhanget. ”Under-deposit corrosion” avser dock inte den potentiellt långsiktigt mer uthålliga och därmed betydelsefulla korrosionsformen som uppstår under kemiskt reducerande förhållanden i sulfidmiljö och som SKB benämner mikrogalvanisk korrosion [6]. Denna korrosionsform resulterar i helt andra



korrosionsprodukter. Den finns beskriven i SKB:s kompletterande redovisning om korrosionsfrågor, och har implementerats inom konsekvensanalys [6].

Andra kopparkorrosionsprocesser som skulle kunna förekomma under LOT-försöken efter att allt syre har förbrukats är: reaktion mellan koppar och koppar(II)-joner (som bildats vid korrosion under den oxiderande fasen), korrosion av koppar med järn(III) från lermineral, sulfidkorrosion från mikrobiell förbrukning av organiskt material och sulfatmineral i leran, och sulfidkorrosion som en följd av upplösning av sulfidmineral i leran. Dessa processer finns omnämnda och beskrivna i bl.a. ref. [10] och [12]. Processerna kan möjligen ge vissa bidrag till den observerade korrosionen men förväntas vara av mindre betydelse i förhållande till reaktionen med syre, vilket underbyggs av analyserna av korrosionsprodukter [13].

MKG framför i sina båda skrivelser att analysen av de upptagna LOT-paketerna kan ge en avgörande information om koppar är ett lämpligt kapselmaterial. SSM delar inte MKG:s uppfattning i detta avseende. SSM:s bedömning av materialval för KBS-3 systemets korrosionsbarriär (dvs. koppar) har utgått från en utvärdering av skyddsförmågan för hela förvarskonceptet inklusive kopparkapslar (sid 27 i ref.[4]) baserat på granskning av en fullständig säkerhetsanalys [14]. En sådan analys beaktar platsspecifik information om bergets egenskaper, buffertens egenskaper och utveckling, och självfallet även kunskapen om koppars korrosionsegenskaper baserat på resultat från olika typer av redan genomförda experimentella korrosionsstudier (en sammanställning finns i ref.[10]). Platsspecifik information används exempelvis för att bestämma omfattning av grundvattenflöden i sprickor som korsar deponeringshål, vilka har en stor betydelse för den materieöverföring som behövs för att långsiktigt upprätthålla korrosionsprocesser.

SSM konstaterar i sin granskning av SKB:s säkerhetsanalys (sid 318 i ref.[4]) att korrosion av koppar kan delas in i två kategorier:

- Korrosion orsakad av materieutbyte mellan deponeringshålen och omgivande grundvatten
- Korrosion orsakad av reaktioner med initialt tillförda material vilka är oberoende av materietransport utanför de utsprängda tunnarna.

De ovan diskuterade korrosionsprocesserna (förutom mikrogalvanisk korrosion) är av den sistnämnda typen och pågår endast under en i säkerhetsanalysens sammanhang kortare tidsperiod, tills reaktiva ämnen i kapselns närhet har förbrukats. Därefter upphör deras bidrag till en fortsatt korrosion av koppar helt. Den korrosion som orsakas av initialt tillförda korroderande ämnen och material ger därför ingen avgörande information om kapselns bidrag till slutförvarets skyddsförmåga, såvida den inte skulle kunna medföra en total omfattning av korrosion som är betydande i förhållande till kopparhöljets tjocklek. Eftersom det sistnämnda med all sannolikhet inte är fallet för LOT-försöken kan de heller inte förväntas ge någon avgörande information om koppar som materialval. I avsaknad av fullständig kontroll av omgivningsbetingelser och syreexponering under denna typ av fältförsök är möjligheterna att med någon större precision på förhand definiera förväntad omfattning av korrosion begränsade.



SKB:s säkerhetsanalys visar att det är den första kategorin av korrosionsprocesser i punktlistan ovan som på mycket lång sikt skulle kunna orsaka kapselbrott och spridning av radioaktiva ämnen i en relevant tidsskala, om ett antal olika ogynnsamma förhållanden skulle sammanfalla i ett och samma deponeringshål. Även om korrosion av denna typ är mycket långsam fortgår den i motsats till den andra kategorin mer eller mindre kontinuerligt p.g.a. långsamma grundvattenrörelser i sprickor i berget runt deponeringshålen i ett förslutet förvar.

Beträffande korrosion av koppar med vattenmolekyler, som föreslås av MKG, så konstaterar SSM i sin senaste granskning av processen att även om den åtminstone i princip existerar så förväntas den ge försumbara bidrag till kopparkapselns korrosion [15]. Korrosionsprocessen kan, baserat på sedan länge etablerad kunskap om termodynamiska egenskaper för kopparföreningar, visas ske i mycket liten omfattning. Bildningen av de små mängder av vätgas som observerats i olika försök kan ha olika förklaringar, men även om det hypotetiskt förutsätts att bildningen orsakats enbart av korrosion blir korrosionsformens betydelse liten. Experimentella undersökningar har under det senaste decenniet genomförts av bl.a. SKB, KTH och SSM. Frågan har även uppmärksamats i andra länder. Exempelvis kan nämnas en serie kopparkorrosionsförsök som genomförts för att utvärdera processens betydelse för motsvarande kopparkapsel som avsedd för slutförvaring av kanadensiskt använt kärnbränsle. I motsats till de flesta andra studier har denna typ av korrosion här studerats vid olika salthalter och inte bara i helt rent vatten. Korrosionshastigheten i en miljö och temperaturförhållanden som i grova drag påminner om förhållandena i LOT-försöken efter förbrukningen av tillgängligt syre har, baserat på experimentella resultat, uppskattats till 10 nanometer per år som en övre gräns (sid 25-27 i ref.[16]). Detta skulle för ett 20 år långt LOT-försök motsvara ett maximalt totalt korrosionsdjup på 0,2 mikrometer och detta djup skulle således inte utgöra ett betydande bidrag till den korrosion som äger rum av andra orsaker. I ett verkligt förslutet slutförvar skulle denna process ytterligare reduceras av de materieöverföringsbegränsningar som ges av bufferten och berget.

Med vänlig hälsning

Bo Strömberg

Cc: Miljödepartementet



Referenser

- [1] Hicks T.W., *Review of Quality Assurance in SKBs Repository Research Experiments*, SKI Report 2007:11, Swedish Nuclear Power Inspectorate, Stockholm, Sweden.
- [2] Baldwin T.D., Hicks T.W., *Quality Assurance Review of SKB's Copper Corrosion Experiments*, SSM Report 2010:17, Swedish Radiation Safety Authority, Stockholm, Sweden.
- [3] Hicks T.W., *Quality Assurance in SKB's Copper Corrosion Experiments*, SSM Technical Note 2015:29, Swedish Radiation Safety Authority, Stockholm, Sweden.
- [4] SSM, *Strålsäkerhet efter slutförvarets förslutning. Beredning inför regeringens prövning: Slutförvaring av använt kärnbränsle*. SSM Rapport 2018:07, Strålsäkerhetsmyndigheten, 2018-01.
- [5] Cussler E. L., *Diffusion: Mass Transfer in Fluid Systems (2nd ed.)*, New York: Cambridge University Press, 1997.
- [6] SKB, *Supplementary information on canister integrity issues*, Technical Report TR-19-15, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- [7] Birgersson M., Goudarzi R., *Investigations of gas evolution in an unsaturated KBS-3 repository*, Technical Report TR-18-11, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- [8] SKB, *Fuel and canister process report for the safety assessment SR-Site*, Technical Report TR-10-46, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- [9] SKB, *Corrosion calculations report for the safety assessment SR-Site*. Technical Report TR-10-66, Svensk Kärnbränslehantering AB, Uppdaterad 2012-01.
- [10] King F., Lilja C., Pedersen K., Pitkänen P., Vähänen M., *An update of the state-of-the-art report on the corrosion of copper under expected conditions in a deep geologic repository*, Technical Report TR-10-67. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- [11] Wersin P., Kober F. (eds.), *FEBEX-DP Metal Corrosion and Iron-Bentonite Interaction Studies*, Nagra Arbeitsbericht NAB 16-16, National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste, Switzerland.
- [12] Wersin P., *LOT A2 test parcel, Compilation of copper data in the LOT A2 test parcel*, Technical Report TR-13-17, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- [13] Karnland O., Olsson S., Dueck A., Birgersson M., Nilsson U., Hernan-Håkansson T., Pedersen K., Nilsson S., Eriksen T. E., Rosborg B., *Long term test of buffer material at the Äspö Hard Rock Laboratory, LOT project. Final report on the A2 test parcel*. Technical Report TR-09-29, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- [14] SKB, *Redovisning av säkerhet efter förslutning av slutförvaret för använt kärnbränsle. Huvudrapport från projekt SR-Site*. Technical Report TR-11-01 (Art818), Svensk Kärnbränslehantering AB, Uppdaterad 2012-12.
- [15] SSM, *SSM:s granskning av SKB:s komplettering till regeringen om kapselintegritet*, SSM2019-3222-4, Strålsäkerhetsmyndigheten, 2019-09-30.
- [16] NWMO, *Technical Program for Long-Term of Canada's Used Nuclear Fuel – Annual Report 2015*. NWMO-TR-2016-01, Nuclear Waste Management Organization, Canada.