



## Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall - degraderingsprocesser för kapseln

Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) har vid granskningen av Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB) ansökan om tillstånd enligt lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet för ett slutförvar för använt kärnbränsle och kärnavfall, funnit behov av nedanstående kompletteringar avseende olika typer av degraderingsprocesser för ingående material i kapseln och som kan inträffa efter deponering:

SSM önskar att kompletteringarna eller en tidplan och strategi för dess framtagande är myndigheten tillhanda senast den 2012-10-31.

Om SKB önskar ytterligare förklaringar eller förtydliganden av de frågor som omfattas av denna begäran, och som inte avser enklare klargöranden av praktisk eller administrativ karaktär, ska detta ske vid protokollförda möten mellan berörda personer på SSM och SKB.

### Kompletteringar

1. Redovisning av kopparkorrosion innan återmättnad av buffert då kapseln är i kontakt med en gasfas.
2. Utökad analys och redovisning av risk för lokal kopparkorrosion i såväl syrgasinnehållande som syrgasfritt grundvatten. Redovisningen bör även belysa eventuell risk för saltanrikning i närheten av kapselytan innan bufferten är återmättad och hur sådana avlagringar kan påverka gropfrätningspotentialen.



3. Utökad redovisning med argument för att kloridassisterad kopparkorrosion kan uteslutas för kloridkoncentrationer  $< 2M$  (säkerhetsfunktionsindikator R1f).
4. Utökad underlag som stöd för antagandet att korrosion orsakad av  $HS^-$  är masstransportbegränsad i slutförvarsmiljö.
5. Inverkan av läckströmmar från högspänningskablar på kopparkorrosion.
6. Kopparkorrosion på kopparkapselns insida orsakad av kvarvarande vatten i bränsleelementen och lättflyktiga fissionsämnen.
7. Redovisning av hur kalldeformationsgraden påverkar kopparkorrosion.
8. Spänningskorrosion av koppar orsakad av radiolysprodukter eller sulfidinnehållande syrgasfria vattenmiljöer.
9. Redovisande underlag som visar att försprödning av koppar orsakad av reduktion av kopparoxid inte sker vid exempelvis upptag av atomärt väte i koppar från korrosionsreaktioner.
10. Inverkan av bestrålning på den gjutna segjärnsinsatsen materialegenskaper.

## Skälen för begäran om komplettering

### *Kopparkorrosion*

SKB har redovisat att kopparkorrosion innan vattenmättnad av buffert endast sker med tillgängligt syre i deponeringstunnlarna efter förslutning /TR-10-46/, kap 3.5.4. SSM anser att SKB bör redovisa orsaken till att atmosfärisk kopparkorrosion innan vattenmättnad av buffert dessutom inte kan ske med andra lösta gaser i grundvattnet exempelvis  $H_2S$ , vilka kan stå i jämvikt med gasfasen i deponeringstunnlarna /Szakálos, Seetharaman, 2012/. Gasfasens sammansättning i jämvikt med grundvattnet och som ett resultat av gammalradiolys i gasfas såväl som vattenfas bör i detta sammanhang beaktas. För den tid innan tillfartstunnlarna har återförslutits bör även en bedömning göras av hur syregasutbytet mellan tillfartstunnlarna och deponeringstunnlarna inverkar på korrosionen.

SKB redovisar att lokal korrosion (gropfrätning) möjligen kan ske tidigt efter deponering när syrgas finns närvarande i grundvattnet /TR-10-46/. Denna bedömning av lokal korrosion grundas på bedömning att skillnaden mellan gropfrätningspotentialen ( $E_b$ ) och korrosionspotentialen är tillräckligt stor. SSM anser att SKB bör redovisa ytterligare stöd för detta angreppssätt genom att redovisa en probabilistisk bedömning av risk för lokal korrosion på kapslar i såväl syrgasinnehållande som syrgasfritt grundvatten. Den probabilistiska bedömningen av risk för lokal korrosion bör dels innehålla hur stor potentialskillnad mellan gropfrätningspotentialen och korrosionspotentialen som är tillräcklig för att initiering av gropfrätning ska



anses som försumbar, dels att SKB bör presentera en modell som beskriver korrosionspotentialens och gropfrätningspotentialens förväntade utveckling med avseende på grundvattnets kemiska sammansättning, gammarradiolys och temperatur /Scully, Hicks, 2012/. I den förväntade utvecklingen av den kemiska sammansättningen i grundvattnet bör även dels saltanrikning i närheten av kapselytan innan buffert är återmättad beskrivas och dels redogöra för inverkan av avlagringar på gropfrätningspotentialen.

SKB fastslår dels att koppar är termodynamiskt immunt i syrgasfritt grundvatten /TR-10-46/ dels att kloridjoner inte kan delta i kopparkorrosionsreaktioner då  $Cl^- < 2M$  /TR-11-01 vol. II/. Vad gäller korrosion av koppar i syrgasfritt vatten är de kompletteringar som tidigare lämnats in till SKB (SSM2011-2426-16) fortsatt giltiga. Till dessa kompletteringar bedöms även att SKB bör redogöra för orsaken till varför korrosion i syrgasfria grundvattenmiljöer innehållande kloridjonkoncentrationer  $< 2M$  för olika kopparjonkoncentrationer inte kan påverka kopparkorrosion efter att kapslarna deponerats.

SKB har även analyserat kopparkorrosion i syrgasfritt rent vatten som ett restskenario i /TR-10-66/ genom att använda experimentellt uppmätta vätgasstryck från /Szakálos, Hultquist, Wikmark, 2007/. Dessa analyser i /TR-10-66/ bygger på antagandet att kopparkorrosion i syrgasfritt rent vatten begränsas av bortdiffusion av vätgas genom vattenfasen i bufferten. SSM anser att SKB måste belägga antagandet att kopparkorrosion begränsas av masstransport av vätgas bort från kapseln i syrgasfritt grundvatten.

Kopparkorrosion i syrgasfritt grundvatten orsakad av  $HS^-$  beskrivs av SKB som masstransportbegränsad /TR-10-46/. SKB har emellertid inte i tillräcklig utsträckning visat att korrosionshastigheten för koppar i sulfidhaltig grundvattenmiljö stökiometriskt begränsas av masstransport av  $HS^-$  /Scully, Hicks, 2012/. Baserat på detta anser SSM att SKB bör redovisa experimentellt underlag eller presentera utförligare underlag som tydligt visar att masstransport av  $HS^-$  i syrgasfritt grundvatten avgör hur fort koppar korroderar.

SKB anser att korrosion från läckströmmar begränsas av närvaro av lösta ämnen i grundvattnet och att nuvarande högspänningskabel eller framtida endast kommer att förekomma under kort tid jämfört med förvarets förväntade skyddsförmåga. SSM anser att SKB bör redovisa hur stora korrosionshastigheter beroende på läckströmmar som kan förväntas vid olika återmättnadsgrader för bufferten. I denna bedömning bör även hänsyn tas till reduktion av vatten som trolig katodreaktion. Detta beroende på att koppar inte kan anses som termodynamiskt immunt i rent vatten /Szakálos, Seetharaman, 2012/ och att undersökningar pågår för att beskriva experimentella resultat med kopparkorrosion i syrgasfritt vatten. Dessutom



önskas även att risk för gropkorrosion i samband med läckströmmar bedöms probabilistiskt enligt komplettering nummer 2.

Baserat på att framtidens situation med högspänningskablar är svåra att bedöma önskas i ett BAT-perspektiv även en redovisning av hur eventuella läckströmmar kan påverka kopparkorrosion som funktion av förvarsdjup.

SKB beskriver i /TR-10-46, kap. 2.5. 2/ att vatteninnehåll i bränsleelement maximalt kan uppgå till 600 g. Detta vatten antas av SKB konsumeras via korrosion av den gjutna insatsen, och reaktionsprodukter från radiolys endast kommer att ge upphov till korrosionsreaktioner med den gjutna insatsen. SSM anser att SKB bör redogöra för bakgrunden till detta antagande och exempelvis beskriva varför kondensering på kopparkapselns inre yta inte kan ge upphov till kopparkorrosion på lokalt avgränsade ytor på kapseln insida. I denna redovisning bör även ingå att beskriva hur korrosionen på kapselns insida påverkas av lättflyktiga fissionsämnen som exempelvis jod.

SKB redovisar i TR-10-46 att galvaniska celler mellan kallbearbetade områden och icke kallbearbetade områden på koppar troligen inte kommer att bildas. Stödjande referenser som SKB åberopar visar att korrosionshastigheten för koppar ökar med avseende på kallbearbetningsgrad men även att inverkan på kallbearbetningsgrad kan vara miljöberoende /Songbo, Yin 2005/. De kallbearbetade områden som SKB bedömer i detta avseende är kallbearbetning uppkommen genom intryck och skrapmärken från hantering och transport av kapseln innan deponering. SSM bedömer att kallbearbetning från hantering och transport kan betraktas som relativt ytliga. SKB har emellertid i /TR-10-14/ redovisat att kallbearbetade områden inte kan undvikas vid tillverkning av kopparkapselns lock och botten. Dessa kallbearbetade områden anser SSM inte vara tillräckligt belysta med avseende på dess eventuella påverkan på kopparens korrosionshastighet. SSM anser mot denna bakgrund att SKB bör ta fram ytterligare redovisning avseende bildande av galvaniska celler och korrosionshastigheten för aktuell koppar och kallbearbetningsgrader i syrgasfria såväl som syrgasinnehållande grundvattenmiljöer.

#### *Spänningskorrosion*

SKB har i processrapporten /TR-10-46/ inte redovisat hur oxidanter som bildas vid radiolys påverkar tendens för spänningskorrosion. SSM anser att SKB måste redogöra om orsaken till varför inverkan av radiolys dels inuti kapseln dels utanför kapseln på risk för spänningskorrosion kan uteslutas.

Risk för spänningskorrosion utan närvaro av syrgas men med närvaro av  $\text{HS}^-$  i grundvatten har av SKB bedömts som försumbar /TR-10-46/. Denna uppfattning finner SSM inte vara helt övertygande eftersom att experimentellt underlag visat att SCC kan ske i dessa typer av miljöer



/Taniguchi, Kawasaki 2008/. Dessutom har SKB lyft fram en tänkbar mekanism för spänningskorrosion i syrgasfria sulfidhaltiga miljöer "Aaltonen mekanismen" /TR-10-04/. SSM anser av denna anledning att SKB bör redogöra varför risken för spänningskorrosion i syrgasfria sulfidhaltiga vattenmiljöer är försumbar trots att experimentella resultat förekommer som visar motsatsen.

#### *Väteförsprödning*

En form av väteförsprödning av koppar som inte berörs i TR-10-46 är försprödning av koppar orsakad av reduktion av kopparoxider som kan förekomma i kopparmaterialet. Kopparoxider kan exempelvis bildas vid FSW svetsning och under tillverkningen av kopparkapseln. Denna mekanism är känd under namnet "vätesjuka" och är exempelvis beskriven i /Ransley 1939/. SSM anser att SKB bör presentera underlag varför denna försprödningsmekanism inte är verksamt i slutförvarsmiljö vid exempelvis upptag av atomärt väte i kopparmetallen från korrosionsreaktioner och därmed utesluts från redovisning i SR-site.

#### *Effekt av gammabestrålning på materialegenskaper*

För att undvika försprödning av den gjutna segjärnsinsatsen kravsätter SKB halten av koppar i insatsen till max 0.05%. Detta krav baseras på beräkningar av lågkolhaltiga stål /Brissonneau, Barbu, Bocquet, 2004/. SSM anser att SKB bör redogöra varför gammastrålningsförsprödning av lågkolhaltiga stål ger ett representativt underlag för att bedöma hur gjutet segjärn med annorlunda kemisk sammansättning, mikrostruktur och betydligt större inslag av segring av legeringselement jämfört med lågkolhaltigt stål påverkas av gammastrålning. Dessutom önskar SSM att SKB presenterar någon form av experimentell verifiering av bedömningen att gammabestrålning inte påverkar materialegenskaperna för segjärn. Därutöver bör SKB bedöma om och i förekommande fall vilka konsekvenser av strålningsinducerad segring av fosfor till korngränserna i de gjutna segjärnsinsatserna.

De kompletteringar som begärs handlar samtliga om processer som kan påverka kopparkapselns funktion efter förslutning i enlighet med SSMFS 2008:21 5§.

Denna begäran om komplettering har beretts i tillståndsprövningsprojektets SIR grupp (Safety integration review team) och föredragits av Jan Linder.

*Ansi Gerhardsson*  
Projektledare

*Jan Linder*  
Handläggare



## Referenser

Brissoneau L, Barbu A, Bocquet J-L, 2004. Radiation effects on the long-term ageing of spent fuel storage containers. Packaging, Transport, Storage and Security of Radioactive Material, 15, pp 121–130.

Ransley, C., E., 1939, The diffusion of oxygen in copper, Journal of the Institute of Metals, Vol. 65pp. 147-142. NNA.890921.0092.

Scully, J., R., Hicks., T., W., 2012, Initial review phase for SKB's safety assessment SR-site: corrosion of copper, SSM2012:21.

Songbo Y., Li, D., Y., 2005, Effects of cold work on corrosion and corrosive wear of copper in HNO<sub>3</sub> and NaCl solutions, Materials Science and Engineering A 394, pp. 266-276.

Szakálos, P., Hultquist, G., and Wikmark, G., 2007, Corrosion of copper by water, Electrochem. and Solid State Letters, 10 (11) pp. C63-C67.

Szakálos, P., Seetharaman, S., 2012, Corrosion of copper canister, SSM2012:17.

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