



Minnesanteckningar från avstämningsmöte mellan SSM och SKB angående kompletteringar rörande kapselrelaterade frågor

Tid och plats:

2014-04-25, SSM

Deltagande:

SKB

Olle Olsson
Saida Laârouchi Engström
Christina Lilja
Jan Sarnet (förmiddag)
Jan Eckerlid
Helene Åhsberg
Ulf Ronneteg (förmiddag)
Mikael Jonsson (förmiddag)
Rolf Sandström (KTH, förmiddag)
Allan Hedin (eftermiddag)
Johannes Johansson (eftermiddag)

SSM

Michael Egan
Lena Sonnerfelt
Jan Linder
Clara Anghel
Björn Brickstad (förmiddag)
Peter Ekström (förmiddag)
Giselle Garcia Roldán (förmiddag)
Bo Strömberg (eftermiddag)
Jinsong Liu (eftermiddag)
Shulan Xu(eftermiddag)

Syfte

Syftet med detta möte var att SSM skulle få möjlighet att ställa frågor av klargörande karaktär på de kompletteringar som hade skickats in av SKB samt hur nya resultat påverkar säkerhetanalysen. Av denna anledning skickades ett antal frågor till SKB i förväg för att underlätta förberedelsen för mötet. Samtliga frågor och SKB:s svar på dessa finns redovisade i SKB:s presentationsbilder vilka diarieföras som en bilaga till detta SSM dokumentnummer SSM2011-1137-61.

Agenda

9:00 – 12:00

Del 1: Tillverkningsaspekter och mekanisk integritet

- a. Introduktion
- b. Kapselns mekaniska integritet
- c. Tillverkningsaspekter
- d. Krypprovning och modellering
- e. Kontroll och provning



13:30 – 16:30

Del 2: Degraderingsprocesser

- a. Degraderingsprocesser för kapseln
- b. Kopparkorrosion i syrefritt vatten
- c. Kopparkapselns initialtillstånd
- d. Korrosionsscenario
- e. SSM:s presentation angående pågående forskningsprojekt för undersökningar av kopparkorrosion

Del 1: Genomgång av utestående frågor avseende kapselns mekaniska integritet, tillverkningsaspekter samt kontroll och provning

Kapselns krypegenskaper

Rolf Sandström, KTH, redovisade SKB:s svar på nedanstående frågor från listan till mötet den 11 mars (SSM2011-1137-56), minnesanteckningar från mötet den 11 mars (SSM2011-1137-58) samt listan inför mötet den 25 april (SSM2011-1137-59) angående krypbrottförlängning av koppar.

Fråga 1:

I SKB:s komplettering SKBdoc 1417069 (sid 16) anges följande "*Since particles are infrequent in Cu-OFP, it is assumed in the modelling that the dislocation substructure controls the nucleation*". SSM undrade vilken grund finns för detta uttalande.

SKB hänvisat till Schiavons examensarbete som handlade om en metallografisk undersökning av FSW-svetsad OFP-koppar. Man enades om att SKB ska skicka detta examensarbete till SSM efter mötet.

Fråga 2:

SSM önskade en redogörelse för vilket experimentellt underlag som finns till stöd för SKB:s fundamentala krypmodell av OFP koppar.

SKB redovisade experimentellt underlag till stöd för sin krypmodell, men medger samtidigt att denna fundamentala modell innehåller en empirisk korrektionsterm för koppar legerat med fosfor.

Fråga 3:

SKB TR-09-32, kap. 5.2 visar att ett kopparmaterial med 30-100 ppm fosfor har cirka 3 ggr högre krypbrottförlängning jämfört med ett kopparmaterial utan fosfor. SSM hade efterfrågat om det finns ytterligare information som visar att krypbrottförlängningen är tillräcklig med fosforhalter mellan 30-100 ppm.

SKB redovisade att gränsvärdena baseras på resultat i TR-99-39. Den mekanistiska grunden är att koncentrationen av fosfor är mycket hög vid dislokationer och i korngränser. Det finns emellertid inget experimentellt underlag som visar hur fosfor är fördelad. Ytterligare krypförsök pågår. SSM undrar fortfarande hur experimentella krypdata som tas fram kan användas vid bedömning av relevanta tider för slutförvaret, se även ytterligare diskussion nedan.

Nya frågor avseende kryp

SSM framförde på mötet en fråga angående SKB:s bedömning av den höga kryptöjning som redovisats i SKBdoc 1399768, figur 10-2. Vid mötet kom SSM och SKB överens om



att SSM ska formulera frågor som SKB ska besvara vid kommande möte den 25 juni. SSM:s frågor är som följer:

1. Figur 10-2 anger kryptöjning (CEEQ (equivalent creep strain)). SSM undrar om detta motsvarar SKB:s töjningsmått på kravställda krypbrottöjning som härrör från enaxliga prov? Varför anges inte huvudtöjningar istället i beräkningsrapporten?
2. Enligt figur 10-2 visar beräkningsresultatet höga kryptöjningar vilka överstiger föreskrivna krypduktillitet för OFP-Cu (>15%). Hur påverkar detta kopparmaterialets integritet? Kommer krysprickor att bildas i materialet och hur utvecklas dessa över tid?
3. SKB bör ytterligare förklara varför Kjell Pettersons resultat (ref 37 i SKBdoc 1417069) inte gäller vid längre kryptider. Sandström hänvisar till Considères kriterium vad gäller skillnader i brottöjning vid olika temperaturer. Kjell Pettersson påvisade även skillnader i duktillitet vid olika töjningshastigheter samt erhöll interkristallina brottytor, hur kan detta förklaras?

SKB svarade på delar av ovanstående frågor från SSM under mötet. Dessa sammanfattas nedan.

- *Vid vilken töjningshastighet börjar SKB:s krypmodell att gälla?*
SKB svarade att krypprovningsförsök pågår under minst 1000h.
- *Finns experimentellt stöd som visar att P-halten i korngränser är den som förutspås av SKB:s modell?*
SKB svarade att något experimentellt stöd inte finns.
- *Extrapolering av kryptdata är osäkert till långa kryptider (10^3 - 10^4 år), kan extrapoleringen av kryptdata förbättras på något sätt?*
SKB svarade att extrapolering av kryptdata kan göras 3-4 ggr men vid extrema fall med en faktor 10.
- *Vilken mekanism är verksam för att krypbrottöjningen för OF-koppar minskar vid långa kryptider, enligt SKB:s modell?*
SKB svarade att tiden är avgörande, vid längre tider bildas fler kaviteter som bidrar till minskad duktillitet.

Kapselns mekaniska integritet

Mikael Jonsson redovisade SKB:s svar på frågorna angående kapselns mekaniska integritet från listan till mötet den 11 mars (SSM2011-1137-56) och protokollet från mötet den 11 mars (SSM2011-1137-58).

Fråga 4 angående relaxering av materialkrav för kapseln & Fråga 8 angående undre gränsvärden kontra medelvärden

SSM anser att det fortfarande finns oklarheter med hur SKB avser att med ett fåtal prov vid tillverkningen av insatserna visa att man i hela insatsen uppfyller de minimumkrav på brottöjning (7 %) och brottseghet som finns. SSM hade därför efterfrågade en statistisk analys där man kopplar utfallet av ett antal prov (vid tillverkningen) med vilken konfidensgrad man kan uttala sig om att den efterfrågade storheten överstiger ett visst minimumvärde. SSM anser även att resultat från gjutsimulering (SKBdoc 1414760) vilken redovisar skillnader i stelningstid mellan olika delar av insatsen (BWR och PWR) måste beaktas vid denna analys. Det finns väletablerade statistiska metoder som kopplar antal prov, utfall av provningsresultat samt konfidensgrad. SKB angav på mötet att man skulle genomföra detta vilket beräknas vara färdigt under juni 2014.

SSM efterfrågade en rapport från SKB som beskriver gjutsimulering av BWR- och PWR-insatser. SKB skickar denna till SSM efter mötet.



SKB meddelade att svaret på SSM:s begäran om förtydligande information angående spänningsfördelningar i kapseln under vissa belastningsfall (SSM 2011-2426-173) nästan är klart. Resultat ska lämnas senast i juni 2014 men en del kan vara klar ganska snart, under maj.

SKB avser att genomföra kompletterande analyser av spänningstillståndet för kapseln i två skjuvriktningar ihop med undersökning av minskat kantavstånd på grund av toleranser vid tillverkningen. Detta beräknas vara klart under juni 2014. Därefter planeras att genomföra en förnyad analys av acceptabla defektstorlekar i olika delar av kapselns tvärsnitt och i olika vinklar i förhållande till kapselns symmetriaxel. Preliminärt beräknas dessa analyser vara klara under oktober 2014.

SKB återkommer med tidplan angående SSM:s begäran kring inverkan av koppartjocklek på kapselns designanalys (SSM2011-2426-172). SKB planerar att ta fram en känslighetsanalys för olika tjocklekar på kopparhöljet när skjuvbelastning inträffar.

SKB informerade om att materialkraven vid tillverkningen ska inkludera grafitens form och maximal perlithalt för insatsen. SSM framförde att även krav på karbider i mikrostrukturen bör införas. SSM anser att SKB bör redovisa anledningen till de mikrostrukturkrav som nu fastställts, dvs. underlag som visar att segjärn enligt SKB:s materialkrav uppfyller krav på duktilitet och brottseghet.

Tillverkningsaspekter

Mikael Jonsson redovisade SKB:s svar på frågor angående tillverkningsaspekter från listan till mötet den 11 mars (SSM2011-1137-56), protokollet från mötet den 11 mars (SSM2011-1137-58) samt listan inför mötet den 25 april (SSM2011-1137-59).

Koppardetaljer:

SSM efterfrågade en beskrivning av hur tillsats av fosfor görs, i skänk eller vid avgjutning?

SKB svarade att processinformation är sekretessbelagd av tillverkningsföretaget och att SKB inte fått tillgång till denna information. SKB ska undersöka möjligheterna att istället redovisa hur homogeniteten av kopparn ska säkerställas och kontrolleras efter att fosfortillsats har gjorts. SSM ställer sig frågande till hur SKB kan presentera hur kontroll av materialets fosforhalt ska göras, utan att kunskap finns hur tillsatsen av fosfor planeras ske. Fosfors roll för upprätthållande av koppar-materialets krypduktilitet är enligt SKB central för att SKB:s krav på krypduktilitet ska uppnås.

Friktionssvets:

SSM efterfrågade en förtydligande kring hur riskbidraget blir påverkat om sammanhängande oxidpartiklar i svetsgodset förekommer. Frågan härrör från SKB:s beslut att införa skyddsgas för friktionssvets i kapselns referensutformning.

SKB svarar att detta fortfarande är en pågående process hos SKB och att SSM:s fråga kvarstår. SSM funderar om vilka krav på acceptanskriterium finns för syrehalten under svetsning samt hur påverkar detta oxid-uppbyggnaden i svetsområdet. SSM anser att SKB även bör redovisa om och i så fall hur en reducerande miljö påverkar kopparoxidpartiklar i såväl grundmaterial som i FSW-svetsgodset.

Kontroll & provning

Under mötet med SKB den 11 mars presenterade SSM en del frågor på de inkomna kompletteringarna efter en översiktlig genomgång av underlaget, se mötesprotokoll SSM2011-



1137-58. Vid mötet 11 mars såväl som vid nuvarande möte uttryckte SKB önskemål om att fortsätta diskutera kontroll- och provningsfrågor.

Nästa möte

Kontroll och provning

Ett nytt möte mellan SKB och SSM bestämdes till *måndagen den 2 juni under eftermiddagen*. SSM kom senare med ett nytt förslag på datum, *torsdagen den 5 juni, kl. 09.00 – 12.30* för att alla berörda deltagarna från SSM ska kunna delta.

Mekanisk integritet (inklusive kryp) och tillverkningsaspekter

Nytt möte för genomgång av resterande frågor avseende kapselns mekaniska integritet och tillverkningsaspekter bestämdes till *den 25 juni, kl 13.00*. Det bedömdes som viktigt att den statistiska utvärderingen i samband med tillverkningen som nämnts ovan är klar innan nästa möte.

Del 2: Genomgång av utestående frågor avseende degraderingsprocesser

Degraderingsprocesser för kapseln

SSM har tagit upp några frågor av klargörande karaktär på de kompletteringar som skickats in av SKB. Detta gäller begäran av komplettering avseende degraderingsprocesser av kapsel (SSM2011-2426-57). SKB har skickat svar i olika omgångar från juni 2013 till februari 2014. SSM listar nedan diskussionerna kring dokumentationen som SKB skickat in för den kompletteringsbegäran som nämns ovan.

Fråga 1

Redovisning av kopparkorrosion innan återmättnad av buffert då kapseln är i kontakt med en gasfas.

SKB meddelar att arbete angående sulfidhalterna pågår och kommer att redovisas i svaret på kompletteringsbegäran (SSM2011-2426-140) avseende utveckling av grundvattenkemi på kort och medellång sikt. SKB kommer även att besvara frågan angående gastäthet av pluggen som en del av samma svar.

SSM ska diskutera internt om hur myndigheten ska gå vidare med denna fråga. Ytterligare frågor till SKB kan förekomma.

Fråga 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.

SKB bekräftar att den probabilistiska analysen som planerades i juni 2013 (SKBdoc 1398013 Version 1.0) inte genomfördes. Skälet till detta finns angivet i en uppdatering av svaret på SSM:s begäran vilket lämnades i februari 2014 (SKBdoc 1398013 Version 2.0). Av svaret framgår att de aktuella kemiska miljöerna gör att gropfrätning- och repassivringspotentialer inte går att beskriva och därmed är det inte möjligt att genomföra den probabilistiska analysen. Slutsatsen bygger på den studie som rapporteras i Bilaga 2 (SKBdoc 1419961) till det senare svaret.



SSM ska diskutera internt om hur myndigheten ska gå vidare med denna fråga. Ytterligare frågor till SKB kan förekomma.

Fråga 3

Ej diskuterad.

Fråga 4

Ej diskuterad.

Fråga 5

Inverkan av läckströmmar från högspänningskablar på kopparkorrosion.

SKB bekräftar att svaret på denna fråga kommer senast den 31 juli 2014.

Fråga 6

Kopparkorrosion på kopparkapselns insida orsakad av kvarvarande vatten i bränsle-elementen och lättflyktiga fissionsämnen.

SSM bedömer att SKB:s argumentation att allt vatten från kopparkapselns insida konsumeras via kopparkorrosion är ett konservativt antagande. SKB har fått nya forskningsresultat avseende frågan om lokal korrosion via vattenradiolys orsakad av strålning från bränslet. SSM anser att det behövs vidare analyser för att få fram en övergripande bild av hur detta kan påverka kapselns integritet långsiktigt.

Fråga 7

Redovisning av hur kalldeformationsgraden påverkar kopparkorrosion.

Rapporten R-14-15 "Corrosion properties of copper materials" finns publicerad på SKB:s hemsida. En rapport som handlar om kallbearbetning beräknas vara klar under sommaren.

Fråga 8

Spänningskorrosion av koppar orsakat av radiolysprodukter eller sulfidinnehållande syrgasfria vattenmiljöer.

Enligt SSM:s mening är frågan inte besvarad i helhet.

Johannes Johansson ska titta i detalj på gropan från MiniCan-försöket (U-böjprov 2). SSM anser att SKB bör bevisa att gropan som framgår i figur 3-11 i SKB R-13-35 är en tillverkningsdefekt som uppkommit då u-böjproven tillverkats. Resultatet från denna analys bör presenteras vid ett senare tillfälle.

Det är inte tydligt om sprickan från Prov 1 skapades av utmattning eller via provning, se SKB R-13-35, Fig 3.15; 3.16. SSM anser därför att en mer detaljerad kontroll av särskilda prov skulle ge värdefull information. Till exempel rekommenderar SSM att båda sprickorna (dvs. prov WOL1 och WOL2) bör brytas upp och brottyorna analyseras. För att bidra effektivt till SSM:s bedömning bör resultatet redovisas till SSM vid ett senare tillfälle.

Fråga 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.

SKB har i SKBdoc 1398013 redovisat att vätesjuka tas upp i TR-09-22. SSM anser att SKB i TR-09-22 tar upp vätesjuka i samband med tillverkning av koppar men myndig-



hetens ursprungliga kompletteringsbegäran avser reduktion av kopparoxider i materialet efter att kapseln deponerats. SKB förtydligar att TR-09-22 och TR-10-46 inte tar upp hur reduktion av kopparoxider påverkar kopparmaterialet efter deponering. SSM anser därför att SKB inte har kompletterat med varför denna försprödningsmekanism inte är verksam i slutförfarsmiljö för koppar, i enlighet med den begäran. SKB meddelade även att nya experiment pågår vilka kommer att redovisas innan sommaren 2014.

Fråga 10

SSM undrar om det finns någon plan för det fortsatta arbetet rörande bestrålning av gjutna segjärn och materialegenskaper samt när rapport R-13-50 kommer ut?

SKB meddelade att R-13-50 kommer bli publicerad inom några veckor. Nya försök med bestrålat gjutjärn är planerade. Tidiga resultat visar att Cu-halten i segjärn är rimlig – inga kluster har upptäckts.

SSM anser att SKB:s bedömning av bestrålningseffekt på segjärnets seghetsegenskaper bör innehålla en analys av varierande kopparhalt i insatsen beroende på segring av koppar vid stelning.

Korrosion av koppar i syrefritt vatten (SSM2011-2426-16)

Allan Hedin från SKB presenterade en detaljerad plan angående experiment kopplade till kopparkorrosion planerade under våren 2014. Det finns kombinationer av kopparkvaliteter och ytbehandlingsmetoder som studeras hos Micans med avseende på vätgasutveckling samt med gasförsöket i Uppsala. SKB fortsätter också med teoretiska och experimentella studier.

SKB ska skicka en lägesrapport till SSM till sommaren. Detta blir den sista rapporten före kungörelsen av SKB:s ansökningar (planerad till hösten), men arbetet fortsätter.

Kopparkapselns initialtillstånd

Initial koppertjocklek

Det är viktigt att initialtillståndet av kopparkapseln är väldefinierat. Detaljerade acceptanskriterier för defekter i kapseln och dess komponenter behövs för att kunna säkerställa att provning är möjlig samt att alla defekter som kan påverka långsiktig säkerhet ska kunna detekteras. Denna fråga har kopplingar till kontroll- och provningsfrågorna.

SSM påpekade att det bör vara möjligt att med probabilistiska metoder närmare undersöka riskbidraget som följer av att kapseln har en reducerad godstjocklek p.g.a. tillverknings-toleranser och defekter. Betydelsen av att en kapsel har reducerad godstjocklek beror på om den placeras i ett deponeringshål med relativt snabbt eller relativt långsamt massutbyte med omgivande grundvatten.

Frågor avseende korrosionsscenario (SR-Site)

SSM önskar att SKB förtydligar korrosionsmekanismerna för kopparkapseln för de första 1000 åren samt evolutionen upp till erosionstid för bufferten och sedan upp till 100000 år. Dessutom bör SKB ta hänsyn till senaste korrosionsdata och in-situ exponeringsdata som SKB har för tiden efter deponering samt visa hur detta påverkar korrosionsscenarioet. SKB bör redovisa om det finns nya beräkningar av hur många kapslar som kan gå sönder – till exempel om SKB har tagit hänsyn till samverkan av olika mekanismer för kapseldegradering.

Christina Lilja från SKB presenterade resonemanget bakom korrosionsscenarioet.



SSM ska diskutera denna fråga vidare internt. Ytterligare frågor till SKB kan förekomma.

Johannes Johansson presenterade en sammanfattning av senaste exponeringar i labbet och in-situ. Det finns stora osäkerheter och datavariationer mellan olika experiment. SSM bedömer att det är svårt att tolka resultat speciellt om ”uppmätta data inte är från en representativ miljö”.

Bo Strömberg påpekade att det t.ex. i USA finns föreskriftskrav på att det skall finnas ett program med verifierande tester. Även OECD/NEA har i sin granskning av SKB:s ansökan påpekat att ett sådant program bör finnas. Det är inte säkert att ett sådant program ger väsentlig ny information av betydelse för långsiktig säkerhet, men det är ändå ett sätt att utnyttja tiden fram till t.ex. drifttagning av ett slutförvar för verifierande tester som kan ge information inför kommande beslutssteg. Ett exempel på en tänkbar aktivitet inom ramen för ett sådant program är verifierande tester av korrosionsprocesser i en representativ slutförvarsmiljö.

Pågående forskningsprojekt på uppdrag av SSM

Clara Anghel inledde med en presentation om SSM:s planerade forskningsprojekt inom kopparkorrosion området (presentationen är bifogad) och beskrev två projekter:

- Samarbete med Gunnar Hultquist (KTH)
- Samarbete med Digby D Macdonald's forskningsteam