



DokumentID
1452923

Ärende

Strålsäkerhetsmyndigheten
Att: Ansi Gerhardsson
171 16 Stockholm

Handläggare
Jan Sarnet
Er referens
SSM2011-1137-64
Kvalitetssäkrad av
Helene Åhsberg
Godkänd av
Martin Sjölund
Kommentar
Granskning se SKBdoc id 1387259

Sida
1(12)
Datum
2015-06-25
Ert datum
2014-09-30
Kvalitetssäkrad datum
2015-06-30
Godkänd datum
2015-07-03

Svar till SSM på frågor i protokollet från kapselavstämningsmötet 25 juni 2014

Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM, har i protokoll från Avstämningsmöte mellan SSM och SKB avseende kapselns mekaniska integritet, tillverkningsaspekter och kryprelaterade frågor från den 25 juni 2014 (SSM2011-1137-64) sammanfattat tio kvarstående frågor och har från Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, efterfrågat en handlingsplan för hur och när frågorna kan besvaras.

En kompletterande fråga har efter avstämningsmöte den 2 oktober (anteckningar se, SSM2011-1137-74) också getts via mail den 17 oktober 2014.

I november 2014 besvarade SKB vissa av frågorna och redovisade en plan för när och hur de kvarstående frågorna skulle komma att hanteras punkt för punkt. I februari 2015 gavs uppdaterade svar på alla frågorna. Nedan ges ett uppdaterat svar på fråga 9.

1. SKB kommer att se över om eventuella förtydligande kan göras med hänsyn till SSM:s bekymmer kring oklarheter i hur statistiska data används för att kontrollera kvalitet hos insatsen samt dess konsekvenser för den kommande uppdateringen av designanalysen.

SKB:s svar (svar lämnat 27 februari 2015)

SKB ha låtit genomföra en statistisk utvärdering av hur antalet provstavar från toppen av segjärnsinsatser påverkar bedömningen av risken för att någon del av insatsen inte uppfyller de uppställda kraven. Utvärderingen rapporteras i bilaga 1. Huvuddelen av rapporten behandlar brottförlängningsvärden från dragprovning där mycket data finns tillgängliga. Analyserna visar att det finns en systematisk variation i materialegenskaper i vertikal (axiell) ledd. Spridningen mellan olika insatser uppvisar en så stor variation att konservativa antaganden måste göras vid prediktering av en viss insats enbart utgående från data från toppen. Ett konservativt antagande för BWR insatser är att toppskivan representerar hela insatsens kvalitet.

Ur statistisk synpunkt krävs ett fåtal prov för att säkerställa toppskivans egenskaper med de fördelningar som erhållits vid undersökningar av fem provtillverkade BWR insatser (I53–I57). Närmare information om dessa insatser ges i SKBdoc 1432361, avsnitt 7.2.1 och avsnitt 7.2.2. Till exempel ger sex prover en sannolikhet $< 0,01$ % att något värde ligger under 7 % förlängning i den aktuella volymen i toppskivan men det krävs ett mycket stort antal prov för att bringa ner risken för hela insatsen med detta angreppssätt.

För PWR insatser är bilden snarlik. Studien omfattar tre PWR insatser (IP23–IP25). Närmare information kring dessa insatser ges i SKBdoc 1432361 avsnitt 7.2.1 och avsnitt 7.2.2.

För brottseghetsvärden finns inte samma omfattande underlag varför analysen av predikering utgående från data från toppskivan inte kan göras i nuläget. För att genomföra en analys liknande den som gäller förlängningsvärden behöver bland annat den axiella fördelningen hos brottsegheten beskrivas.

För att minska riskerna måste således variationsbredden i segjärnets egenskaper reduceras och gjutprocessens utfall bli mindre slumpmässig. I rapporten analyseras flera fall avseende effekten av minskad variation (standardavvikelse) och ökat medelvärde på predikeringar utgående från prov i toppskivan. Vidare diskuteras strategier avseende processkvalificering bland annat för att kunna beskriva den förväntade statistiska fördelningen för batch-tillverkade insatser.

I samband med den genomgången av kravbilden för segjärnsinsatserna kommer kraven på brottförlängning och brottseghet att ses över. I rapporten studeras därför olika krav på brottförlängning och hur dessa inverkar på de statistiska förutsägelseerna.

SKB har dessutom genomfört en variansanalys för brottförlängningen för BWR- och PWR-insatser. Analysen kommer att publiceras av SKB under 2015.

2. Kompletterande analyser av acceptabla defektstorlekar i olika delar av kapselns tvärsnitt och i olika vinklar i förhållande till kapselns symmetriaxel beräknas vara klara under oktober 2014.

SKB:s svar (svar lämnat 27 februari 2015)

För skjuvlastfallet har SKB i rapporten av Hernelind (2010) vid globalsimuleringen av kapselns respons vid skjuvning, gjort förenklingen att kanalrören av stål är idealt centrerade i insatsen. I en ytterligare rapport (SKBdoc 1415152) redovisas den mekaniska responsen för BWR- och PWR-insatserna då kanalrören modellerats låsta till segjärnet. PWR-modellen utformades så att kanalrören är placerade med en maximalt tillåten avvikelse på 10 mm med avseende på centrering, vilket medför en tunnare godstjocklek vid ett kanalrörshörn än för fallet då kanalrören är centrerade. Motsvarande beräkningsmodell för BWR skapades med 20 mm avvikelse med avseende på centrering i (SKBdoc 1415152). Jämförelse har därefter gjorts med avseende på spänningar och töjningar vid det dimensionerande skjuvlastfallet, det så kallade 75 %-fallet. För BWR var den axiella dragspänningen ca 333 MPa i Hernelind (2010) och cirka 395 MPa enligt tabell 9-14 i (SKBdoc 1415152).

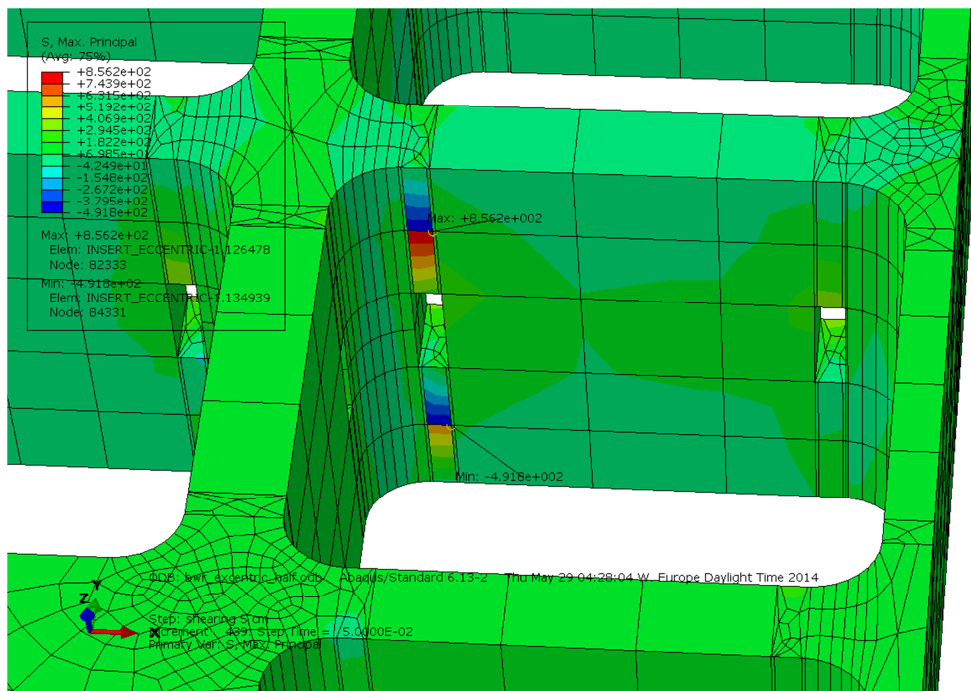
Nya globalanalyser har genomförts med olika detaljeringsgrad, inverkan av stagplåtar mellan kanlrör, excentriskt placerade kanlrör. Olika kontaktvillkor mellan kanlrör och segjärn har också undersökts liksom inverkan av dragspänning på grund av hur skjuvplanet angriper kapseln i ringled.

BWR-insatsen

SKB har gått vidare med att förbättra beräkningsmodellen för BWR-kapseln. Den resulterande dragspänningen i insatsen som en funktion av skjuvplanets angreppspunkt i ringled på kapseln har också undersökts. Beräkningarna, bilaga 2, har utförts med en maximalt tillåten avvikelse på 10 mm med avseende på centrerings. Därtill har svetsen mellan stagplåtarna och kanlrören modellerats till skillnad från tidigare då endast de fogberedda plåtarna varit med i modellen.

Den detaljerade modelleringen av insatserna innebär en stor beräkningsmässig utmaning för att skapa ett fungerande elementnät som konvergerar med rimliga lösningstider. För att åstadkomma detta har elementupplösningen varierats över insatsens tvärsnitt. Utläsning av exempelvis spänningsnivåer måste därför ske med viss försiktighet och kompletterande analyser kan behövas för att i mer detalj kunna värdera dessa. Vid skapandet av elementnätet har det exempelvis varit nödvändigt att på vissa ställen använda kilformade element som kan ge missvisande resultat. Enstaka element vid geometriska diskontinuiteter har blivit grovt distorderade och ofysikaliska värden har erhållits. SKB instämmer därför i SSM:s tveksamhet till att inte uppdatera skadetålighetsanalysen. En noggrann värdering av resultaten i bilaga 2 som avser BWR har därför genomförts med avseende på skadetålighet, se bilaga 3.

I figur 1 visas ett exempel på ofysikaliska värden från globalsimuleringen. Den största huvudspänningen visas i figuren och lokalt uppgår den till 856 MPa. Detta värde är dock inte representativt utan är en effekt av alltför styva kilformade finita element. Jämförelse mellan resultaten i Hernelind (2010) och i bilaga 2 visar att den styrande axiella dragspänningen, 333 MPa är den samma i båda analyserna.



Figur 1. Huvudspänningar för beräkningsmodellen av BWR-insatsen där stålrörskassetten inklusive stagplåtar inte visas.

Resultatet från bilaga 3 visar att resultatet av de beräkningar som beskrivs i bilaga 2 respektive i Hernelind (2010) har samma storlek på axiell spänning i områdena av vikt för en skadetålighetsanalys. De acceptabla defektstorlekar som sammanställts i Dillströms och Bolinders rapport (2010) kvarstår, varför inte heller kravbilden för oförstörande provning av BWR-insatsen påverkas.

PWR-insatsen

Simuleringarna av PWR-insatsen visar endast små skillnader i resultat mellan de redovisade simuleringarna i Hernelind (2010) respektive (SKBdoc 1415152). SKB har valt att skapa en ny rapport som baserar sig på (SKBdoc 1415152) för att redovisa resultaten från detaljmodelleringen av PWR. Den resulterade dragspänningen i insatsen som en funktion av skjuvplanets angreppspunkt i ringled på kapseln har också undersökts. Denna nya rapport med globala simuleringar återfinns som bilaga 4 till detta svarsdokument. Därtill har resultaten i bilaga 4 värderats med avseende på skadetålighet, se bilaga 5.

Bilaga 5 visar att de beräkningar som beskrivs i bilaga 4 respektive i Hernelinds rapport (2010) ger samma storlek på axiell spänning i områden av vikt för en skadetålighetsanalys. De acceptabla defektstorlekar som erhållits tidigare (SKBdoc 1288288) kvarstår, varför inte heller kravbilden för oförstörande provning av PWR-insatsen.

Slutsatser

Skjuvlastfallet har analyserats med globala analyser för BWR- och PWR-insatserna. Dessa globala analyser utgör i sin tur indata till skadetålighetsanalyser för respektive insats.

Inverkan av resultaten från globalmodellerna har därefter värderats med avseende på behovet av kompletterande analyser av acceptabla defektstorlekar i olika delar av kapselns tvärsnitt och i olika vinklar i förhållande till kapselns symmetriaxel för respektive insats. Resultatet av värderingen visar att skadetålighetsanalyserna samt kravbilden för

oförstörande provning inte behöver förändras på grund av resultaten de genomförda detaljerade analyserna.

3. SKB återkommer med tidplan angående SSM:s begäran kring inverkan av koppertjocklek på kapselns designanalys (SSM2011-2426-172).

SKB:s svar (svar lämnat 27 februari 2015)

SKB har utrett inverkan av koppertjocklek på kapselns designanalys och redovisar resultaten i "Svar till SSM på begäran om komplettering rörande inverkan av koppertjocklek på kapselns designanalys", SKBdoc 1471540 ver 1.0.

4. Om SKB vill påverka SSM:s uppfattning av en samlad kravbild avseende kapselns mekaniska integritet finns det möjlighet att göra en reviderad samlad redovisning, men ingen vidare formell komplettering på denna fråga kommer att begäras.

SKB:s svar (svar lämnat 27 februari 2015)

SKB arbetar med en samlad kravbild på kapselns mekaniska integritet motiverad genom skadetålighetsanalys och defektstorlekar som behöver detekteras med OFP. SKB har tagit fram en statusrapport kring detta som beskriver kravnivåer, framtagning och uppdatering av krav, relation mellan olika krav, nivå på nuvarande krav samt planer på uppdatering av krav. Detta dokument redovisas härmed som bilaga 6.

5. SSM kommer att skicka en kompletteringsbegäran avseende skadetålighetsanalys för stållocket i augusti och det förväntas att SKB ska utreda frågan under hösten.

SKB:s svar (svar lämnat 27 februari 2015)

SKB har utrett behovet av skadetålighetsanalys och redovisar resultaten i den uppdaterade versionen av "Svar till SSM på begäran om komplettering rörande skadetålighetsanalys av stållock till gjutjärnsinsats", SKBdoc 1449528 ver 2.0.

6. SSM önskar att SKB förklarar vilka krav på acceptanskriterium [som] finns för syrehalten under svetsning samt hur detta påverkar oxid-uppbyggnaden i svetsområdet.

SKB:s svar (svar lämnat 27 februari 2015)

Tidigare arbete som presenterats i ansökan (SKB 2010) visar att svetsar utförda i luft kan uppfylla kraven med avseende på korrosion samt mekaniska egenskaper. Men SKB anser ändå att andelen oxidpartiklar i svetszonen bör kunna styras mot en nivå som motsvarar grundmaterialet.

Ett SKB-projekt startat under 2014 ska ta fram underlag för ett acceptanskriterium för syrehalten i gasskyddet under svetsning. Nedan följer en beskrivning av aktiviteterna i detta projekt. För det första har ett nytt, förbättrat, gasskydd installerats på

Kapsellaboratoriets friktionsomrörningssvetsmaskin. Detta nya gasskydd, baserat på Pehkonens (2014) examensarbete, möjliggör svetsförsök med kontrollerbara syrehalter. Syrehalter på 50–60 ppm kan nås i gasskyddet.

Svetsar för att undersöka förekomsten av oxider under fullgott gasskydd kommer att utföras. Målet är att hålla en sådan syrenivå i gasskyddet så att oxidtjockleken på fogytorna hålls i samma storleksordning som den som bildas i luft innan svetsning, ungefär 10 nanometer enligt en tidigare rapport (SKBdoc 1407846). Lämplig nivå har undersökts och presenteras i bilaga 7. I denna bilaga diskuteras även inverkan av olika syrenivåer i gasskyddet på oxid-uppbyggnaden i svetsområdet. Rengöringsstudier pågår för att underbygga rengöringsmetoder av fogytorna. Därefter kommer ett processfönster för mängden oxidpartiklar tas fram. En möjlig undersökningsmetod är föroxidering av fogytor till en bestämd grad och därefter svetsning under gasskydd för att förhindra ytterligare oxidering. Dessa svetsprov kommer undersökas metallografiskt samt kryp- och korrosionsprovas. Baserat på dessa undersökningar kan sedan ett processfönster för syrehalten under svetsning tas fram och redovisas i PSAR.

7. SSM önskar att SKB redovisar huvudtöjningarna samt ger vägledning hur resultaten från krypförsök ska tolkas.

SKB:s svar (svar lämnat 27 februari 2015)

I en uppdaterad version av spänningsberäkningen för kopparhöljet under isostatisk last finns ytterligare redovisning av huvudtöjningarna där riktningar och storlek hos dessa förtydligas, se bilaga 8. Färgskalorna i konturplottarna är nu anpassade så att det går att läsa ut aktuella töjningar i figurerna. Vidare har konturplottar för påkända områden i kopparhöljets bottenområde tagits fram. Dessa presenteras på motsvarande sätt som i lockområdet. För de detaljerade konturplottarna finns det ett obelastat elementnät att jämföra mot.

Vägledning för hur resultat från krypförsök ska tolkas ges i bilaga 9 där påverkan på brotttöjningen ϵ_f från graden av treaxlighet i spänningstillståndet har undersökts. Treaxlighet definieras som kvoten mellan hydrostatiska trycket (alternativt medelspänningen) och effektivspänningen enligt von Mises och anges som T . Av figur 3-8 i bilaga 9 framgår att vid ett treaxligt spänningstillstånd där $T \geq 0,8$, närmar sig ϵ_f det uppställda kriteriet som anger att ϵ_p inte får vara större än 80 %. SKB har därför undersökt graden av treaxlighet i kopparhöljet för de belastningar som beräknats i bilaga 8. Resultaten presenteras som konturplottar i version 2.0 av rapporten, bilaga 8. Treaxligheten T uppgår maximalt till 0,55 i kopparhöljet vid den aktuella belastningen. Enligt bilaga 9 motsvarar detta $\epsilon_f = 1,3$. Detta innebär att det finns god marginal mellan det uppställda kriteriet $\epsilon_p < 0,8$ och materialets brotttöjning vid den aktuella graden av treaxligt spänningstillstånd. Ett av områdena där T når sitt största värde motsvarar det inringade område som SSM önskat få bättre beskrivet. Det element som har högst töjning där har CEEQ värdet $< 30 \%$ ($\epsilon_p < 0,3$) vilket på intet sätt äventyrar kopparhöljets integritet. Övriga områden i kopparhöljet med förhöjd treaxlighet har låga töjningsvärden.

Området vid kopparlockets svetsrot där de högsta töjningsvärdena erhållits kännetecknas av låga värden på T .

CEEQ summerar samtliga inkrementella töjningar (i tre dimensioner). Definitionen av CEEQ framgår av ABAQUS Manual (2012):

CEEQ

Equivalent creep strain, defined as $\int_0^t \dot{\epsilon}^{cr} dt$.

The definition of $\dot{\epsilon}^{cr}$ depends on the material model. For classical metal (Mises) creep $\dot{\epsilon}^{cr} = \sqrt{\frac{2}{3} \dot{\epsilon}^{cr} : \dot{\epsilon}^{cr}}$.

Den aktuella materialmodellen baseras på krypprovning utförd vid Swerea KIMAB. Materialmodellen beskrivs av en konstitutiv ekvation utvecklad av Rolf Sandström, se Sandström och Andersson (2008), Jin och Sandström (2008) och Jin och Sandström (2009). I materialmodellen förenas både plasticitet och kryptöjning.

8. SKB återkommer med förslag till eventuella sätt att besvara SSM:s kvarstående frågor kring mekanismer som avgör fosfors effekt på duktilitet.

SKB:s svar (svar lämnat 27 februari 2015)

Den 21 november 2014 lämnade SKB in ”Svar till SSM på begäran om komplettering rörande fosfors inverkan på koppars krypegenskaper”, SKBdoc 1457514 version 1.0 vilket ger en beskrivning av den pågående forskning som bedrivs för att utreda mekanismen för fosfors inverkan på koppars krypegenskaper.

9. SSM anser att SKB bör bevisa att gropen från MiniCan-försöket (vilka framgår i figur 3-11 i SKB R-13-35) verkligen är en tillverkningsdefekt som uppkommit då U-böjproven 2 tillverkats. Vidare rekommenderar myndigheten att sprickorna i WOL1 och WOL2 prover bör brytas upp och brottyorna analyseras. SKB anger att de har varit i kontakt med AMEC (f.d. Serco) angående detta men inte beställt några ytterligare undersökningar i enlighet med SSM:s önskemål. SSM vidhåller vikten att dessa prov analyseras med avseende på gropens morfologi samt sprickyornas utseende för WOL proven.

SKB:s svar

SKB har uppdragit åt AMEC att göra en fördjupad metallografisk analys av kopparprover som exponerats i borrhålet i det återtagna Minican-försöket (Experiment 3). Uppdraget bestod i att: 1) bryta upp och analysera sprickyorna i två förspräckta prover (WOL 1 och 2), samt 2) analysera korrosionsmorfologin på icke spräckta U-böjprover (U-bend 1 och 2). Resultaten av dessa analyser presenteras i bilaga 10, till vilken flera referenser görs i det följande.

De förspräckta proverna spräcktes vidare och öppnades genom utmattning, vilket möjliggjorde analys och jämförelse av nya och gamla sprickytor. En visuell jämförelse av de nya och gamla sprickyorna visar en tydlig skillnad där de gamla sprickyorna som exponerats för grundvattnet i Minicanförsöket är belagda med en mörk/svart film medan de nya sprickyorna är ljusa. Gränsen mellan nya och gamla sprickytor är skarp och för det ena provet skiljs de åt av ett blänkande metalliskt band som tros ha uppkommit i samband

med den senaste spräckningen. Om spricktillväxt skulle ha skett hade sannolikt korrosionsmorfologin sett annorlunda ut i den gamla sprickytans front, till exempel haft en tunnare oxidfilm, vilket inte är fallet. Visuellt ser den svarta filmen ut att vara av samma täthet fram till sprickfronten (figur 5 till 7 i bilaga 10) och inte heller SEM (svepelektronmikroskopi) avslöjar någon morfologisk förändring av den gamla sprickytan vid gränsen till den nya (figur 8 till 11 i bilaga 10).

Sprickytorna analyserades med EDX (energidispersiv röntgenspektroskopi), vilket visade att de gamla (svarta) exponerade sprickytorna hade cirka 10 gånger högre syreinhåll än de nya sprickytorna (tabell 3 i bilaga 10). Det faktum att de gamla sprickytorna är belagda med ett oxidskikt är inte oväntat då det tog ca 4 månader innan förhållandena i Minicanförsöket blev reducerande (figur 4-17 i Smart et al. 2012) och då sulfidhalten i borrhålet varit låg. Vid högre sulfidhalt eller längre tids exponering kommer oxidskiktet att ersättas av en sulfidfilm. Man kan notera, såväl visuellt som från EDX-data, att oxidskiktet på det ena provet är betydligt tjockare än på det andra (jämför till exempel figur 5 och 6 i bilaga 10). Vad detta beror på är oklart men det kan konstateras att de initiala sprickorna hade mycket olika morfologi, till exempel var sprickans öppning i det ena provet ca 100 µm bred (figur 3-24 i Smart et al. 2013) medan det andra provet hade en spricköppning av storleksordningen några µm (figur 3-14 i Smart et al. 2013). Fler prover skulle ge en tydligare bild av hur korrosionsmorfologin och oxidationsgraden kan variera mellan olika prover. SKB avser att under 2015 återta och undersöka ytterligare två kapslar från Minicanförsöket (Experiment 4 och 5), vilket kommer att ge fördjupad insikt i denna fråga.

SKB drar fortsatt slutsatsen att ingen spricktillväxt skett i dessa prover. Det bör noteras att proverna varit bristfälligt installerade då ingen belastning pålagts före exponering (vilket var den ursprungliga avsikten) och att därför endast restspänningar från kallbearbetning och spräckning kan ha funnits i materialet. Men det bör även noteras att koppar i enlighet med tidigare studier inte förväntas drabbas av spänningskorrosion under rådande fysikalisk-kemiska förhållanden (Bhaskaran et al. 2013, King och Newman 2010, Sipilä et al. 2014). Som redovisats tidigare upptäcktes ingen sprickinitiering i de icke förspräckta prover (U-bends) som exponerats i Minican Experiment 3 (Smart et al. 2013).

Den andra delen av denna fortsatta analys av kopparprover från det återtagna Minicanförsöket gällde ytans morfologi hos icke spräckta prover (U-bends), samt huruvida dessa visar tecken på lokal korrosion, så kallad gropfrätning. Det som väckte denna frågeställning var ett par relativt stora gropar, ca 100 µm i diameter och ca 50 µm djupa, som påträffades vid mikroskopisk inspektion av det ena av dessa två prover (figur 3-11 i Smart et al. 2013). SKB gav AMEC uppdraget att uppmäta den linjära ojämnheten (eng: linear surface roughness, R_a) enligt ISO standard på olika delytor av dessa prover. Detta gjordes dels på delytor som böjts och utsatts för mekanisk belastning, dels för delytor som inte böjts och kan antas vara mindre eller inte alls påverkade av mekaniska spänningar. Mätningar har även utförts på ett nytt prov som bereddes och böjdes på samma sätt som de exponerade proverna men som inte utsatts för den korrosiva miljön i Minicanförsöket. Dessa mätningar visar att böjda ytor har en ojämnhet mellan 7,9 och 11,7 medan icke böjda delytor har en ojämnhet mellan 2,0 och 2,5 (tabell 4 i bilaga 10). Som jämförelse kan nämnas att ett nytillverkat icke exponerat prov hade en ojämnhet av 5,0 i den böjda regionen. Dessa resultat kan tolkas som att böjningen i sig orsakar en förhöjd ojämnhet i metallytan, vilken sedan förstärks vid exponering för en korrosiv miljö.

Proverna har vidare undersökts med såväl ljusoptisk mikroskopi som SEM för att bedöma vilken storlek på gropar och ojämnheter som förekommer på ytorna till följd av korrosion och/eller mekanisk påverkan vid böjning. Det kan konstateras att en viss förskjutning av korn sker i de böjda regionerna (figur 30 i bilaga 10), vilket orsakar den förhöjda ojämnheten som nämns ovan. Liknande strukturella förändringar av ytor under mekanisk belastning är sedan tidigare kända för kopparlegeringar (se till exempel figur 8 och 9 i Kaneko et al. 2010).

Analys av U-böjarnas ytor med SEM påvisar riklig förekomst av gropar i storleksordningen några μm i diameter (till exempel figur 32 i bilaga 10), samt ett mindre antal gropar som är någon storleksordning större (till exempel figur 35 och 38 i bilaga 10). Den observerade korrosionsmorfologin är i god överensstämmelse med vad som tidigare beskrivits som "surface roughening", jämför till exempel diagrammet i figur 27 i bilaga 10 med figur 3-1 i King och Lilja (2013). Väldefinierade gropar av samma storleksordning (ca 100 μm) som de gropar som föranledde denna undersökning har inte kunnat identifieras, vilket stärker hypotesen att dessa uppkommit till följd av oavsiktligt mekaniskt slitage under provpreparation eller bearbetning.

Sammanfattningsvis kan SKB efter ytterligare analyser av prover från Minican Experiment 3 konstatera att 1) ingen sprickinitiering har noterats i WOL-proven, 2) inget nytt har framkommit som motsäger att den stora gropen i U-böjprovet härrör från tillverkning eller provpreparering. Att i strikt mening bevisa det sistnämnda, vilket efterfrågas av SSM, ser dock inte SKB som möjligt.

10. SSM vill gärna veta när SKB rapporten R-13-50 (rörande bestrålning av gjutna segjärn) kommer att publiceras.

SKB:s svar (från november 2014)

Rapporten publicerades i september 2014 och finns tillgänglig på www.skb.se.

Kompletterande fråga via mail:

Det står i avsnitt 10.1.2 av rapporten SKBdoc 1434744 (Non-destructive testing of canister components and welds) att "The volume between the channel tubes was not considered in the development of inspection techniques for "crack-like" defects because no acceptance criteria relevant to the internal loads (due to rock shearing) have been formulated". SSM skulle vilja att SKB förklarar vad menas med detta med tanke på att under avsnitt 4 definieras ett antal acceptanskriterier för sprickliknande defekter i detta område (zon C).

SKB:s svar (svar lämnat 27 februari 2015)

SKB ser att några förtydliganden skulle kunna föras in i kap 10.1.2.

- Avsnitt 10.1.2 uppdateras med en kommentar avseende det ursprungliga kravet på axiella sprickor i område C mellan kanälrören (isostatiska lastfallet). Dessa relativt lindriga krav på att hitta defekter som täcker minst 80 % (kanske mer) av godstjockleken med en längd i dm-skala bedömer SKB som möjliga att detektera då både en pulseko- och en transmissionsprovning appliceras.

- Kraven som presenteras i Tabell 4-3 är enbart baserade på beräkningar i områden utanför område C.

Rapporten (SKBdoc 1434744) har nu uppdaterats till version 2.0 se bilaga till Svar till SSM på begäran om förtydligande rörande kontroll och provning (SKBdoc 1471002).

Med vänlig hälsning

Svensk Kärnbränslehantering AB
Avdelning Kärnbränsleprogrammet

Helene Åhsberg
Projektledare Tillståndsprövning

Bilagor

1. Statistisk analys av brottförlängning och brottseghet för BWR- och PWR insatser SKBdoc 1464317 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering.
2. Detailed models for BWR-canisters for Earthquake induced rock shearing. SKBdoc 1439722 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
3. Damage tolerance analysis of BWR-canister inserts for spent nuclear fuel in the case of an earthquake induced rock shear load – Influence of using more detailed models. Inspecta Technology. SKBdoc 1450913 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
4. Detailed models for PWR-canisters for Earthquake induced rock shearing. SKBdoc 1439730 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
5. Damage tolerance analysis of PWR-canister inserts for spent nuclear fuel in the case of an earthquake induced rock shear load – Influence of using more detailed models. Inspecta Technology. SKBdoc 1459222 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
6. Samlad kravbild avseende kapselns mekaniska integritet. SKBdoc 1471283 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
7. Estimation of oxide growth on joint surfaces during FSW. SKBdoc 1402837 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
8. Analysis of creep in the KBS-3 copper canister due to internal and external loads. SKBdoc 1399768 ver 2.0. Svensk Kärnbränslehantering AB.
9. A constitutive model for texture dependent deformation hardening and pressure dependent initiation of ductile failure in metallic materials. SKBdoc 1393179 ver 2.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
10. Aggarwal S, Addepalli V, Smart N R, 2015. Further metallographic examination of Minican SCC test specimens. SKB R-15-11, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Referenser

Referenser i ansökan

Dillström P, Bolinder T, 2010. Damage tolerance analysis of canister inserts for spent nuclear fuel in the case of an earthquake induced rock shear load. SKB TR-10-29, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Hernelind J, 2010. Modelling and analysis of canister and buffer for earthquake induced rock shear and glacial load. SKB TR-10-34, Svensk Kärnbränslehantering AB.

King F, Newman R, 2010. Stress corrosion cracking of copper canisters. SKB TR-10-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2010. Design, production and initial state of the canister. SKB TR-10-14, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Övriga referenser

ABAQUS Manuals, 2012. Version 6.12.1. Dassault Systèmes Simulia Corp.

Bhaskaran G, Carcea A, Ulaganathan J, Wang S, Huang Y, Newman R, 2013. Fundamental aspects of stress corrosion cracking of copper relevant to the Swedish deep geologic repository concept. SKB TR-12-06, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Jin L-Z, Sandström R, 2008. Creep of copper canisters in power-law breakdown. Computational Materials Science 43, 403–416.

Kaneko H, Hirose K, Sato K, Tanaka N, Kanamori H, Mihara K, Eguchi T, 2010. Development of a Cu-Ni-Si copper alloy strip for narrow pitch connectors. Furukawa Review 38. Available at: http://www.furukawa.co.jp/review/fr038/fr38_01.pdf

King F, Lilja C, 2013. Localised corrosion of copper canisters in bentonite pore water. SKB TR-13-27, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Pehkonen H, 2014. Design av gasskydd för friktionsomrörningssvetsningsmaskin. Examensarbete LIU-IEI-TEK-A—14/01934-SE, Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling, Linköpings universitet.

Sandström R, Andersson H C M, 2008. Creep in phosphorus alloyed copper during power-law breakdown. Journal of Nuclear Materials 372, 76–88.

Sipilä K, Arilahti E, Lehtikuusi T, Saario T, 2014. Effect of sulphide exposure on mechanical properties of CuOFP. Corrosion Engineering, Science and Technology, 49, 410-414.

Smart N, Reddy B, Rance A, 2012. Miniature Canister (MiniCan). Corrosion experiment progress report 4 for 2008-2011. SKB P-12-13, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Smart N, Rose S, Nixon D, Rance A, 2013. Metallographic analysis of SKB MiniCan experiment 3. SKB R-13-35, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Opublicerade dokument

SKBdoc 1288288 ver 2.0. Analysis of PWR canister inserts using data acquired from PWR material. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKBdoc 1407846 ver 1.0. Undersökning av rengöringsmetoder och oxidation av kopparytor i ädelgas med GD-OES. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKBdoc 1415152 ver 2.0. Detailed models for PWR- and BWR-canisters for Earthquake induced rock shearing. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKBdoc 1432361 ver 1.0. Manufacturing and testing of nodular cast iron inserts. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKBdoc 1449528 ver 2.0. Svar till SSM på begäran om komplettering rörande skadetålighetsanalys av stållock till gjutjärnsinsats. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKBdoc 1457514 ver 1.0. Svar till SSM på begäran om komplettering rörande fosfors inverkan på koppars krypegenskaper. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKBdoc 1471540 ver 1.0. Svar till SSM på begäran om komplettering rörande inverkan av koppartjocklek på kapselns designanalys. SKBdoc 1471540 ver 1.0.

Revisionsförteckning

Version	Datum	Revideringen omfattar	Utförd av	Kvalitetssäkrad	Godkänd
4.0	Se sidhuvud	Svar på fråga 9 samt bilaga 10. Svar på fråga 1, sista meningen ändrad till "under 2015"..	Johannes Johansson	Se sidhuvud	Se sidhuvud
3.0	2015-02-27	Punkt 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 besvarade. Övriga svar (utom fråga 10) justerade. Bilaga 1-9.	Jan Sarnet	Helene Åhsberg	Martin Sjölund
2.0	2014-11-11	Punkt 3 och 8 justerade.	Jan Sarnet	Jan Eckerlid	Helene Åhsberg
1.0	2014-11-10	Planen skapad	Jan Sarnet	Jan Eckerlid	Helene Åhsberg