



DokumentID
1371850

Ärende

Strålsäkerhetsmyndigheten
Att: Ansi Gerhardsson
171 16 Stockholm

Handläggare
Jan Sarnet
Er referens
SSM2011-2426-59
Kvalitetssäkrad av
Olle Olsson
Saida Engström
Godkänd av
Martin Sjölund
Kommentar
Granskning, se SKBdoc id 1387259

Sida
1(10)
Datum
2014-09-29
Ert datum
2012-09-11
Kvalitetssäkrad datum
2014-09-30
Godkänd datum
2014-09-30

Svar till SSM på begäran om komplettering rörande kontroll och provning för fastställande av kapselns initialtillstånd

Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM, har i sin skrivelse till Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, daterad 2012-09-11 begärt komplettering om kontroll och provning för fastställande av kapselns initialtillstånd.

Nedan lämnas svaret för respektive fråga och SKB anser nu att samtliga frågor i kompletteringen är besvarade.

Vid avstämningsmötet 2014-03-11 mellan SSM och SKB efterfrågade SSM ett resonemang och bedömning om provbarhet och vid efterföljande mötet 2014-06-05 accepterade SKB att inkomma med en ny OFP-rapport.

Med anledning av detta har den version av svaret daterad 2014-02-28 som lämnats till SSM uppdaterats. Rapporten "Non-destructive testing of canister components and welds" (SKBdoc 1434744) är nu tillagd som bilaga 11 för version 4.0 av detta svarsbrev och ersätter "Oförstörande provning av kapselkomponenter och svetsar" (SKBdoc 1179633). Denna rapport sammanfattar och redovisar nuvarande status av utvecklingen av OFP för kapseln. Ett resonemang om provbarhet redovisas i kapitel 10 bilaga 11 kopplat till kravbilderna redovisad i bilagorna 4, 5, och 6. Hänvisning till bilaga 11 har lagts till i svar på frågorna 2 och 4.

1. Redovisning av kvalificeringsprocess.

SKB:s svar (svar lämnat 28 februari 2014)

I april 2012 presenterades en övergripande plan för implementering av kvalitetsstyrning och kontroll av KBS-3-förvaret (bilaga 1). Redovisning av SKB:s strategi och planeringen för ett kvalitetsledningssystem för den framtida produktionen av kapslar för KBS-3-förvaret finns beskrivet i bilaga 2. I samband med att SKB lämnar in PSAR till SSM för granskning och godkännanden inför uppförandet av slutförvaret för använt kärnbränsle presenteras SKB:s totala plan för införande av kvalitetsledningssystemet för kapselproduktion.

Svensk Kärnbränslehantering AB
Box 250, 101 24 Stockholm
Besöksadress Blekholmstorget 30
Telefon 08-459 84 00 Fax 08-579 386 10
www.skb.se
556175-2014 Säte Stockholm

Underlag för att kunna bedöma tillförlitligheten hos provningssystem.

SKB:s kvalificeringsprocess för oförstörande provning (OFP) av KBS-3 kapseln har som syfte att ur flera olika perspektiv verifiera en för varje ändamål tillräckligt hög tillförlitlighet hos de oförstörande provningssystem som används under kapselns hela tillverkningskedja. SKB:s kvalificeringsprocess omfattar all oförstörande provning ifrån provning av utgångsmaterial för kapselkomponenterna hos SKB:s leverantörer till provning av förslutningssvetsen i inkapslingsanläggningen och redovisas mera detaljerat i bilaga 3.

Motivering av kvalificeringsprocessen

Oförstörande provning kan betraktas som en speciell process i det avseendet att det i efterhand normalt inte går att verifiera kvaliteten på den genomförda provningen eller ens att provningen blivit utförd. Mot bakgrund av detta är det motiverat att på förhand säkerställa att alla förutsättningar finns för att en provning ska uppfylla avsedd målsättning, beroende på ställda krav på prestanda och kvalitet t ex i form av detekteringsförmåga. Detta görs genom en kvalificering av varje enskild provning med en omfattning som anpassas och optimeras baserat på syftet med provningen ifråga.

Kvalificeringsprocessen

SKB:s kvalificeringsprocess består av ett flertal moment varav differentiering, teknisk motivering och demonstration är tre viktiga moment.

Differentiering

SKB:s kvalificeringsprocess som omfattar hela tillverkningskedjan är differentierad med avseende på såväl teknik som formalia. Differentieringen baseras på ett antal definierade kvalificeringsnivåer som definieras mera i detalj i bilaga 3.

Tekniska motiveringar

Tekniska motiveringar i linje med ENIQ:s rekommendationer (EC 2010) kommer att användas för att motivera valet av de olika provningsteknikerna. Som exempel kan nämnas:

- En kombination av provningsdata från såväl verkliga som artificiella defekter kombinerat med numeriska simuleringar kommer att användas för att motivera de använda provningsteknikerna.
- Stor vikt kommer att läggas på tillförlitlighetsstudier utförda i samarbete med Bundesanstalt für Materialforschung und prüfung (BAM). Ett exempel på detta är att detekteringsförmågan i form av så kallade POD-kurvor (Probability Of Detection) har tagits fram för provning av svetsar ”Reliability in friction stir welding of canister” (SKBdoc 1175236).
- Verifiering av att provningsutrustning uppfyller krav och är ändamålsenliga för uppgiften.
- Mot bakgrund av kapselns speciella utgångsmaterial, svetsmetod och provningstekniker kommer den provningspersonal som kommer att vara aktuell för provningsuppgiften att behöva komplettera en konventionell utbildning och certifiering med en verksamhetsspecifik såväl utbildning som certifiering. Det

förutses att ett tredjepartsorgan kommer att övervaka personalens utbildning och certifiering.

Ytterligare information om omfattning och innehåll av tekniska motiveringar ges i bilaga 3.

Demonstration av provningssystem

Den tekniska kapaciteten hos de använda provningssystemen kommer att verifieras genom praktiska demonstrationer på testblock. De öppna testblocken kommer att vara av såväl konventionell typ, med artificiella defekter, som specifika med verkliga defekter möjliga för de använda materialen och komponenterna. Liknande testblock vilkas innehåll är okänt för operatörerna (blinda testblock), kommer att användas för att kvalificera operatör för såväl datainsamling som utvärdering. För kvalificering av operatörer för utvärdering kan det vara aktuellt att basera den på utvärdering av blinda datafiler.

2. Redovisning av defektkarakteristik som behövs för att verifiera provningsteknik samt redovisa en metod för att framställa dessa defekter i provblock.

SKB:s svar (svar lämnat 28 februari 2014, uppdaterat september 2014)

I SKB:s ansökan anges det i rapporten ”Tillverkning av kapselkomponenter” (SKBdoc 1175208) vilka defekttypen som kan uppkomma i segjärnsinsatsen och kopparkomponenterna. I rapporten ”Svetsning vid tillverkning och förslutning” (SKBdoc 1175162) anges det vilka defekttypen som kan uppkomma i kopparhöljets svetsar.

SKB har fortsatt att kartlägga vilka defekttypen som bedöms kunna uppkomma i kapselns ingående delar och skapat detaljerade beskrivningar, vilket redovisas i följande dokument:

- Bilaga 4 ”Kravbild för oförstörande provning av kopparkapselns rör, lock och botten” (SKBdoc 1414374),
- Bilaga 5 ”Kravbild för oförstörande provning av segjärnsinsats” (SKBdoc 1414760),
- Bilaga 6 ”Kravbild för oförstörande provning av kopparkapselns svetsar” (SKBdoc 1415307).

I dessa beskrivningar ges information avseende de olika defekttypernas karakteristik, konsekvenser samt acceptabla defektstorlekar. I de fall när acceptanskraven är beroende av en specifik defektkarakteristik (exempelvis typ och position) har även krav på karakterisering definierats. I och med att det primära syftet vid oförstörande provning (OFP) är att detektera defekter vars storlek är större än acceptanskraven har endast krav på noggrannhet vid storleksbestämning definierats för vissa defekter.

För verifiering av tillförlitligheten hos provningssystemet har SKB i bilaga 3 redovisat att testblock med verklighetstroga defekter kommer användas i varierande grad. I bilaga 11 ”Non-destructive testing of canister components and welds” redovisas initiala försök att på ett kontrollerat sätt tillverka verkliga defekter i segjärn. För framtagning av dessa defekter arbetar SKB enligt följande plan:

- **Friction stir welding (FSW)** – Vid svetsning med FSW har defekttyperna foglinjeböjning, kvarvarande fog och kavitet identifierats vilka som behöver

detekteras med OFP (Bilaga 6). Dessa defekter kan betraktas som specifika då deras karakteristik och position är kända (EC 2007). Omfattande försök har visat att det finns en god korrelation mellan svetsparametrar och defektbildning (Cederqvist 2011). Som en följd av detta avser SKB tillverka defekter för testblock genom att störa svetsprocessen på ett kontrollerat sätt. Dessa defekter kommer sedan verifieras genom kompletterande OFP som exempelvis datortomografi och vid behov metallografiska undersökningar.

- **Insats** – För insatserna har ett flertal defekttyper identifierats som behöver kunna detekteras med OFP. Samtliga defekttyper är postulerade, eftersom att deras karakteristika och positioner inte fullt ut är kända (bilaga 5). Med utgångspunkt från detta anses det inte relevant att tillverka konventionella testblock. Däremot kommer ett större antal defekter tillverkas, dels inom ramen för provtillverkning av fullstora insatser och dels genom tillverkning av mindre objekt (~100 kg) med kontrollerade gjutparametrar. I initiala försök har ett tiotal objekt tillverkats och preliminära resultat visar på att det är möjligt att producera defekter på detta sätt (Bilaga 11, s 82–83). SKB kommer att fortsätta arbetet med utveckling av denna metodik för tillverkning av defekter. De ovan nämnda defekttyperna kommer sedan provas med den tänkta OFP-tekniken och sedan kommer förekomsten av defekter verifieras med kompletterande OFP och vid behov metallografiska undersökningar.
- **Kopparrör, lock och botten** – För kopparkomponenterna (inklusive arbetsstyckena göt och blocker i föregående processteg) har ett tiotal defekttyper identifierats (bilaga 4) som behöver kunna detekteras med OFP. De flesta av dessa defekttyper är postulerade, eftersom deras karakteristika och positioner inte fullt ut är kända. Med utgångspunkt från detta anses det inte relevant att tillverka konventionella testblock då defektparametrarna inte är fullt kända. Ett undantag är smidesveck som kan uppkomma i lock och botten. Dessa kan tillverkas genom att manipulera smidesprocessen och sedan bearbeta dessa till lämplig storlek. För övriga defekttyper planerar SKB att initiera en studie för att undersöka vilka defekttyper som är möjliga och relevanta att producera i koppargöt respektive kopparkomponenter.

3. Redovisning av defektstorlekar för detektering samt krav för storleksbestämning av dessa defekter.

SKB:s svar (svar lämnat 28 februari 2014)

SSM efterfrågar i kompletteringsbegäran information om detekteringsmål för defekter. SKB anser att begreppet detekteringsmål som används inom kärnkraftindustrin och som kopplar till kontrollintervall för propagerande defekter inte är meningsfullt att tillämpa för kapseln. De acceptabla defektstorlekarna avseende kapseln som SKB tagit fram ska säkerställa att kapselns integritet inte påverkas under dess livstid. Efter deponering kan kontroller inte genomföras. I den fortsatta framställningen används begreppet acceptabel defektstorlek som synonymt med detekteringsmål. Avseende nomenklatur tillämpar SKB i detta svar och i bilagorna de brottmekaniska begreppen volymetriska och sprickliknande. Dessa begrepp indelas i ytbrytande, ytnära och inre defekter.

För kopparhöljet, vars funktion är att säkerställa korrosionsbarriärens tjocklek, är de spänningar/töjningar som uppstår vid belastning i slutförvaret sekundära eftersom

kopparhöljet avlastas mot insatsen. Det har inte heller identifierats någon mekanism för spricktillväxt i ren koppar som är tillämplig för kapselns kopparhölje under slutförvarförhållanden (Raiko et al. 2010, avsnitt 3.2.1). Vad det gäller korrosionsbelastningar ger en yttre ytdefekt inte större påverkan än en inre defekt, se avsnitt 12.6.2 i SKB (2011).

Det finns således inte något skäl att särskilja volymetriska defekter från sprickliknande defekter och ytdefekter för kopparhöljet. Vid framställning av kopparkomponenter sker tillverkningen i flera steg. Inspektioner sker efter de olika tillverkningsstegen och när bäst betingelser finns för att med inspektion säkerställa att olika defekter inte förs vidare i processen. De uppställda acceptanskriterierna för varje enskilt steg säkerställer att den slutliga komponenten uppfyller acceptanskriterierna (bilaga 4).

För svetsarna av kopparhöljets botten och lock gäller samma acceptanskriterier som för kopparhöljet i övrigt (bilaga 6).

SSM efterfrågar information om detekteringsmål med avseende på ytbrytande plana defekter, inneslutna plana defekter och inneslutna volymetriska defekter. SKB instämmer i att denna indelning är relevant för BWR- och PWR-insatsen där de mekaniska lasterna samt defekters brottmekaniska egenskaper och position påverkar kapselns integritet. Eftersom acceptanskriterierna bygger på brottmekaniska beräkningar har SKB valt att tillämpa brottmekanisk nomenklatur vilket innebär en indelning i sprickliknande och volymetriska defekter samt att kategorisera positionen som ytbrytande, ytnära och inre defekter.

De båda insatstyperna BWR och PWR har indelats i olika zoner kopplat till aktuell belastningsnivå och acceptanskriterier för sprickliknande och volymetriska defekter har ställts upp för dessa. Acceptanskriterier för ytbrytande och närliggande defekter följer figur A1 i appendix A till SSM rapport 2008:1 (Dillström et al. 2008). För vidare information se bilaga 5.

SKB vill understryka att den kravbild som presenteras för segjärnsinsatserna i vissa delar inte är fullständig och att den baserar sig på materialdata från brottseghetsprovning i vätska och därmed kan anses pessimistisk. SKB har därför för avsikt att utreda kravbilden mer i detalj för att göra den mer heltäckande för BWR- och PWR-insatsen.

4. Redovisning av detektionsförmåga i kopparkapslar med hög medelkornstorlek.

SKB:s svar (svar lämnat 28 februari 2014, uppdaterat september 2014)

För referensutformningen (SKB 2010) anges ett krav på medelkornstorlek < 800 µm för att innehålla kopparmaterialets mekaniska egenskaper och ett preliminärt tilläggskrav på maximalt 360 µm för att möjliggöra ultraljudprovning med tillräcklig detekteringsförmåga. Denna fråga utvecklas vidare i bilaga 11 ”Non-destructive testing of canister components and welds” där det anges att kravet kan komma att revideras om det visar sig att det medför betydande begränsningar för tillförlitligheten vid ultraljudprovningen

SKB har inom ramen för samarbetet med Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) i Berlin genomfört en studie (bilaga 7) med syfte att undersöka hur detekteringsförmågan vid provning av kopparrör med utvecklad ultraljudteknik (SKB 2013, s 174–175) påverkas av materialets kornstorlek. Studien har baserat sig på en avancerad metodik, multiparameter POD (Probability of Detection), utvecklad av Pavlović et al. (2012), som med hjälp av modellering möjliggör implementering av flera parametrar vid bestämning av detekteringsförmågan i form av POD-kurvor med ett begränsat urval av data. Som utgångspunkt för studien har provmaterial från tre tidigare provade kopparrör (T53, T58, T64), där resultaten visar på varierande grad av ljuddämpning, använts. I dessa rör, två tillverkade med extrudering (T53, T58) och ett tillverkat med dornpressning (T64), har områden med förhöjd ljuddämpning identifierats. Dessutom har ett referensområde med normal ljuddämpning valts ut ur ett av de extruderade rören (T53). I dessa fyra områden har referensdefekter i form av flatbottenhål av olika storlek tillverkats och utifrån insamling av ultraljuddata från dessa områden har detekteringsförmågan studerats.

I anslutning till ovan nämnda områden har även separata provobjekt tagits ut med syfte att bedöma kornstorleken. Dessa undersökningar ”Fördelning av kornstorlek i kopparrör” (SKBdoc 1417645) visar på en tydlig skillnad i kornstorlek och kornstorleksfördelning mellan referensområdet och de tre områden med förhöjd ljuddämpning. Skillnaden visar sig dels genom att medelkornstorleken, bestämd enligt interceptmetoden (ASTM 2012), ökar från ~80 µm till 160 µm, men framför allt att andelen stora korn (>350 µm) ökar från <0,5 % till närmare 10 %.

Resultaten från studien vid BAM visar att detekteringsförmågan för flatbottenhål med en 90 % sannolikhet och en 95 % konfidens försämras från 2 mm i diameter för områden med normal ljuddämpning till 4 mm för de områden med förhöjd ljuddämpning som undersökts (bilaga 7). I bilagan benämns denna detekteringsförmåga a90/95. SKB bedömer att denna nivå på detekteringsförmåga vid ultraljudprovning av kopparkomponenterna är tillräcklig som en följd av att ultraljudprovningen främst är till för provning med avseende på att detektera eventuella inre defekter med maximal radiell storlek på 5 mm (bilaga 4). Dessa defekter förväntas, som en följd av materialflödet vid extrudering, ha större utbredning i axiell ledd jämfört med i radiell ledd, vilket innebär att de förväntas vara flera gånger större än den redovisade detekteringsförmågan. För övrigt bör det noteras att i och med att de defekter som normalt riskerar att uppkomma är ytbrytande och därmed främst kommer att inspekteras med dedikerade ytprovningmetoder som inte påverkas av materialets ljuddämpning.

Ovanstående undersökningar har visat att ljuddämpningen i kopparrören är minst lika beroende av kornstorleksfördelningen som av medelkornstorleken och därmed bedöms detta mått på materialstrukturen inte vara tillräckligt. Som en följd av detta avser SKB att utarbeta ett tilläggskrav med avseende på provbarhet med ultraljud. Detta tilläggskrav på tillåten ljuddämpning i tillverkade kopparkomponenter kommer att definieras utifrån framtida kompletterande undersökningar med avseende på detekteringsförmåga i material med olika nivåer av ljuddämpning och kommer att redovisas i samband med PSAR.

5. Redovisning av teknisk motivering för undantag av ytbrytande sprickor i kopparkapseln: SKB har inte postulerat möjlig förekomst av ytbrytande sprickor på kopparkapseln inner- eller ytterytor. Detta ställningstagande har inte tekniskt motiverats eller underbyggts i tillräcklig omfattning.

SKB:s svar (svar lämnat 28 februari 2014)

Inledning

SKB har inte helt uteslutit möjligheten att det kan uppstå invändiga och utvändiga ytbrytande defekter vid tillverkningen av kopparkapseln. Till exempel kan det uppstå sprickor under gjutningen av göten, se sidan 9 i ”Tillverkning av kapselkomponenter” (SKBdoc 1175208). Men SKB har avfärdat att ”hot tearing” och ”speed cracking” kan uppstå under extrusion, sidan 78 ”Tillverkning av kapselkomponenter” (SKBdoc 1175208). Nedan ges en kortfattad beskrivning dels av ställningstagandet till ”hot tearing” och ”speed cracking” samt en kortfattad diskussion om tillverkningssystemets känslighet gentemot ingående sprickor från gjutprocessen.

SKB har låtit genomföra krypprovning med CT-provstavar tillverkade av koppar. Det har inte kunnat påvisas någon spricktillväxt till följd av krypdeformationen i dessa stavar. Det aktuella kopparmaterialet uppvisar en så hög duktilitet att kopparhöljet inte är känsligt för sprickliknande defekter med avseende på kapselns mekaniska integritet (Raiko et al. 2010). Detta motiverar SKB:s ställningstagande att endast postulera volymetriska defekter på kopparkapseln.

Hot tearing and speed cracking

SKB har låtit genomföra en utredning med avseende på defektbildning vid gjutning av koppargöt och förekomst av defekterna ”speed cracking” och ”hot tearing” vid extrusion av kopparrör. Denna utredning visar att speed cracking inte uppstår vid den aktuella extrusionsprocessen av kopparrör. För att speed cracking skulle kunna uppstå måste materialet lokalt överhettas och att lokal smälta uppstår under extrusionsprocessen. Simuleringar har visat att temperaturökningen på grund av friktion och inhomogen bearbetning endast är ca 20 °C. Den maximala temperaturen i arbetsstycket av koppar blir därmed under 700 °C, vilket med betryggande marginal är lägre än 1085 °C som är smältemperaturen för kopparmaterialet.

Ingen förekomst av hot tearing vid extrusion finns redovisad i litteraturen. Defekttypen bedöms även som icke relevant vid extrusion av kapselns rena kopparmaterial, se bilaga 8. Därför gör SKB bedömningen att ytbrytande sprickor på kopparkapseln orsakade av speed cracking och hot tearing inte kan uppkomma och därmed exkluderas dessa från tänkbara defekter på kopparkapseln.

Ingående sprickor i varmformningsprocesserna

Defektbildning vid tillverkning av stora koppargöt för rörtillverkning har undersökts. Det kan uppstå ytbrytande sprickor vid gjutningsprocessen på götets mantelyta och i toppen av götet. Efter avslutad gjutning görs maskinbearbetning av götets alla ytor varpå de ytbrytande diskontinuiteterna avlägsnas. Detta säkerställs genom ytinspektion på de maskinbearbetade ytorna, se bilaga 8.

För tillverkningen av extruderade kopparrör har SKB låtit genomföra en utredning med avseende på hur postulerade defekter förs vidare till efterföljande tillverkningssteg. I en annan utredning har det ansatts olika halvelliptiska ytsprickor med djupet 10 mm och längden 60 mm på götets mantelyta samt sprickor med längden 100 mm på götets bottenände respektive toppände. Utredningen visar att de postulerade sprickorna på mantelytan försvinner successivt under tillverkningens olika steg genom konsolidering vid varmbearbetning samt spånbrutande avverkning. När röret, som förutsätts vara cylindriskt, maskinbearbetats efter avslutad varmformning finns inga rester kvar av dessa ytdefekter. De sprickor som är lokaliserade till ändytorna försvinner vid hålningssteget under varmformningen. SKB:s slutsats är att maskinbearbetningarna mellan processtegen ger marginaler mot ytbrytande defekter i slutprodukten.

SKB har även för tillverkningen av kopparlock låtit genomföra en utredning med avseende på hur postulerade defekter i form av sprickor och hanteringsskador kommer att föras vidare under tillverkningsprocessens steg. Tillverkningen av smidda kopparlock beskrivs ingående i bilaga 9. Postulerade defekter har studerats i bilaga 10. Ytdefekter på lockgötets mitt eller nedre del kan kvarstå efter maskinbearbetning efter avslutad smidning om defektdjupet överstiger 6,5 mm då smidningen startar, se bilaga 4.

Eftersom sprickor tas bort efter gjutning, och bearbetningsmånen under/efter varmformningsprocesserna är tillräckligt stor för att eventuella sprickor ska kunna bearbetas bort, blir sannolikheten att hitta denna typ av defekter i de färdiga komponenterna låg. Däremot kan det inte uteslutas att fall av oxiderade axiella repor orsakade av skador på extrusionsmatrisen vid varmformning av kopparrör kan uppstå och kvarstå efter slutbearbetningen. Likaledes kan det inte uteslutas att smidesveck från smidningen av lock/botten kvarstår efter slutbearbetning. I bilaga 4 anges dessa typer av defekter med acceptanskriterier.

Med vänlig hälsning

Svensk Kärnbränslehantering AB
Avdelning Kärnbränsleprogrammet

Helene Åhsberg
Projektledare Tillståndsprövning

Bilagor

1. Plan för implementering av kvalitetsstyrning och kontroll av KBS-3-förvaret. SKBdoc 1365182 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
2. Kvalitetsledningssystem för kapselproduktion. SKBdoc 1388095 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
3. Kvalificering av oförstörande provning. SKBdoc 1414464 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

4. Kravbild för oförstörande provning av kopparkapselns rör, lock och botten. SKBdoc 1414374 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
5. Kravbild för oförstörande provning av segjärnsinsats. SKBdoc 1414760 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
6. Kravbild för oförstörande provning av kopparkapselns svetsar. SKBdoc 1415307 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
7. Attenuation dependent detectability at ultrasonic inspection of copper. SKBdoc 1411328 ver 2.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
8. Investigation of defects in manufacturing of copper tubes. SKBdoc 1399823 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
9. Simulation of forging of lids with different upper tools. SKBdoc 1392448 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
10. Main study – Simulation of copper lid manufacturing. SKBdoc 1399827 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
11. Non-destructive testing of canister components and welds. SKBdoc 1434744 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Referenser

Dokument och referenser i ansökan

Raiko H, Sandström R, Rydén H, Johansson M, 2010. Design analysis report for the canister. SKB TR-10-28, Svensk Kärnbränslehantering AB.

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

SKB, 2011. Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark. Main report of the SR-Site project. SKB TR-11-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Opublicerade dokument i ansökan

SKBdoc 1175162 ver 4.0. Svetsning vid tillverkning och förslutning. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKBdoc 1175208 ver 5.0. Tillverkning av kapselkomponenter. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKBdoc 1175236 ver 2.0. Reliability in friction stir welding of canister. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Övriga referenser

ASTM, 2012. E112-12, Standard test methods for determining average grain size. West Conshohocken, PA: ASTM International.

Cederqvist L, 2011. Friction stir welding of copper canisters using power and temperature control. Doktorsavh. Lunds universitet.

Dillström P, Bergman M, Brickstad B, Zang W, Sattari-Far I, Andersson P, Sund G, Dahlberg L, Nilsson F, 2008. A combined deterministic and probabilistic procedure for safety assessment of components with cracks – Handbook. Research Report 2008:01, Strålsäkerhetsmyndigheten.

EC, 2007. European methodology for qualification of non-destructive testing. Third issue. ENIQ report nr. 31. EUR 22906 EN, European Commission.

EC, 2010. Recommended Practice 2: Strategy and Recommended Contents for Technical Justifications. Issue 2. ENIQ report No 39. EUR 24111 EN, European Commission.

Pavlović M, Takahashi K, Müller C, 2012. Probability of detection as a function of multiple influencing parameters. Insight, 606–611.

SKB, 2013. Fud-program 2013. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Oppublicerade dokument

SKBdoc 1417645 ver 1.0. Fördelning av kornstorlek i kopparprover, utgåva 2. Exova Materials Technology AB.

Revisionsförteckning

Version	Datum	Revideringen omfattar	Utförd av	Kvalitetssäkrad	Godkänd
4.0	Se sidhuvud	Referens SKBdoc 1179633 utbytt mot SKBdoc 1434744 som även är ny bilaga 11.	Jan Sarnet	Se sidhuvud	Se sidhuvud
3.0	2014-02-28	Frågorna 1–5 besvaras och kompletteras med bilagor 3–10.	Jan Sarnet	Helene Åhsberg, Jan Eckerlid	Martin Sjölund
2.0	2013-06-26	Fråga 1 kompletteras med bilaga 2 och statusrapport ges för övriga frågor.	Jan Eckerlid	Saida Engström Olle Olsson	Anders Ström
1.0	2013-04-01	Bilaga 1 lämnades som ett inledande svar på fråga 1.	Jan Eckerlid	Saida Engström Olle Olsson	Anders Ström