



DokumentID
1462125

Sida
1(10)
Datum
2015-03-13

Handläggare
Christina Lilja,
Johannes Johansson,
Allan Hedin

Ärende

Er referens
SSM2011-2426-208

Ert datum
2014-10-29

Strålsäkerhetsmyndigheten
Att: Ansi Gerhardsson
171 16 Stockholm

Kvalitetssäkrad av
Saida Engström
Godkänd av
Martin Sjölund
Kommentar
Granskning, se SKBdoc 1387259

Kvalitetssäkrad datum
2015-03-16
Godkänd datum
2015-03-16

Svar till SSM på begäran om komplettering med samlad redovisning av kopparkorrosion i syrgasfritt vatten

Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM, har i skrivelse till Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, begärt en komplettering med en samlad redovisning av kopparkorrosion i syrgasfritt vatten i fem punkter återgivna nedan. För fråga 1 lämnas svar nedan. För frågorna 2 och 3 lämnas uppdaterade svar under respektive rubrik nedan. För frågorna 4 och 5 lämnade SKB svar 2014-11-28.

1. Samlad redovisning av all information avseende kopparkorrosion i syrgasfritt rent vatten

För att möjliggöra en heltäckande granskning önskar SSM att SKB gör en samlad redovisning inklusive slutsatser av all information avseende kopparkorrosion i syrgasfritt rent vatten med en utförlig redovisning av kunskapsläget och vilken betydelse korrosionsmekanismen kan ha för slutförvarets långsiktiga säkerhet.

I redovisningen bör ingå vilka osäkerheter som finns i såväl den mekanistiska förståelsen som i ingående data och hur dessa osäkerheter tas om hand i säkerhetsanalysen för slutförvaret.

SKB:s svar

Den efterfrågade samlade redovisningen finns i bilaga 1. Slutsatserna däri är följande:

”I sammanfattning ser SKB inget vetenskapligt stöd för att det skulle finnas en korrosionsprocess för koppar i syrgasfritt vatten, som fortgår i en omfattning som överskrider den som förutsågs av termodynamiska data. Denna ringa omfattning är utan betydelse för den långsiktiga funktionen hos kopparkapslar i ett KBS-3-förvar för använt kärnbränsle. Slutsatsen grundas på följande:

- Ingen tidigare okänd kopparförening som skulle kunna kullkasta slutsatsen i det termodynamiska resonemanget har identifierats trots omfattande både teoretiska och experimentella undersökningar.

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

- Flera korrosionsexperiment med koppar i rent, syrgasfritt vatten ger som förväntat ingen mätbar korrosion. I andra har observerade effekter kunnat förklaras som artefakter eller som processer som inte är relaterade till korrosion.

Några experimentella resultat är inte helt förklarade, och i flera fall saknas där full kännedom om de experimentella betingelserna. Även om dessa pessimistiskt tolkas som korrosion är omfattningen så liten att slutförvarets säkerhet efter förslutning inte hotas.”

Följande sex dokument ingår i den sammanlagda dokumentationen som skickas till SSM mars 2015:

1. Detta svarsbrev (SKBdoc 1462125 ver 2.0)
2. Bilaga 1 till detta svarsbrev med SKB:s samlade redovisning (SKBdoc 1473304 ver 1.0)
3. Referens till bilaga 1: “Evaluation of evidence for copper corrosion products presented in Hultquist et al. (2013)” (SKBdoc 1473303 ver 1.0)
4. Bilaga 3 till detta svarsbrev med rapportering från Micans (SKB TR-15-03)
5. Referens till detta svarsbrev och bilaga 1, med rapportering från Uppsala universitet: ”Copper in ultrapure water” (SKBdoc 1470267 ver 1.0)
6. Referens till detta svarsbrev och bilaga 1, med rapportering från Uppsala universitet: ”Analyses on copper samples from Micans” (SKBdoc 1473479 ver 1.0)

2. Materialfrågor

I den senaste lägesrapporten (SKBdoc 1448824, version 1.0) drar SKB slutsatsen att följande faktorer kan ha betydelse för utveckling av vätgas från ett kopparprov i rent, syrgasfritt vatten:

- *Kopparytans beskaffenhet; såväl renhet som struktur*
- *Väte i kopparmaterialet*
- *Andra föroreningar i kopparmaterialet.*

Slutligen drar SKB slutsatsen att vätehalterna som har uppmätts i tidigare exponeringar av kapselkoppar härrör nästan enbart från utsläpp från metallen själv och inte som följd av någon korrosionsprocess. För att styrka denna slutsats önskar SSM att SKB ska redogöra vilka halter av väte och andra föroreningar som uppmätts i de olika provmaterialen vid olika steg i Micans försök, inklusive vid mottagandet, efter att olika behandlingsmetoder har tillämpats, innan själva exponeringen samt efter exponeringen.

SKB:s svar

Detta svar ersätter det preliminära svar som lämnades 2014-11-28 på denna delfråga 2.

Andra föroreningar än väte

Vad gäller andra föroreningar än väte i kopparprover finns data från leverantören för 99,9999 % Cu-OF i Bilaga A i Boman et al. (2013). Data för 99,9 % Cu-OF, som innehåller typiskt 1000 gånger högre föroreningshalter, finns i bilaga 2. Av resultaten från Micans försök under våren 2014, som redovisades i SKB:s lägesrapport i september 2014 (SKBdoc 1448824), framgår att ingen av dessa kopparkvaliteter ger vätgasutveckling, se figur 1 i den lägesrapporten. Härav har SKB dragit slutsatsen att andra föroreningar än väte inne i kopparmaterialet inte orsakar vätgasutveckling. (Typiska föroreningshalter i koppargöt för tillverkning av kapsellock, det vill säga den typ av koppar som användes till

proverna i Bengtsson et al. (2013), och till proverna med 99,95 % kapselkoppar i lägesrapporten i september finns i Tabell 5-7 i SKB (2010).)

Mätningar av väte i koppar

Mätning av mängden väte som finns i kopparmaterial görs genom uppvärmning av provet, med värmning ända till smältning för bestämning av totalhalt väte. Gasen analyseras med gaskromatografi eller genom att mäta värmeledningsförmågan. För att få ett kvantitativt mått på vätemängden måste utrustningen vara kalibrerad, om så inte är fallet kan i alla fall relativa mått på mängder i olika prov erhållas. Nedan ges en samlad redovisning av de mätningar av väteinhåll i koppar som gjorts inom SKB:s uppdrag. Mätningarna har gjorts med tre metoder:

- Smältanalyser för bestämning av totalhalt väte.
- Snabb uppvärmning till cirka 1000 °C på omkring 200 s för att bestämma halten ”mobilt” väte.
- Urgasningsmätningar med en långsammare uppvärmning, 1 °C/minut till 400-600 °C, och därefter konstant temperatur.

Smältanalyser för bestämning av totalmängd väte

Uppsala universitet har låtit genomföra smältanalyser i flera omgångar. I Boman et al. (2013), avsnitt 5.2.4 och Bilaga D, finns resultat från de tidigaste analyserna på 99,9999 % Cu (Alfa Aesar), utförda av Bruker Elemental GmbH. Proverna var generellt små och få, och resultaten ansågs behäftade med stora osäkerheter. Under 2013 och 2014 gjordes smältanalyser vid Degerfors Laboratorium AB av 99,9999 % Cu (Appendix E 2 i SKBdoc 1470267) liksom av kapselkoppar (avsnitt 2 a i SKBdoc 1473479). För den ultrarena kopparn var spridningen fortfarande mycket stor (upp till intervallet 0,1-1,9 vikts-ppm för likadana prov). För proverna av kapselkoppar var resultatet 1,0 resp. 1,6 vikts-ppm för två olika provomgångar. Värmebehandling (500°C i 4 h) av kapselkoppar i omgång 2 visade på ett väteinhåll efter behandlingen av <0,2 vikts-ppm. Proverna hos Degerfors 2013 och 2014 var i storleksordningen 1 g eller mindre.

I en ytterligare undersökning vid Degerfors i januari 2015 lät Uppsala universitet mäta vätehalten hos 99,9999 % Cu (Alfa Aesar) med större provmängder (5-6 g) för obehandlad folie, efter de olika stegen i ytbehandlingen samt ett prov som legat 29 månader i vatten efter ytbehandling (provomgång 1,8 g i detta prov), se avsnitt 3.4.1 i SKBdoc 1470267. Högst halt (0,7 vikts-ppm) uppmättes för det obehandlade provet. Provet efter elektroplering hade en halt på 0,16 vikts-ppm, medan alla prover som utsatts för någon värmebehandling alla visade <0,1 vikts-ppm. Även provet som legat 29 månader i vatten låg under denna halt.

Mätningarna med smältanalyismetoden ger resultat från tiondelar av, till drygt 2 vikts-ppm väte. Den undre mätgränsen för väte i prover i gram-storlek, brukar anges till i storleksordningen några tiondelars vikts-ppm. De större proverna bör ge bättre noggrannhet, men ingen klar angivelse av noggrannheten har getts av Degerfors. En vanlig procedur vid smältanalyserna är också att man polerar (skrapar) ytan innan man mäter för att få bort effekten av eventuella ytskikt, eftersom syftet oftast är att mäta halten i provets inre. Detta gjordes också för proverna som analyserades hos Degerfors 2013, men inte för de som analyserades 2014 och 2015. Då lät Uppsala istället göra mätningar på prover som ytrenats med elektroplering och jämförde med prover som inte ytrenats.

I sammanfattning visar smältanalyserna att en övervägande andel av vätet hos både kapselkoppar och 99,9999 % Cu avges som vätgas om proverna värms till omkring 500 °C före smältanalysen. För 99,9999 % Cu visar analyserna vidare att en relativt stor andel av vätet avlägsnas redan vid elektroplering.

Mätningar av "mobilt väte" vid Degerfors

För två prover som Uppsala universitet låtit Degerfors Laboratorium AB analysera, har mängden mobilt väte från två obehandlade bitar kapselkoppar från Micans bestämts. "Mobilt väte" mäts som den mängd väte som frigörs vid en snabb värmning (250°C till 1000°C på ca 200 s) till strax under smältpunkten. Halten väte som frigjordes på detta sätt uppmättes till 0,21 respektive 0,29 vikts-ppm i de två proven. Den totala mängden väte, bestämd genom smältanalys av ett likadant prov var 1,6 vikts-ppm (nämnt ovan, se SKBdoc 1473479). Det väte som avgår vid en dylik snabb uppvärmning har antagits sitta ytligt. Resultaten antyder att en förhållandevis stor andel av vätet sitter ytligt i dessa obehandlade prover, men SKB ser inte att några mer långtgående slutsatser kan dras än att det är viktigt att ha kontroll på ytans beskaffenhet om väteinnehållet i koppar ska bestämmas.

Urgasningsmätningar

Vid Uppsala universitet har undersökningar gjorts, där kopparprover värmts i UHV (ultrahögvakuum), med en temperaturökningstakt på typiskt 1 °C/min varefter temperaturen hållits konstant. Partialtrycket för en uppsättning species mäts med masspektroskopi. Analysresultaten är inte kalibrerade för att ge mängder av vätgas, men vätemängden kan jämföras relativt mellan olika kopparprover om hänsyn till provvolym tas. Dessa mätningar redovisas i SKBdoc 1470267 (avsnitt 3.4.2 och Appendix E 1) för kopparkvaliteterna 99,9999 % (Alfa Aesar) och 99,95 % (Goodfellow), samt i SKBdoc 1473479 avsnitt 2 b och 2 d, för kapselkoppar och 99,9 %-kvaliteten.

Vid värmning av obehandlade prover (99,9999 %) uppträder två processer, först en avgivning som ger den högsta avgivningstakten (högsta toppar), och därefter en mer långsam avgivning av vätgas (se avsnitt 3.4.2 och Appendix E 1 i SKBdoc 1470267). Prover som ytbehandlats med Uppsalas metod (se Boman et al. 2013) och antingen bara elektropleras, eller elektropleras och värms till 300°C i vätgasatmosfär, ger mycket mindre mängd väte och uppvisar enbart det senare beteendet med långsam avgivning. Resultaten tolkas som att den första avgivningen från de obehandlade proverna utgörs av mer ytligt väte och att detta ytliga väte försvinner vid elektropleringen. Detta stämmer också med resultaten från smältanalyserna av 99,9999 % Cu (se ovan).

Efter sex månaders exponering av 99,9999 % Cu i syrgasfritt vatten kunde ingen ökad urgasning av väte observeras (figur 3-15 i SKBdoc 1470267) jämfört med ytpolerad och värmebehandlad koppar av samma kvalitet.

I figurerna 2.10-2.12 i SKBdoc 1473479 presenteras mätningar från värmningen av kapselkoppar på prover som sedan använts i Micans provrör. Resultaten visar att det inte går att konstatera någon skillnad mellan kapselkoppar som inte behandlats och sådan som behandlats med Micans metod. Användning av Uppsalas metod med elektroplering och vätgasreduktion vid 300°C ger bara 1/10 så mycket väte i efterföljande värmning till 400°C, jämfört med prover som rengjorts med Micans metod. Mängden vätgas som uppmäts vid värmningen är proportionell mot kopparprovets storlek det vill säga ytan eller

volymen (det är förhållandvis platta prover så det går inte att avgöra vilket utifrån dessa försök), se figur 2.8 i SKBdoc 1473479.

I sammanfattning bekräftar urgasmätningar slutsatsen från smältanalyserna att betydande delar av det väte som finns i koppar försvinner vid uppvärmning till några hundra °C.

Mängd omsatt vätgas från kapselkoppar i Micans experiment

Kapselkoppar innehåller i storleksordningen 1 vikts-ppm H. I Micans experiment svarar 1 vikts-ppm mot $10^{-6} \times 2 \times (10 \times 1 \times 0,2) \text{ cm}^3 \times 8,9 \text{ g/cm}^3 \approx 35,6 \text{ } \mu\text{g H} \approx 18 \text{ } \mu\text{mol H}_2$. Många av proverna i Micans tidigare mätserier ger omkring 1 mbar H₂/månad efter ett år, se till exempel Figur 1 i SKB:s lägesrapport från december 2013 (SKBdoc 1418966). Trycket 1 mbar H₂ i Micans gasfas svarar mot cirka 0,2 μmol och produktionstakten svarar således mot cirka 2 $\mu\text{mol H}_2/\text{år}$. Denna takt avtar med tiden, och den totala mängden frigjord H₂ i de experiment som gått längst kan uppskattas till 4 $\mu\text{mol H}_2$.

SKB:s slutsatser

Observationerna kan sammanfattas:

1. Folierna (0,1 mm tjocklek) av 99,9999 %-kopparn har en relativt stor andel av vätet i ett ytskikt. Detta ytskikt, och därmed också vätet däri försvinner redan vid elektropolering.
2. En övervägande andel av vätet hos både kapselkoppar och 99,9999 % Cu avges som vätgas om proverna värms till omkring 500 °C.
3. Den mängd vätgas som observerats i Micans försök med kapselkoppar utgör endast en mindre andel av den totala mängden väte i de proven. Både mätosäkerheterna vid bestämning av totalhalt väte och variationer mellan prover är för stora för att man ska kunna mäta en signifikant skillnad i totalhalt före och efter en exponering för syrefritt vatten hos Micans.

Smältanalys är inte en lämplig metod för att studera variationer av vätehalten i koppar med gram-storlek på prover. Urgasmätningarna är mer kvalitativa, men visar att väte går ur materialet vid alla behandlingar som innebär någon typ av värmning. Den relativa betydelsen av vätet i det yttersta skiktet ökar ju tunnare provet är, vilket gör det svårt att jämföra resultat från de två metoderna när prover med olika yta/volymförhållanden använts.

Det noteras också att ovan citerade studier inte primärt var utformade för att besvara den fråga SSM ställt, och att det därför inte kunde förväntas att de skulle leda till fullständiga svar.

3. Underlagsrapport från Microbial Analytics AB

SKB:s forskningsrapport (TR-13-13) som förberetts av Micans anges som referens i den senaste lägesrapporten men den redovisar inte alla Micans data som återges av SKB i lägesrapporten.

För att möjliggöra en heltäckande granskning önskar SSM att SKB ska tillhandahålla en underlagsrapport från Micans som innefattar en fullständig redovisning av de resultat, bakgrundsdata och experimentella förutsättningar som sammanfattas i den senaste lägesrapporten. Dessutom önskar SSM att SKB presenterar resultat från vattenanalyser (framförallt förekomst av koppar) före och efter exponering av kopparproverna i Micans korrosionsförsök.

SKB:s svar

Detta svar ersätter det preliminära svar som lämnades 2014-11-28 på denna delfråga 3.

En rapport (Johansson et al. 2015) som redovisar alla försök som utförts hos Micans efter de som redovisas i Bengtsson et al. (2013) lämnas som bilaga 3. Rapporten är under tryckning, och manuskript färdigt för sättning till tryck biläggs detta brev. Rapporten redovisar resultaten från experimenten, men sätts i sitt sammanhang med slutsatser om vad detta betyder för frågan om korrosion i syrgasfritt vatten i bilaga 1 till detta svar.

I rapporten (Johansson et al. 2015) redovisas också analyser av vattenprover (framförallt kopparhalter) som har utförts vid en del av experimenten. Som framgår av rapporten kan det dock inte uteslutas att de uppmätta kopparhalterna härrör från metallisk koppar som nöts av från kopparytan under provhanteringen. Som framgår av redovisningen i bilaga 1 avser SKB att utreda detta vidare.

4. Resultat från Studsvik Nuclear AB

SSM önskar en förklaring till varför utfallet från kompletterande försök som nyligen genomförts av Studsvik Nuclear (SKBdoc 1448658) skiljer sig från Studsviks tidigare forskningsresultat (SSM forskningsrapport 2011-34).

SKB:s svar (svar lämnat i november 2014)

Som framgår av SKB:s lägesrapport i september 2014 har SKB ingen förklaring till detta.

Syftet med mätningen som SKB beställde var att utröna huruvida den låga bakgrundshalten av vätgas som observerades i den studie som SSM beställde kunde bero på att kvarvarande syrgas reagerar med vätgas från utrustningen och på så sätt under en tid döljer bakgrunden. För att säkerställa att Studsviks utrustning fungerade som avsett planerades först en upprepning av bakgrundsmätningen från det tidigare försöket. Då denna upprepning gav en betydligt högre vätgasutveckling än i det tidigare försöket efterfrågade SKB en förklaring till varför det tidigare resultatet inte kunde upprepas. Någon sådan kunde dock utföraren inte ge, och omfattningen av uppdraget SKB gav till Studsvik medgav inte någon vidare analys av orsaken. En tänkbar orsak kan vara att utrustning varit delvis nedmonterad under de cirka två år som förflöt mellan experimenten och att delar av utrustningen då förorenats. Detta förklarar dock inte varför bakgrunden ökade så markant då temperaturen höjdes i det försök SKB beställde.

SKB:s syfte var inte att specifikt driva Studsviks försök vidare, utan att generellt försöka förstå orsaken till att vätgasutveckling tycks kunna observeras i system som evakueras på så sätt som görs i Studsviks och KTH-forskarnas försök.

SKB kan inte se att en förklaring kan lämnas utan att ett omfattande uppdrag ges åt Studsvik. SKB:s erfarenhet av experiment i vakuumsystem både vid Uppsala och vid Studsvik är att sådana försök är svårkontrollerade och att data är svårtolkade. SKB har redan ett omfattande program med experiment i vakuumutrustning vid Uppsala universitet och ett större uppdrag till Studsvik kring ett liknande försök är därför inte planerat.

5. Andra teoretiska och experimentella studier

I den senaste lägesrapporten (SKBdoc 1448824, version 1.0) och i SKB:s lägesrapport från juni 2013 (DocID 1396568), har SKB nämnt andra teoretiska och experimentella studier (se nedan) som planeras eller pågår, men de diskuteras inte i detalj. Detta gäller:

- *teoretiska och experimentella studier för att identifiera hittills okända Cu-O-H-föreningar,*
- *beräkningar av ytreaktioner hos koppar,*
- *elektrokemiska studier av koppar i syrgasfritt vatten,*

SKB uppger att undersökningar pågår men ingen redovisning görs angående när resultaten uppskattas vara tillgängliga. SSM önskar en tidplan som visar när undersökningarna beräknas vara klara samt motsvarande planer för eventuell publicering.

SKB:s svar

Nedanstående svar är identiskt med det som lämnades i november 2014, förutom att sista meningen i stycket under rubriken ”Elektrokemiska studier av koppar i syrgasfritt vatten” bytts ut.

Material från de andra teoretiska och experimentella studierna finns publicerat, även om SKB inte tagit upp det i lägesrapporten i september. För material från 2011-2013 har resultaten i de flesta fall även beskrivits i Fud-program 2013 (SKB 2013). Nedan beskrivs kort det material som publicerats efter ansökan 2011, samt den planerade fortsättningen.

Teoretiska och experimentella studier för att identifiera hittills okända Cu-O-H-föreningar

Arbetet med teoretiska och experimentella studier för att identifiera hittills okända Cu-O-H-föreningar, har pågått under flera år, men efter den rapportering som aviseras nedan planeras inga ytterligare större insatser inom detta område.

Följande fem artiklar har publicerats:

Korzhavyi P A, Soroka I L, Boman M, Johansson B, 2011. Thermodynamics of stable and metastable Cu-O-H compounds. Solid State Phenomena 172–174, 973–978.

Korzhavyi P A, Soroka I L, Isaev E I, Lilja C, Johansson B, 2012. Exploring monovalent copper compounds with oxygen and hydrogen. *Proceedings of National Academy of Sciences* 109, 686–689.

Soroka I L, Shchukarev A, Jonsson M, Tarakina N V, Korzhavyi P A, 2013. Cuprous hydroxide in a solid form: does it exist? *Dalton Transactions* 42, 9585–9594.

Soroka I L, Tarakina N V, Korzhavyi P A, Stepanenko V, Jonsson M, 2013. Effect of synthesis temperature on the morphology and stability of copper(I) hydride nanoparticles, *CrystEngComm* 15, 8450-8460.

Li Y, Lousada C M, Korzhavyi P A, 2014. Electronic structures and optical properties of cuprous oxide and hydroxide. In Craciun V, Guilloux-Viry M, Jain M, Jia Q X, Kozuka H, Kumar D, Mathur S, Obradors X, Singh K (eds). 2014 MRS Spring Meeting – Symposium K/RR – Synthesis, characterization and applications of functional materials – Thin films and nanostructures. Warrendale, PA: Materials Research Society. (Materials Research Society Symposium Proceedings 1675). doi:10.1557/opl.2014.862

Ytterligare en artikel, har skickats till *Physical Review Letters* (2014-11-18), med följande preliminära författare och titel:

Li Y, Lousada C M, Soroka I L, Korzhavyi P A, Bonding Topology and Antiferroelectric Order in Cuprite, CuOH.

Ytreaktioner hos koppar

När det gäller beräkningar av ytreaktioner hos koppar har arbetet på KTH fortsatt av en doktorand (Joakim Halldin Stenlid), samt under 2014 i ett postdoc-projekt, båda på KTH. Doktorandprojektet kommer att fortsätta, medan eventuella insatser i post-docprojektet inte specificerats.

Följande tre artiklar har publicerats:

Johansson A J, Brinck T, 2012. Mechanisms and energetics of surface reactions at the copper–water interface. A critical literature review with implications for the debate on corrosion of copper in anoxic water. SKB TR-12-07, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Johansson A J, Lilja C, Brinck T, 2011. On the formation of hydrogen gas on copper in anoxic water. *Journal of Chemical Physics* 135, 084709. doi:10.1063/1.3624788

Halldin Stenlid J, Johansson A J, Brinck T, 2014. Searching for the thermodynamic limit – a DFT study of the step-wise water oxidation of the bipyramidal Cu₇ cluster. *Physical Chemistry Chemical Physics* 16, 2452–2464.

Ytterligare en artikel planeras skickas till *Journal of American Chemical Society* (senast före årsskiftet), med följande preliminära titel och författare:

Lousada C M, Johansson A J, Korzhavyi P A. Thermodynamics of water splitting and hydrogen gas formation on the Cu(110) surface.

Elektrokemiska studier av koppar i syrgasfritt vatten

De elektrokemiska studierna har fortsatt, och arbete med fortsatt utveckling av modeller och ytterligare experiment planeras för åtminstone våren 2015. En mer fullständig tolkning behövs innan en rapport eller vetenskaplig publikation kan skrivas. I den samlade redovisningen som ges i bilaga 1 enligt punkt 1 ovan redogörs kort för några opublicerade resultat från dessa studier.

En artikel har publicerats:

Betova I, Bojinov M, Lilja C, 2013. Long-term interaction of copper with a deoxygenated neutral aqueous solution. *Journal of Electrochemical Society* 160, C49–C58.

Med vänlig hälsning

Svensk Kärnbränslehantering AB
Avdelning Kärnbränsle

Helene Åhsberg
Projektledare Tillståndsprövning

Bilaga

1. Samlad redovisning om kopparkorrosion i syrgasfritt vatten. SKBdoc 1473304 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
2. Certificate of Analysis Copper 99.9 % lot-H13U014. SKBdoc 1462347 ver 1.0, Alfa Aesar.
3. Johansson J, Blom A, Chukharkina A, Pedersen K, 2015. Study of H₂ gas emission in sealed compartments containing copper immersed in O₂-free water. SKB TR-15-03, Svensk Kärnbränslehantering AB.
(Dokumentet biläggs som manuskript för sättning till tryck, SKBdoc 1472455 ver 1.0.)

Referenser

Referenser i ansökan

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

Övriga referenser

Bengtsson A, Chukharkina A, Eriksson L, Hallbeck B, Hallbeck L, Johansson J, Johansson L, Pedersen K, 2013. Development of a method for the study of H₂ gas emission in sealed compartments containing canister copper immersed in O₂-free water. SKB TR-13-13, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Boman M, Ottosson M, Berger R, Andersson Y, Hahlin M, Björefors F, Gustafsson T, 2013. Koppars korrosion i ultrarent vatten. SKB R-13-31, Svensk Kärnbränslehantering AB.

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

Opublicerade dokument

SKBdoc 1418966 ver 1.0. Lägesrapport om kopparkorrosion i syrgasfritt vatten, december 2013. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKBdoc 1448824 ver 1.0. Lägesrapport om kopparkorrosion i syrgasfritt vatten, september 2014. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKBdoc 1470267 ver 1.0. Copper in ultrapure water. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKBdoc 1473479 ver 1.0. Analyses on copper samples from Micans. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Revisionsförteckning

Version	Datum	Revideringen omfattar	Utförd av	Kvalitetssäkrad	Godkänd
2.0	Se sidhuvud	Fråga 1 besvaras med bilaga 1, svar på fråga 2 och 3 uppdateras och kompletteras med bilaga 3. Ett kort tillägg sist i fråga 5 infört.	Se sidhuvud	Se sidhuvud	Se sidhuvud
1.0	2014-11-28	Tid för kommande svar på fråga 1 gavs. SKBdoc 1462347 ver 1.0 lämnades som bilaga med ett inledande svar på fråga 2. Ett inledande svar lämnades också på fråga 3. Fråga 4 och 5 besvarades.	Christina Lilja, Johannes Johansson, Allan Hedin	Helene Åhsberg	Martin Sjölund