

Yttrande över Svensk Kärnbränslehanterings AB yttrande, Mål nr 1333-11, angående tillstånd till anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall, aktbilaga 552-556

Mål nr M 1333-11, från Aktbilaga 552, stycke B.1.2.1 från SKB's kompletterande yttrande går följande att läsa, citat:

NACKA TINGSRÄTT	
Avdelning 4	
INKOM:	2017-08-30
MÅLNR:	M 1333-11
AKTBIL:	590

"Bland annat påstås att koppar korroderar i rent vatten i en omfattning som vida överstiger den som förutsägs av etablerad vetenskap..."

"... att det inte finns någon vetenskaplig grund för antagandet att koppar i rent vatten korroderar mer än vad som förutsägs av etablerad vetenskap"

"Mer noggrant kontrollerade experiment än de som KTH-forskarna åberopar uppvisar inga effekter som tolkas som korrosion."

Dessa tre påståenden är falska. Begreppet "etablerad vetenskap" utgörs av vetenskapliga fakta och teoretiska modeller av verkligheten som modifieras och förfinas med tiden. Här använder sig SKB av begreppet baserat på kunskapsläget för ca 40 år sedan. Flertalet studier av vetenskapligt mycket hög kvalitet har utförts under åren därefter och särskilt under senare år, vilka bekräftat att koppar korroderar i rent syrgasfritt vatten på ett icke försumbart sätt. De fyra viktigaste forskargrupperna utöver KTH är följande:

- USA, Florida Universitetet under ledning av professor Mark Orazem, internationell auktoritet inom korrosionsvetenskap [1].
- Sverige, förutom ett femtontal fackgranskade vetenskapliga publikationer [2-16] från de s.k. "KTH forskarna", initierat av docent Gunnar Hultquist som visar på, såväl experimentellt som teoretiskt, vätgasdrivande kopparkorrosion tillsammans med forskargrupper från bl.a. Kanada, Singapore, Japan samt USA (NASA) [3-4,7-9, 11,14-16] så har Studsvik AB oberoende bekräftat dessa resultat [17].
- Ytterligare en forskargrupp i Sverige under ledning av professor Karsten Pedersen, Göteborgs Universitet/Micans har gjort ett stort antal mycket noggranna försök i provrör som bekräftar repeterbar vätgasutveckling och därmed kopparkorrosion. Forskningen har finansierats av SKB (Rapport TR 13-13) [18].
- Tyskland, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) samt Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) under ledning av Dr. Stephan Kaufhold [19]. Referensförsök är gjorda i rent syrgasfritt vatten. Dessa forskningsorganisationer har mer än 30 års erfarenhet av att utföra absolut syrgasfria försök och SKB's kommentar i stycke B.1.2.3 (Aktbilaga 552) att kopparkorrosionen skulle bero på syre och svavel i referensförsöket saknar helt grund.

Allan Hedin (SKB) bortförklarar kopparkorrosionsresultaten med en egen teori som bryter mot kända naturlagar och helt följdriktigt har denna refuserats av fackgranskad tidskrift (Corrosion Science, CORSCI-D-16-00674, Aug 07, 2016). Hedins förklaringsmodell går ut på att den av flera forskargrupper uppmätta vätgasen skulle spontant läcka ut ur kopparmetallen när kopparproverna exponeras för syrgasfritt vatten. Denna teori bryter skarpt mot termodynamikens lagar.

Dagens etablerade vetenskap säger att koppar korroderar i syrgasfritt vatten under svag vätgasutveckling med samtidig absorption av väteatomer i kopparmetallen. Vidare är det fastställt att korrosionen är särskilt problematisk i applikationer med små kopparkomponenter (liten korrosionsmån), såsom vattenkyld elektronik men även för stora komponenter där mycket lång livslängd krävs, såsom i ett slutförvar av högaktivt radioaktivt avfall.

Den vetenskapliga förklaringen till att SKB alltid uppmäter i sammanhanget alldeles för höga korrosionshastigheter (så höga att KBS-3 metoden inte går att använda) på koppar exponerat i Äspö bergslaboratorium (i grundvatten på 500 meters djup) är att koppar inte bara reagerar med grundvattnets svavelsalter, (såsom SKB envist hävdar) utan även med vattenmolekylerna. Denna synergistiska kopparreaktion med vatten och salter, ”1+1 = 3” effekten, är den sanna vetenskapliga förklaringen till att de uppmätta kopparkorrosionshastigheterna i de olika Äspö försöken alltid resulterat i mer än 1000 gånger högre kopparkorrosionshastigheter än vad den teoretiska (och felaktiga) KBS-3 modellen anger. SKB’s systematiska bortförklaringar att ”syre måste ha läckt in” alternativt att ”kvarvarande restsyre” måste ha orsakat kopparkorrosionen saknar relevans. Dagens etablerade vetenskap säger att kvarvarande restsyre i en slutförvarsmiljö konsumeras mycket snabbt, på dagar till några veckor eller någon månad i stora försök.

Man måste komma ihåg att den riktiga slutförvarsmiljön med korrosiva salter som finns i grundvattnet med saltindunstning pga värme från radioaktiva strålningen (saunaeffekten), samt radiolys representerar en mycket aggressivare miljö mot kopparkapseln än rent vatten och nya rapporter visar att även spänningskorrosion [20,21] kommer att ske i slutförvarsmiljön. Detta indikeras också av SKB’s egen forskning, se Figur 4-7 i SKB rapporten TR-16-12 [22]. Denna korrosionsprocess är mycket snabb vilket innebär att flera kapslar kan haverera redan inom 100 år.

Förhållandena i den verkliga slutförvarsmiljön förvärras sannolikt på flera sätt genom radioaktiv strålning. De försök med koppar i syrefritt vatten och accelererad gammastrålning som utförts på senare år vid KTH [23] visar på en förhöjd korrosionsinverkan som i sig kan verka acceptabelt liten. Men forskning vid Aalto University i Helsingfors [24] har samtidigt visat att bildat väte pga den strålningsinducerade kopparkorrosionen leds in i kopparmaterialet och förändrar defekters fysikaliska egenskaper. Detta kan i sin tur förändra den mekaniska integriteten av materialet på ett sätt som för närvarande är okänt. Slutsatsen blir att även om själva strålningen är som intensivast under de första 100 åren kan dess effekt vara fullt påtaglig under de resterande åren till kapselhaveri genom en kombination av korrosion och mekanisk destabilisering av kopparmaterialet. Ingen människa i världen besitter idag tillräckligt med kunskap för att kunna bestrida det påståendet.

Grundbulten i hela KBS-3 modellen har varit att koppar har ansetts immunt i rent syrgasfritt vatten, dvs att koppar inte får reagera med vattenmolekyler, vilket ”kopparkapseln fader” professor Ingemar Grenthe själv stipulerade som en förutsättning. De senaste årens etablerade korrosionsvetenskap har tyvärr fastställt att detta inte gäller, m.a.o. själva grundbulten till KBS-3 modellen har fallerat. Det är i viss grad förståeligt (men inte alls acceptabelt) att bolaget SKB till varje pris försvarar sin kopparkapsel, pengar och prestige står på spel, men det måste anses vara desto grövre och allvarligare att cheferna på den statliga kontrollmyndigheten SSM släppt fram denna undermåliga slutförvarsmodell som inte vilar på dagens etablerade vetenskap. SSM’s egna korrosionsexperter har de senaste åren har varit väl medvetna om korrosionsproblemen och har upprepade gånger gjort cheferna uppmärksammade på detta faktum men dessa har valt den enkla vägen och inte agerat mot SKB och KBS-3 modellen.

För att minimera kostnader och risker för samhället bör KBS-3 modellen stoppas fortast möjligt och seriös oberoende FoU bör ta vid. Mellanlagret i Oskarshamn för högaktivt kärnavfall fungerar mycket bra och med hög säkerhet så det är ingen brådska att utveckla en säker slutförvarsmodell som vilar på vetenskaplig grund, vilket innefattar en utvärdering efter långtidsförsök *in-situ* under relevanta förhållanden. Detta har aldrig gjorts med KBS-3 modellen.



Tekn. Dr. Peter Szakálos



Prof. Anders Rosengren



Prof. em. Seshadri Seetharaman



Prof. em. Christofer Leygraf

Referenslista:

- [1] C. Cleveland, S. Moghaddam, M.E. Orazem, Nanometer-scale corrosion of copper in de-aerated deionized water, *J. Electrochem. Soc.* 161 (2014) C107–C114.
- [2] G. Hultquist, Hydrogen Evolution in Corrosion of Copper, *Corrosion. Science.*, 29 (1986)173-176.
- [3] G. Hultquist, G.K. Chuah, K.L. Tan, Comments on hydrogen evolution from the corrosion of pure copper, *Corrosion Science* 29 (1989) 1371-1377.
- [4] Seo, M. ; Hultquist, G. ; Gråsjö, L. ; Sato, N Hydrogen Evolution Kinetics in Corrosion of Copper, Iron and Zinc in Water, *Key Engineering Materials*, 20-28 (1991), 481-488.
- [5] P. Szakálos, G. Hultquist, G. Wikmark, Corrosion of Copper by Water, *Electrochem Solid State Lett.* 10 (2007)C63.
- [6] P. Szakálos, G. Hultquist, G. Wikmark, Response to the comment on "Corrosion of copper by water", *Electrochem Solid-State Lett.* 11 (2008), S2.
- [7] G. Hultquist, P. Szakálos, M.J. Graham, G.I. Sproule, G. Wikmark, Detection of hydrogen in corrosion of copper in pure water, *Proceedings of the ICC, International Corrosion Congress* (2008) 1–9, Paper 3884.
- [8] G. Hultquist, P. Szakálos, M.J. Graham, A.B. Belonoshko, G.I. Sproule, L. Gråsjö, P. Dorogokupets, B. Danilow, T. Aastrup, G. Wikmark, G.K. Chuah, J.C. Eriksson, A. Rosengren, Water corrodes copper, *Catal. Lett.* 132 (2009) 311–316.
- [9] G. Hultquist, P. Szakálos, M.J. Graham, A.B. Belonoshko, A. Rosengren, Reply to Lars O. Werme et al., Comments on "Water Corrodes Copper", *Catalysis Letters*, 135 (2010)167-168.
- [10] A.B. Belonoshko, A. Rosengren, Ab Initio Study of Water Interaction with a Cu Surface, *Langmuir* 26 (2010)16267–16270.

- [11] G. Hultquist, M.J. Graham, P. Szakálos, G.I. Sproule, A. Rosengren, L. Gråsjö, Hydrogen gas production during corrosion of copper by water, *Corros. Sci.* 53 (2011)310–319.
- [12] A. B. Belonoshko, A. Rosengren, A possible mechanism of copper corrosion in anoxic water, *Phil. Mag.* 92 (2012) 4618-4627.
- [13] P. Szakálos and S. Seetharaman “Corrosion of copper canister”, SSM-rapport 2012-17.
<http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Technical%20Note/2012/SSM-Rapport-2012-17.pdf>
- [14] G. Hultquist, M.J. Graham, O. Kodra, S. Moisa, R. Liu, U. Bexell, J. Smialek, Corrosion of copper in distilled water without oxygen and the detection of hydrogen, *Corros. Sci.* 95 (2015) 162–167.
- [15] G. Hultquist, M. J. Graham, J. Smialek, B. Jonsson, Hydrogen in metals studied by Thermal Desorption Spectroscopy (TDS), *Corros. Sci.* 93 (2015) 324-326.
- [16] G. Hultquist, M. J. Graham, J. Smialek, O. Kodra, Response to comment by A. Hedin et al. on "Corrosion of copper in distilled water without oxygen and the detection of produced hydrogen" *Corros. Sci.*, 106 (2016) 306-307.
- [17] R. Becker, H.-P. Hermansson, Evolution of Hydrogen by Copper in Ultrapure Water Without Dissolved Oxygen, Swedish Radiation Safety Authority SSM Report 2011:34 (2011), ISSN: 2000-0456.
- [18] A. Bengtsson, A. Chukharkina, L. Eriksson, B. Hallbeck, L. Hallbeck, J. Johansson, L. Johansson, K. Pedersen, Development of a method for the study of H₂ gas emission in sealed compartments containing canister copper immersed in O₂ free water, (2013) SKB Rapport TR-13-13.
- [19] S. Kaufhold, R. Dohrmann, J. Gröger-Trampe, Reaction of native copper in contact with pyrite and bentonite in anaerobic water at elevated temperatures, *Corr. Eng., Sci. and Tech.*, 52 (2017) 349-358.
- [20] R. Becker och J. Öijerholm, Slow strain rate testing of copper in sulphide rich chloride containing deoxygenated water at 90 °C, SSM (2017), rapport 2017-02.
- [21] A. Forsström, R. Becker, J. Öijerholm, Y. Yagodzinskyy, H. Hänninen and J. Linder, Hydrogen absorption in copper as a result of corrosion reactions in sulphide and chloride containing deoxygenated water at 90 °C in simulated spent nuclear fuel repository conditions, EUROCORR (2017), Prague 4-8 Sept.
- [22] A. Gordon, L. Sjögren, C. Taxén och A. J. Johansson, Retrieval and post-test examination of packages 4 and 5 of the MiniCan field experiment, (2017) SKB rapport TR-16-12.
- [23] Åsa Björkbacka, KTH Royal Institute of Technology, Radiation induced corrosion of copper, Doctoral Thesis (2015) ISBN 978-91-7595-710-4.
- [24] H. Hänninen and Y. Yagodzinskyy, Finnish Research Programme on Nuclear Waste Management (KYT) 2015-2018.