



Miljödomstolen i Nacka Mål nr M 1333-11

# Varför etablerad korrosionsvetenskap underkänner KBS-3 modellen för slutförvaring av högaktivt kärnavfall

Tekn. Dr. Peter Szakálos, KTH  
Prof. Anders Rosengren, KTH  
Prof. Christofer Leygraf, KTH  
Prof. Seeshadri Seetharaman, KTH

NACKA TINGSRÄTT  
Avdelning 4  
INKOM: 2017-09-08  
MÅLNR: M 1333-11  
AKTBIL: 645



## Kopparkapselns historia

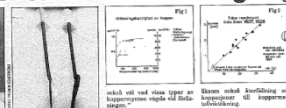


Tisdag

19 JAN 2014

Regeringen väntas under veckan fatta beslut om lagdömsförfarandet för att reglera kärnteknikens försäkring och Osäkerhetslagen. Beslutet ska fattas senast den 15 januari och följande vecka ska riksdagen besluta om lagdömsförfarandet. Det innebär att kärntekniken måste hållas isolerad från omgivningen så länge som kärnkraften är skadligt hög.

### Korrosionsforskare varnar: Sex meter tjocka kopparkapslar krävs för säker slutförvaring



P. Szakálos et al. Miljödomstolen 8 sept. 2017

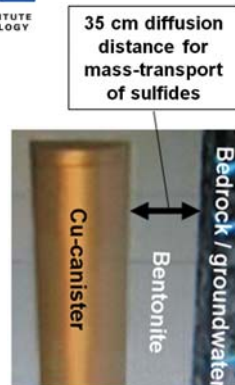
Dagens Industri • Fredag 8 december 1985

### Forskarstrid om kärnavfallet KTH-forskare slår fast:

# KOPPAR-KAPSLARNA ROSTAR SÖNDER

"Koppar korroderar i rent vatten". Det sensationella påståendet gör till de Gunnar Hultquist, KTH-forskare i fysikalisk kemi. "Påståendet är lika sensationellt som om vi skulle hitta en ny planet mellan jorden och månen", säger livvårdande professorn i termodynamik, Ingemar Grenthe. För Gunnar Hultquist rätt kan regeringen ha gjort lagdömsförfarandet till Sveriges två sista kärnkraftverk på färdiga grunder. Hans forskningsresultat kan också innebära att kärnkraftindustrin måste ompröva sin slutförvaringsmetod, kallad KBS 3.

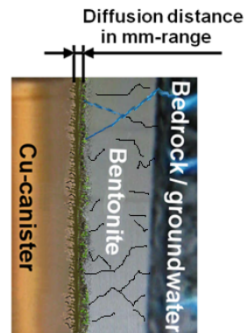
## SKB's KBS-3 modell:



KBS-3 är en idealiserad modell där kopparkapseln är "skyddad" mot svavelsalter, vilket är det enda som förväntas angripa kopparmetallen i den syrgasfria miljön enligt SKB. "Skyddet" består av en idealt sprickfri och tät bentonitlera.

P. Szakálos et al. Miljödomstolen 8 sept. 2017

## Verkligheten:



Verkligheten är mycket allvarligare, koppar reagerar inte bara med svavelsalter utan även med klorer, karbonater, hydroxider och med själva vattenmolekylerna som grundvattnet består av.

Dessutom kommer leran inte att vara sprickfri i Forsmarks slutförvarsmiljö vilket ytterligare ökar kopparkorrosionshastigheten

3

## Dagens etablerade vetenskap säger att koppar korroderar i syrgasfritt vatten

Två av de största korrosionsauktoriteterna i USA, prof. Mark Orazem, University of Florida samt prof. Digby Macdonald, Berkely, skriver under på att "Hultquist's copper corrosion results in oxygen free water are not at odds with thermodynamics".

Två internationella auktoriteter inom korrosion/termodynamik kommer från KTH, nämligen prof. Christofer Leygraf (Korrosionsvetenskap) samt prof. Seshadri Seetharaman (termodynamik/metallurgi), båda bekräftar att koppar korroderar i syrgasfritt vatten.

Oss veterligt finns det inga oberoende professorer inom områdena korrosionsvetenskap eller termodynamik i världen idag som stödjer SKB's föräldrade syn att koppar inte skulle reagera med vattenmolekyler på ett signifikant sätt.

P. Szakálos et al. Miljödomstolen 8 sept. 2017

4



## SKB vägrar ta till sig etablerad forskning. I aktbilaga 552, stycke B.1.2.1 från SKB's kompletterande yttrande går följande att läsa:

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

"... att det inte finns någon vetenskaplig grund för antagandet att koppar i rent vatten korroderar mer än vad som förutsågs 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 hög kvalitet har utförts under åren därefter och särskilt under senare år, vilka har bekräftat att koppar korroderar i rent syrgasfritt vatten på ett icke försumbart sätt.**

Se utförligare beskrivning i Aktbilaga 590

P. Szakálos et al. Miljödomstolen 8 sept. 2017

5



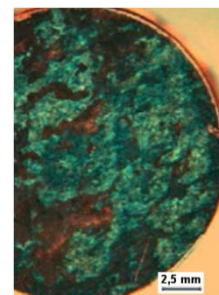
## Vad spelar det för roll om koppar reagerar långsamt med vattenmolekyler?

Enligt SKB sker det i praktiken inte "men om det skulle göra det är det ändå ofarligt för slutförvaret" vilket är ett felaktigt och ovetenskapligt påstående.

Det faktum att koppar reagerar med både vattenmolekyler och lösta salter resulterar i en "1+1= 3" effekt vad avser kopparkorrosion (inga långa transportvägar är nödvändiga i slutförvarsmiljön).

Detta förklarar varför SKB alltid mätt upp alldeles för höga kopparkorrosionshastigheter i Äspölaboratoriets grundvatten (LOT, Prototyp, MiniCan projekten) jämfört med vad KBS-3 modellen förutsäger.

Detta förklarar även varför kapslarna kan drabbas av väteförspredning och spänningskorrosion (sprickbildning) vilket är mycket allvarligt, då kapslarna kan spricka på mycket kort tid när väl rätt förutsättningar etablerats i det föreslagna slutförvaret i Forsmark.



Prototypkapsel nr 5

**Kopparkorrosionshastigheten i slutförvaret är därför mer än 1000 gånger snabbare än vad SKB och KBS-3 modellen räknar med.**

P. Szakálos et al. Miljödomstolen 8 sept. 2017

6



## Kopparkorrosionshastigheter under de första århundradena i Forsmark

Miljön kommer att växla initialt från luft till gruvgasar innehållande svavel för att slutligen blötläggas av korrosivt grundvatten med högre salthalt än Östersjön.

Radioaktivt sönderfall med restvärme (1700 Watt) från det högaktiva avfallet ger temperaturer i intervallet 50-100°C vilket oundvikligen resulterar kraftigt ökad korrosion samt saltindunstning (saunaeffekten)

Spänningskorrosion och väteförspredning (sprickbildningsprocesser)

Läckströmskorrosion pga Fenno-Skan kabeln. Likströmskabel för överföring av el, 550 MW, mellan Sverige (Forsmark) och Finland där ena polen går rakt ner i grundvattnet/Östersjön.

Ny forskning på KTH samt Aalto universitetet har visat att strålningen är mycket allvarigare för kopparmetallens nedbrytning än vad SKB räknat med. Den strålningsinducerade kopparkorrosionen ger även ett accelererat upptag av väte i kopparmetallen. Strålningen innebär både en pålagrad ökad korrosion samt mekanisk destabilisering av kopparmaterialet (se vidare Aktbilaga 590).

**Kopparkapselns tjocklek är endast 5 cm och kopparkorrosionen kan uppskattas med experimentella data från vetenskaplig litteratur till 0,5-2 cm per 100 år under de första hundratalet åren.**

**Detta är medelkorrosionshastigheter och då korrosionen blir ojämn (samt sprickbildning) i komplexa miljöer så innebär detta att flera kapslar kommer att kollapsa redan efter de första 100 åren.**

**Jfr SKB's egna teoretiska korrosionsberäkningar på ca 2 mm per million år (!)**

**SKB's teoretiska beräkningsmodell strider mot alla experimentella kopparkorrosionsdata och måste därför klassas som ovetenskaplig.**

P. Szakálos et al. Miljödomstolen 8 sept. 2017

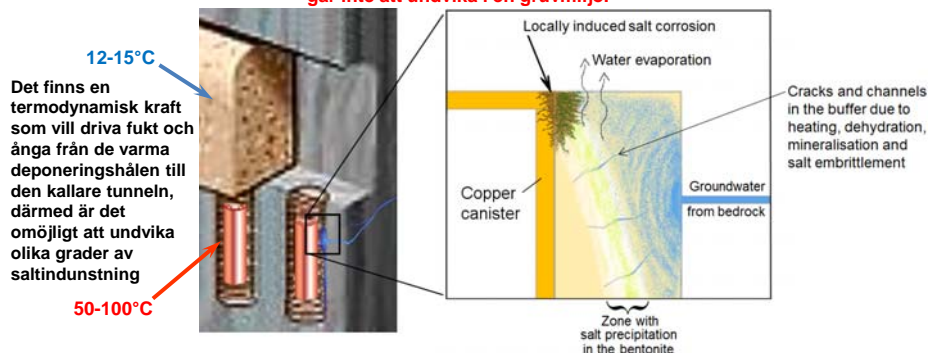
7



## "Saunaeffekten": upphettad kopparkapsel i kall vattenläckande gruvmiljö

Varje kapsel utvecklar 1700 W värme pga kärnavfallets radioaktiva sönderfall. **Fundamentalt problem då ren koppar inte tål värme. Ingen skyddande oxid kan bildas vilket gör att korrosionshastigheten ökar exponentiellt med temperaturen.**

**Grundläggande termodynamik säger att fukt alltid rör sig från varmare till kallare områden, detta går inte att undvika i en gruvmiljö.**



**Endast ett fåtal metaller klarar indunstningskorrosion med klor- och svavelsalter vid förhöjda temperaturer. Inom industrin används palladiumlegerat titan eller tantal-legeringar för sådana miljöer, absolut inte koppar eller ens korrosionsbeständiga kopparlegeringar.**

P. Szakálos et al. Miljödomstolen 8 sept. 2017

8



## Hur kan kontrollmyndigheten SSM tillstyrka KBS-3 modellen?

SSM's egna korrosionsexperter samt deras externt anlitate korrosionsexperter har de senaste åren försökt slå larm internt inom myndigheten om de allvarliga bristerna med KBS-3 modellen vad avser de olika kopparkorrosionsproblemen. SSM har trots detta valt att tillstyrka den av SKB inlämnade ansökan (!)

Om kontrollmyndigheten SSM tog hänsyn till etablerad korrosionsvetenskap skulle det **resultera i en avstyrkan av SKB's ansökan.**



## Bedriver SKB öppen och fri grundläggande forskning?



Uppsala Universitet  
Inst för materialkemi  
Box 530  
751 21 Uppsala

### Beställning

Beställningsnummer  
**4668**

Datum  
2011-01-10

Vår referens  
Vår tekn handläggare  
Er referens

Maria Sommarlund  
Christina Lilja  
Mats Boman

### Kopparkorrosion i rent syrefritt vatten

#### BAKGRUND OCH SYFTE

Det föreslagna projektet är en grundläggande forskningsstudie av kopparkorrosionsprocesser i vatten fritt från löst syrgas. Bakgrunden finns beskriven i "Copper corrosion in pure oxygen-free water, Research project, 1 October 2010" skrivet av Materialkemi vid Uppsala Universitet.

#### Äganderätt

9. Alla resultat som framkommer i samband med Uppdraget, inklusive datorprogram med tillhörande källkod och dokumentation, ska utgöra SKB:s egendom. Resultatet av Uppdraget får fritt disponeras, ändras och bearbetas av SKB.

10. För resultat av Uppdraget i form av text, bild och/eller ljud och motsvarande, t ex film, video, ljudupptagningar, grafik, rapporter, broschyrer och presentationsmaterial, vilket alltid ska levereras i digital form, gäller även följande:

- SKB erhåller utan ytterligare ersättning upphovsrätten till materialet. SKB har därmed bland annat rätt att utan samtycke ändra i och redigera materialet, att översätta detta till annat språk, att sammanfoga detta med annat material och att överföra materialet till annan form eller annat medium. SKB har ingen skyldighet att utnyttja materialet på visst sätt.
- Utföraren ska ombesörja de medgivanden från dennes anställda och underleverantörer som behövs för ovanstående rättighetsöverlåtelser.





## SKB har anlitat forskare från Ångströmlaboratoriet (Uppsala universitet) i 6 år nu för att studera om koppar korroderar i rent vatten

*M. Ottosson, M. Boman, P. Berastegui, Y. Andersson, M. Hahlin, M. Korvela, R. Berger, Copper in ultrapure water, a scientific issue under debate. Corrosion Science 122 (2017) 53–60.*

I deras senaste publikation i "Corrosion Science" erkänner Ottosson, Boman m.fl. att de har så höga halter av väte i sin utrustning redan från början att eventuell kopparkorrosion inte går att studera(!)

Dessutom har Ottosson, Boman m.fl. valt att specialbehandla kopparytorna i fosforsyra samt med olika värmebehandlingar i 300°C och 400°C på ett sådant sätt att korrosionsreaktionen med vattenmolekylerna försvåras eller förhindras. Vi KTH-forskare har påpekat detta i flera år i den av SKB initierade "Referensgruppen för kopparkorrosion" där Ottosson och Boman deltagit, men utan resultat. (Det kan tilläggas att i enstaka försök med normalt slipad kopparyta så får Uppsalaforskarna resultat som stödjer våra rön med ökad vätgasutveckling)

Då Ottosson, Boman m. fl. systematiskt vägrar ta till sig experimentella vetenskapliga fakta har vi KTH-forskare känt oss nödgade att skicka in ett manuskript till "Corrosion Science" där vi förklarar missförhållandena med deras experiment. Manuskriptet kommer att publiceras inom snar framtid.



## SKB är inte intresserade av att lösa problemet utan angriper istället budbärarna, både forskare och journalister

*Ur Bo Holmströms memoarer:*



När jag skriver detta hör jag i TV:n, som står på i ett annat rum, att man den dagen ska lämna in ansökan för att få förvara utbränt kärnbränsle inkapslat i bland annat koppar 500 meter ner i berget under Forsmarks kärnkraftverk. Och så säger de i TV:n att forskarna inte är överens om att kopparn kommer att stå emot eller om den kommer att korrodera så att det inte blir hermetiskt tillslutet.

Det rapporterade jag redan för tre–fyra år sen. Forskare på KTH, Kungliga Tekniska Högskolan, i Stockholm som hade studerat kopparmynt från bland annat regalskeppet Wasa och funnit att de korroderat 100 gånger snabbare än man tidigare

trott. Samma sak skulle rimligen ske också med kopparinneslutningen runt det livsfarliga radioaktiva kärnbränslet.

Svensk Kärnbränslehantering, SKB, såväl som kärnkraftsindustrin blev upprörda. Sådant får man inte publicera, det skulle skrämra slag på folk och dessutom var det fel, koppar korroderar inte alls.

Telefonerna gick varma hos cheferna på nyhetsredaktionen, stoppa detta lögnaktiga inlägg. Men inslaget stoppades inte alls, det var inte lögnaktigt. Det var ett faktum att SKB

## Angående syrgasfrihet i korrosionsstudierna beskrivna i referenserna [1] och [19] i Ab 590

Angående syrgasfrihet i försöken av Cleveland, Orazem m. fl. [1] så beskrivs situationen tydligt i deras "Response" på SKB's "Comment" i samma journal [1]. Om den uppmätta kopparkorrosionen skulle bero på löst syre i vattnet så skulle en kopparoxidfilm ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) oundvikligen ha bildats vilket skulle ha detekterats med de känsliga impedansmätningarna. Frånvaron av en kopparoxidfilm i [1] utgör ett tydligt bevis för att kopparkorrosionen som skett i deras försök ej berott på löst syrgas [1].

I referens [19], Kaufhold m.fl., så var det med "god marginal" syrgasfritt i deras försök då även utfällning av metalliska kopparpartiklar kunde detekteras (Viktigt att förstå är att monovalenta korrosionsprodukter som  $\text{Cu}_2\text{O}$  är termodynamiskt förväntade i både syrgasfritt vatten och syresatt vatten). Dessa forskare har över 30 års erfarenhet med syrgasfria (anaeroba) experiment och utrustningar då de även studerar mikrober som inte tål syresatt vatten.

[1] C. Cleveland, S. Moghaddam, M.E. Orazem, Nanometer-scale corrosion of copper in de-aerated deionized water, *Journal of The Electrochemical Society*, 161 (2014) C107–C114.

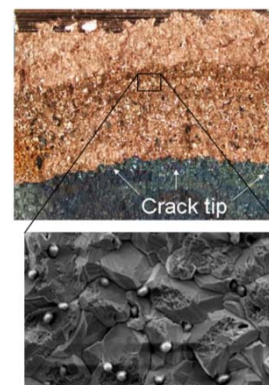
[1] C. Cleveland, S. Moghaddam, M.E. Orazem, Response to "Comment on Nanometer-Scale Corrosion of Copper in De-Aerated Deionized Water" [*J. Electrochem. Soc.*, 161, C107 (2014)], *Journal of The Electrochemical Society*, 163 (2016) Y5–Y11

[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.

## Hur allvarliga är KBS-3 modellens brister och vad kan konsekvenserna bli?

Förväntad allmänkorrosion av koppar baserat på dagens etablerade vetenskap indikerar att kapslarna försvagas och kollapsar inom ca 1000 år. Situationen är dock ännu allvarligare då förutsättningar för snabb sprickbildning pga spänningskorrosion och väteförspredning föreligger. Dessutom kan läckströmmar, saltindunstning samt radiolyt accelerera kopparkorrosionen ytterligare. Sammantaget så är det sannolikt att ett stort antal kapslar kommer att haverera under de första 300 åren och att en majoritet av kapslarna havererar under de första 1000 åren.

Enligt de internationella slutförvarsexperter som SSM anlitar så skulle ett systematiskt kapselhaveri inom de första hundra åren innebära en miljökatastrof som är omöjlig att sanera. Inte bara det svenska grundvattnet skulle bli kontaminerat utan alla länder i hela Östersjöregionen skulle bli påverkade.



Snabb sprickbildning i kapselkoppar, s.k. spänningskorrosion.  
Foto: T. Saario



## Undertecknade yrkar att Mark- och Miljödomstolen ska avstyrka SKB's ansökan om ett slutförvar i Forsmark

En samlad bedömning av korrosionsproblemen i Forsmark indikerar att kapslarna försvagas och börjar kollapsa redan efter 100 år och att en majoritet har kollapsat efter ca 1000 år.

Teku. Dr. Peter Szakalos

Prof. Anders Rosengren

Prof. em. Seshadri Seetharaman

Prof. em. Christofer Leygraf

Kopia på denna presentation kan fås maïlledes: [szakalos@kth.se](mailto:szakalos@kth.se)

15