



92 – Svar på domstolens fråga 5c från 2 oktober

## Domstolens fråga

I en presentation den 14 september har Peter Szakalos m.fl. tagit upp samverkans effekter avseende ett antal aspekter på kopparkorrosion, se bl.a. bild 1 och 24 i aktbilaga 690. Kan SKB närmare bemöta vad Peter Szakalos m.fl. anfört om att det finns osäkerheter kring samverkans effekter och att dessa effekter i de flesta fall är outforskade?

**Kvarvarande osäkerheter som inte går att ignorera för att få ett säkert slutförvar:**

- Innehållanden av kopparkorrosion i rent syrgasfritt vatten
- Korrosionseffekten av vattenmolekyler + salter (1+1 > 3 effekt)
- Korrosionsökning p.g.a. "Saxtonseffekten"
- Korrosion i gasfas under omöjliga förhållanden
- Korrosion av löpparkapseln orsakad av strålning/radiolys samt värme från kärnbränslet
- Korrosion orsakad av jordströmmar
- Risken för lokal korrosion
- Risken för spänningskorrosion
- Risken för väteförspridning
- Risken för löpparrioter
- Samt alla kombinationseffekter av ovanstående som i de flesta fall är helt outforskade

F. Szakalos, C. Leygraf m.fl. | 14 september 14 sept 2011 | 1

**Men, dessa processer kan verka samtidigt på ett sätt som ingen idag har tillräcklig kunskap om. Exempel på okända samverkans effekter:**

**Anfördra processer i SKB-repliken:**

- Hypotesen om korrosion av löppar i rent syrgasfritt vatten (Halquists hypotes)
- Tillfälliga av SKB för elektrolit och betydelsen av spänning
- Korrosionshastigheter
- Korrosion av löpparkapseln orsakad av strålning från kärnbränslet
- Korrosion i gasfas under omöjliga förhållanden
- Korrosion orsakad av jordströmmar
- Risken för lokal korrosion
- Risken för spänningskorrosion
- Utvärda syngummet på Peter Szakalos presentation
- Slutare om framgångs syngummet betydelse för säkerhetsanalys av kärnbränsleförvaret

**Exempel på samverkans effekter utan tillräckliga svar:**

- Strålning av löppar i rent syrgasfritt vatten
- Strålningens inverkan på risken för spänningskorrosion

F. Szakalos, C. Leygraf m.fl. | 14 september 14 sept 2011 | 24

## SKB:s svar i korthet

- Samverkans effekter mellan korrosionsprocesser är **inte** utforskade
- Den specifika samverkan mellan strålning, sönderdelning av vatten och sprickning utgör inte ett hot mot kapselns integritet
- Sprickning genom eventuell spänningskorrosion bedöms inte kunna orsaka genomgående skada i kapseln

## SKB har gjort systematiska genomgångar av enskilda processer och samverkan mellan processer

- I SKB:s analys av säkerhet efter förslutning görs systematiska genomgångar av dels enskilda processer, men även deras eventuella kombinationer
- I den så kallade processrapporten för kapseln, SKB TR-10-46, som utgör en av huvudreferenserna till SR-Site finns tabellerat hur bl a strålning, temperatur, materialsammansättning och mekaniska spänningar påverkar och påverkas av respektive process (processer som beaktats är t ex allmän kopparkorrosion orsakad av sulfider, spänningskorrosion, korrosion från läckströmmar, utfällning av salt på kapselytan)
  - Kombinationseffekter analyseras därför redan i underlaget för SR-Site (samt i Huvudscenariot)
  - I scenarioanalysen i SR-Site (kapitel 12 i TR-11-01) analyseras ytterligare kombinationer av effekter, t ex analyseras kapsel- och bufferteffekter i samverkan

## SKB:s analys av kombinationseffekter är rationell och beaktar relevanta kombinationer

- I den systematiska genomgången ingår att avgöra vilka processer som överhuvudtaget kan inträffa samtidigt, och i vilken utsträckning de kan samverka
- Kärnbränsleförvaret genomgår olika faser eftersom processer verkar på olika tidsskalor, t ex:
  - syrgas försvinner relativt snabbt (månader-år)
  - strålningen avtar efter 100-tals år
  - temperaturen sjunker till det omgivande bergets efter 1 000-tals år
  - buffererosion kan i deponeringshålen med de högsta flödena leda till förlorad funktion efter tiotusentals år
- Att ha som ambition att analysera i detalj "alla kombinationseffekter av ovanstående" vilket efterfrågas i aktbilaga 690, bild 1, är ett irrationellt (och ineffektivt) sätt att analysera korrosionens inverkan på långsiktig säkerhet
- Vissa kombinationer kan avfärdas, t ex kombinationen bestrålning (sker tidigt) och eroderad buffert (sker sent)

## Kombination av strålning med andra processer

- I aktbilaga 690, bild 24, tas framförallt kombinationer av strålning och andra processer upp:

### "Exempel på samverkans effekter utan tillräckliga svar:

- Strålning av koppar i rent syrgasfritt vatten.
- Strålningens inverkan på risken för spänningskorrosion."

**Men, dessa processer kan verka samtidigt på ett sätt som ingen idag har tillräcklig kunskap om. Exempel på okända samverkans effekter:**

**Angivna processer i SKB-repliken:**

- Hypotesen om korrosion av koppar i rent syrgasfritt vatten (Hållqvists hypotes)
- Tilläggningar av SKB:s förtäring och betydelsen av uppmätta korrosionshastigheter
- Korrosion av kopparbussens orsakad av strålning från kärnbärlarna
- Korrosion i gasfas under omlämnade förhållanden
- Korrosion orsakad av jordströmningar
- Risken för lokal korrosion
- Risken för spänningskorrosion
- Utvärdering av syngasutsläpp på Peter Szabos presentation
- Sketsserier om framtidiga syngasutsläpp betydelse för säkerhetsanalysen av kärnbränsleförvaret

**Exempel på samverkans effekter utan tillräckliga svar:**

- Strålning av koppar i rent syrgasfritt vatten.
- Strålningens inverkan på risken för spänningskorrosion.

P. Szabos, G. Unggefors, M. Jönsson, 11 sept. 2017

24

## Kort om strålningen från det använda kärnbränslet

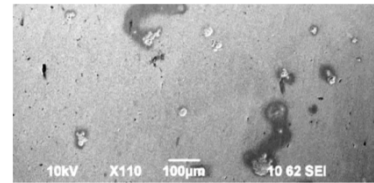
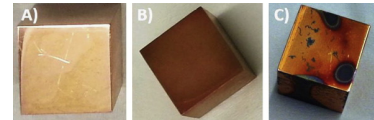
- Under 30 års mellanlagring i Clab avtar strålningen med ca 90 procent
- Strålningen fortsätter att minska efter deponering i Kärnbränsleförvaret och nästan hela den totala dosen (100 kGy) avges under de första hundratals åren
- Strålningens inverkan på kopparmaterialet i sig, och särskilt de förändringar som kan uppstå i materialets mikro/defektstruktur har studerats tidigare (Guinan 2001, TR-01-32) och bedömts vara försumbar avseende t ex sträckgräns, kryphastighet, sprödhet, segregering av orenheter och transport av ämnen lösta i materialet
  - Även ackumulering av defekter under den långa förvarstiden har beaktats
  - En grundläggande orsak till detta är att flödena av neutroner och gammafotoner är låga redan vid deponering och fortsätter att avta relativt snabbt i kapseln
  - En annan viktig orsak till att dosen till kopparhöljet är så liten är att gjutjärnsinsatsen avskärmar strålningen
- Den strålning kopparhöljet utsätts för är inte särskilt "kraftig", vilket påstås av bl a Christoffer Leygraf:
  - Den initiala intensiteten (dosraten) är låg (<0.5 Gy/h) och den totala dosen (100 kGy) liten i materialsammanhang

## Kombinationen av strålning och syrgasfritt vatten (aktbilaga 690, bild 2)

- Hultquists hypotes har mycket svagt vetenskapligt stöd och motsägs explicit av flera försök. Därför kan bara hypotetiska spekulationer göras om exakt hur den påstådda processen skulle samverka med strålning.
- De omfattande experiment som gjorts vid bl a KTH med bestrålning av koppar i syrgasfritt vatten (Björkbacka 2015) skulle ha fångat en eventuell kombinationseffekt.
- I säkerhetsanalysen används empiriska resultat från experiment, bland annat från experimenten utförda vid KTH (Björkbacka 2015). Dessa visar att den samlade effekten av strålning i slutförvaret ger ett mycket litet korrosionsdjup (vilket beskrivits i tidigare replik).

## Hur mycket väte kan hypotetiskt tas upp av kopparkapseln under bestrålning?

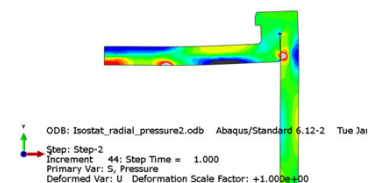
- Omfattande experiment som utförts vid KTH där koppar utsatts för full förvarsdos visar på <math><100\text{ nm}</math> oxidfilm (Björkbacka 2015)
- Även om allt det väte som produceras vid sönderdelning av vatten och bildning av oxidfilmen antas gå in i kopparmaterialet (ett synnerligen orealistiskt antagande) motsvarar det endast en tillförsel av ca 0,02 vikts-ppm efter full förvarsdos
  - I relativa termer är hypotetiska 0,02 vikts-ppm ett försumbart tillskott av väte (ca 3 %) till det som redan finns i materialet från tillverkningen (<math>< 0,6</math> vikts-ppm)
  - Det hypotetiska tillskottet av 0,02 vikts-ppm ligger dessutom inom den variation av vätehalten som finns i kapselmaterialet (typiskt 0,3-0,6 vikts-ppm)



Björkbacka 2015

## Spänningskorrosion till följd av väteupptag under bestrålning

- Spänningskorrosion förutsätter en viss kemisk miljö och att materialet utsätts för dragspänningar
- Försök att provocera fram sprickning under extrem väteladdning har bara lyckats då man haft minst ca 150 MPa dragspänning eller mer genomgående i mm-tunna provstavar
  - Även då sprickning observerats i tunna provstavar i laborieförsök har dessa sprickor varit ytliga (<math>\sim 100\ \mu\text{m}</math>) relativt kapselns godstjocklek (5 cm)
- Kapseln i förvaret kommer aldrig att uppleva så höga dragspänningar genomgående i materialet
  - endast vissa ytliga delar av kopparhöljet kan komma att utsättas för höga dragspänningar
  - då under begränsade perioder



## SKB:s slutsatser

- SKB analyserar kombinationer av processer, men tar i beaktande vilka processer som överhuvudtaget kan inträffa samtidigt
- Påståendet att kombinationseffekter ”i de flesta fall är helt outforskade” är inte korrekt
- Strålningens effekter har befunnits vara kortvariga (inverkan på korrosion) eller försumbara (inverkan på materialet)
- Risker för genomgående sprickor i kapseln bedöms vara försumbara då ingen kapsel i förvaret kommer att utsättas för genomgående dragspänningar