

**Från:** Mats Jonsson <matsj@kth.se>  
**Skickat:** den 27 december 2022 17:43  
**Till:** Registrator  
**Kopia:** registrator@kth.se  
**Ämne:** Remissvar SSM 2022-4839  
**Bifogade filer:** Ärendenummer SSM 2022-4839.pdf

**Kategorier:** Maria

Hej,  
Översänder härmed KTHs remissvar avseende SKB:s Fud-program 2022 (se bifogad fil).


Med vänlig hälsning  
Mats Jonsson  
KTH

En rättvis bedömning av SKB:s hela Fud-program skulle kräva expertkompetens inom ett flertal discipliner. Av denna anledning har undertecknad (som blivit lottad att skriva KTHs remissvar) endast lämnat synpunkter inom några områden. Ett separat inlägg från Professor Christofer Leygraf och Professor Jinshan Pan återfinns på den sista sidan i detta dokument.

Det generella omdömet är att SKB:s Fud-program är tydligt formulerat och i fas med både SKB:s verksamhet och den globala kunskapsnivån inom de berörda områdena. Det tydliga fokus på processförståelse som genomsyrar planerad och pågående forskning i programmet är glädjande att se. Nedan sammanfattas undertecknads synpunkter:

1. Sida 93, Internationella samarbeten inom EU, IAEA och OECD/NEA: Internationella samarbeten är mycket viktiga, i synnerhet inom detta område. Detta avsnitt handlar främst om SKB:s deltagande i internationella samarbeten. Då det även är viktigt att aktörer som utför forskning för SKB:s räkning (t.ex. universitet och konsulter) ingår i internationella samarbeten inom EU, IAEA och OECD/NEA skulle det vara värdefullt om SKB kunde beskriva hur dessa aktörer kan involveras.
2. Sida 119-123, Kapsel för använt kärnbränsle: De olika tänkbara korrosionsprocesserna som kan påverka kopparkapselns integritet beskrivs i denna del och det aktuella kunskapsläget summeras. Det saknas dock en diskussion om hur strålningsinducerad korrosion och sulfidkorrosion påverkar varandra (om de gör det). Det är troligt att radiolys av vatten innehållande sulfid kommer att påverka sulfidhalterna och att dessa reaktioner dessutom reducerar koncentrationen av radiolytiska oxidanter. Det är med andra ord tänkbart att dessa två processer motverkar varandra. En annan viktig fråga kopplad till strålningsinducerad korrosion av koppar är i vilken utsträckning neutronstrålning bidrar. Dosraterna från neutronstrålning är inte försumbara men detta nämns inte. Om man har gjort bedömningen att neutronstrålning inte bidrar bör detta motiveras. Om man inte har gjort denna bedömning bör frågan utredas.
3. Sida 148, Bentonitmaterialets utveckling efter installation fram till mättnad: Man diskuterar hur gasfasens sammansättning kan påverka kapselkorrosion under perioden fram till mättnad. I USA och Frankrike har man studerat hur strålning kan inducera bildning av H<sub>2</sub> i leror. Detta nämns dock inte i SKB:s Fud-program. Om man har gjort bedömningen att detta inte skulle vara relevant bör en motivering inkluderas. Annars bör frågan utredas (kanske först genom en litteraturstudie). Kopplingen mellan gasfasens sammansättning och strålningsinducerad korrosion av koppar är också viktig. För denna process kommer även luftfuktigheten att spela en avgörande roll. Detta nämns dock inte här.

4. Bentonit, forts.: En annan fråga som inte berörs är i vilken utsträckning strålningsinducerade processer kan påverka bentonitens barriäregenskaper. Det finns en del studier av detta och kanske är det möjligt att utifrån dessa dra slutsatsen att effekterna är försumbara. Det skulle dock vara bra om detta framgick av Fud-programmet (med tydlig motivering). Även i detta fall kan neutronstrålning bidra till effekterna. Har detta studerats/utvärderats?



Mats Jonsson, Professor i Kärnkemi  
Kungliga Tekniska Högskolan  
100 44 Stockholm

e-post: [matsj@kth.se](mailto:matsj@kth.se)

## SKB:s Fud-program 2022: Förslag till kompletterande undersökningar

Christofer Leygraf och Jinshan Pan, Avd Yt- och Korrosionslära, Inst. Kemi, KTH

I avsnitt 8.2.2 om väteförsprödning i koppar, segjärn och stål berörs kortfattat de av KTH påbörjade studierna (ref 1) baserade på ny analysteknik, högupplösande röntgendiffraction. Resultaten visar att förutsättningar för de snabba nedbrytningsprocesserna väteförsprödning och spänningskorrosion kan föreligga i slutförvarsmiljön med kopparkapslar. SKB tycks avfärda dessa resultat när man i avsnittet 8.2.2 skriver att mätningarna bygger på "... *betydligt högre flöden av sulfid än de som kan uppkomma under förvarsförhållanden. Denna tolkning har inte grundats på detektion av väte, utan bygger på mätningar av små förändringar i kopparmaterialets kristallstruktur efter sulfidexponering*".

För att belysa problematiken ytterligare har KTH nu slutfört ännu ett arbete med en i sammanhanget oprövad analysteknik, ToF-SIMS, Time-of-flight secondary ion mass spectroscopy (SIMS, ref 2). Resultaten visar mycket tydligt att grundämnena S, O, Cl, och H under upp till nio månaders exponering i syntetiskt grundvatten tränger in i kopparn längs lokala transportvägar, sannolikt korngränser, i hastigheter som vida överstiger motsvarande inträngning i bulkmaterialet. Anmärkningsvärt är att detta även observeras utan tillsats av sulfid överhuvudtaget, sannolikt pga av naturligt förekommande sulfat i grundvattnet som reduceras till sulfid i det syrefria grundvattnet. En förhöjd temperatur till 60 °C utökade penetrationen av dessa grundämnen i kopparns mikrostruktur.

För den fortsatta riskbedömningen av koppar som kapslingsmaterial bör liknande undersökningar av inträngningen av S, O, Cl samt av H genomföras under fler exponeringsbetingelser med teknik baserad på SIMS. De materialegger detta orsakar, exvis i form av lokal övergång från elastiskt till plastiskt tillstånd i olika delar av kopparn, måste också belysas mer ingående med avancerad synkrotronbaserad röntgenteknik.

### Referenser:

1. Zhang F, Örnek C, Liu M, Müller T, Lienert U, Ratia-Hanby V, Carpén L, Isotahdon E, Pan J, 2021. *Corrosion-induced microstructure degradation of copper in sulfide-containing simulated anoxic groundwater studied by synchrotron high-energy X-ray diffraction and ab-initio density functional theory calculation*. Corrosion Science 184, 109390. doi:10.1016/j.corsci.2021.109390
2. Yue X, Malmberg, P, Isotahdon, E, Ratia, V, Huttunen-Saarivirta, E, Leygraf C, Pan J, 2022. *Penetration of Corrosive Species into Copper Exposed to Simulated O<sub>2</sub>-Free Groundwater Revealed by Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectroscopy (ToF-Sims)*. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4224455> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.422445>