



Katariina Kiviniemi Birgersson  
Kanslichef

Strålsäkerhetsmyndigheten

## Yttrande angående SKB:s FUD-program 2019: Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall”

På uppdrag av rektor har Områdesnämnden för naturvetenskap erbjudits möjlighet att inkomma med synpunkter på ovanstående remiss. Yttrandet har utarbetats av fil. dr Joakim Halldin, Fysikum (Del-II, kapitel 9); docent Linda Kumblad, Stockholms universitets Östersjöcentrum (Del-II, kapitel 13), professor Barbara Wohlfarth, Institutionen för geologiska vetenskaper (Del-II, kapitel 12 och 14), professor Jerker Jarsjö, Institutionen för naturgeografi (Del-II, kapitel 12), och professor Andrzej Wojcik, Centrum för strålskyddsforskning (Del-III).

Stockholms universitets yttrande till SKB:s FUD-program 2019 fokuserar på Del II- Avfall och förvaring, samt på Del III- Utveckling av kärntekniska anläggningar.

SKB rapporterar om ett vetenskapligt välunderbyggt och professionellt genomfört forskningsprogram rörande hantering och slutförvaring av kärnbränsle i Sverige. Inkluderat är även planer för fortsatta studier. Efter granskning av rapporten anser Stockholms universitet att vissa punkter behöver kompletteras med ytterligare forskning eller motivering. Stockholms universitet noterar också att FUD-programmet bör ta tydligare hänsyn till och referera till publikationer i internationella, *peer-review* tidskrifter utöver de referenser som görs till SKB-rapporterna.

### Yttrandet angående Kapitel 9 (Kapsel för använt kärnbränsle)

#### Strålningsinducerad korrosion i sulfidmiljö

En aspekt som inte diskuteras i rapporten är möjligheten att inducera lokal korrosion på kopparkapseln via en kombinerad exponering av sulfid ( $H_2S$ ,  $HS^-$ ,  $S^{2-}$ ) och  $\gamma$ -strålning. Det är välkänt att tiosulfater kan bildas då sulfid kommer i kontakt med syrgas. Detta kan, även vid mycket små syrgasmängder, leda till lokal korrosion av

---

### Områdesnämnden för naturvetenskap

stål, och eventuellt även koppar. Ett sådant scenario är oönskat då det kan ge upphov till prematur korrosiv penetration av kapseln och eventuellt läckage av kärnbränsle. Givet det faktum att syrgas är en utav de huvudsakliga radiolysprodukt ur  $\gamma$ -bestrålat vatten, samt ett antal kapselhål förväntas återsatureras av sulfidinnehållande grundvatten och/eller exponeras för vattenånga och gasformig  $H_2S$  under den period då den gammastrålning som passerar kapselväggen anses vara signifikant, är det rimligt att frågan ges utrymme i säkerhetsanalysen.

### Masstransportmodellering i 3D

De modelleringar av masstransport som beskrivs i rapporten, samt i referensen King et al 2017, är utförda i en spatial dimension (1D). I en sådan modell riskerar man underskatta massflödet jämfört med en full 3D modellering. En modellering i 3D har även möjlighet att ge lokal information för olika delar av kapseln. Exempelvis skulle modellen kunna beskriva huruvida kapselns hörn riskerar att bli mer utsatta för korrosion än övriga kapseln. Dessa faktorer anses vara av vikt för en heltäckande beskrivning av kapselns beteende över tid.

### Atomär insikt i korrosionsbeteende på modellsystem

*Koppar:* Korrosion är en komplex process som typiskt äger rum på polykristallina ytor. På atomär nivå kan detta emellertid anses ske på en ensemble av någorlunda väldefinierade ytor. I ljuset av detta är det önskvärt att mer insikt erhålls om kopparkorrosion på modellsystem av enkristallina ytor. Detta är ett tillvägagångssätt som ofta tillgrips i till exempel heterogen katalys, ett med korrosion närbesläktat forskningsfält. Av denna anledning föreslås att enkristallina ytor (exempelvis med exponerade kristallplanen 100, 110, och 111, men även mer korrugerade ytor såsom 211) studeras under kontrollerade former i simulerad grundvattenmiljö – experimentellt och/eller beräkningskemiskt.

*Sulfidfilmer:* Egenskaper och makrostruktur hos de sulfidfilmerna som långsiktigt förväntas bildas på kopparmaterialet under förvarstiden har studerats under det av SKB redovisade programmet. Utöver detta föreslås utökade studier på atom-/nanonivå för att bättre reda ut följande aspekter; tillväxtmekanismer på koppar vid olika grundvattensammansättningar; tillväxtmekanismer från en oxidfilm; samt skillnader mellan sulfidfilmer som skapats genom sulfidering av oxidfilmer, tillväxt direkt på ytan eller efter transport via omgivande grundvatten. Dessa studier borde inkludera undersökningar av vilka kristallplan av  $Cu_2S$  som premieras vid olika förhållanden, samt om sammansättningen och kristallstrukturen verkligen är  $Cu_2S$  eller någon annan



Stockholms  
universitet

fas, till exempel  $\text{Cu}_{2-x}\text{S}$ . Tillgång till denna fundamentala information skulle underlätta grundförståelsen av sulfidfilmernas egenskaper – nödvändigt för att uppskatta det långsiktiga korrosionsbeteendet för kopparkapslarna.

## Yttrandet angående Kapitel 12 (Berg)

### Undersökningar av glacialt inducerade förkastningar

Under kapitel 12.2.2. beskrivs att nya undersökningar av glacialt inducerade förkastningar kommer att genomföras och att dessa bland annat kommer att bygga på numeriska modeller, strukturgeologiska undersökningar, samt kvartärgeologiska fältmetoder och grävningar. Eftersom tidigare kvartärgeologiska undersökningar i området inte kunde bekräfta förekomsten av glacialt inducerade förkastningar, samtidigt som det finns en stark indikation på att det kan finnas en hittills oupptäckt, glacialt inducerad förkastning i område, är dessa studier mycket viktiga.

Frågan är dock vilka typer av kvartärgeologiska fältmetoder som kommer att användas för detta ändamål och om de valda metoderna är tillräckligt bra för att upptäcka glacialt inducerade förkastningar.

### Grundvattenflöde, grundvattenkemi och transport av lösta ämnen

Vad gäller grundvattenflöde, grundvattenkemi och transport av lösta ämnen (kapitel 12.3) läggs stort fokus på utveckling av beräkningsverktyg (kapitel 12.3.1), vilket är en viktig del av utvecklingsarbetet. Minst lika viktigt borde dock vara vilken metodik eller strategi som ska användas för att testa modellernas prediktiva förmåga mot fältobservationer vid platsen för tänkt slutförvar (Forsmark). Utan sådan strategi förblir det oklart hur beräkningsverktygen kommer att kunna användas - och hur de passar - för att lösa viktiga, platsspecifika frågeställningar. Detta är ett omfattande arbete som borde ingå i FUD-programmet.

FUD-programmet behöver därför även innehålla en redogörelse för metodiken eller strategin som ska användas för att testa modellernas prediktiva förmåga mot fältobservationer vid platsen för tänkt slutförvar.

I beskrivning av nuläge är det på vissa ställen oklart i vilken grad "State-of-the-art" vetenskapliga publikationer har beaktats (kapitel 12.3.3. Transportegenskaper och processer som påverkar ämnestransport i berget). Detta kan ha implikationer för planerad forskning.

I kapitel 12.3.3 finns exempelvis referenser till SKB-rapporter, konferensbidrag etcetera vilket tillhör ”grå-litteraturen”. I vissa fall finns vetenskapliga publikationer inom området som inte nämnts. Det blir då oklart vad man utgår ifrån.

Denna problematik kan gälla även kapitel 12.3.2 och andra delar av rapporten. Exempelvis nämns i 12.3.3 Dessirier et al., (2017a) - en SKB-rapport - i beskrivning av nuläget trots att resultat publicerats i internationella vetenskapliga tidskrifter (Dessirier et al., 2017b; 2016; 2015).

### Referenser

Dessirier B, Frampton A, Jarsjö J, 2017a. Two-phase flows during re-saturation of sparsely fractured bedrock and bentonite around canisters for deep storage of spent nuclear fuel. Modelling Task 8 of SKB Task Forces GWFTS and EBS. SKB P-17-02, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Dessirier, B., Åkesson, M, Lanyon, G.W., Frampton, A. and Jarsjö, J., 2017b. Reconstruction of the water content at an interface between compacted bentonite blocks and fractured crystalline bedrock. *Applied Clay Science*, 142, 145–152.

Dessirier, B., Frampton, A., Fransson, Å. and Jarsjö, J., 2016. Modeling early in situ wetting of a compacted bentonite buffer installed in low permeable crystalline bedrock. *Water Resources Research*, 52, 6207–6221.

Dessirier, B., Frampton, A. and Jarsjö, J. 2015. A global sensitivity analysis of two-phase flow between fractured crystalline rock and bentonite with application to spent nuclear fuel disposal. *Journal of Contaminant Hydrology*, 182, 25-35.

### Yttrandet angående Kapitel 13 (Ytekosystem)

SKB:s forskning och utveckling inom ytekosystem som beskrivs i FUD-programmet fokuserar till stor del på biogeokemi och transportprocesser i mark och omfattar tidsperspektiv på hundratusentals till miljontals år, vilket inte riktigt faller inom ramen för Östersjöcentrums kompetensområde, varför kommentarer i yttrandet är av det övergripande slaget.

### Transport-, ackumulations- och upptagsmekanismer

Stockholms universitets generella uppfattning är att SKB har ett ambitiöst och relevant arbete för att öka kunskap och förståelse av processer och mekanismer som

har betydelse för hur radionuklider kan röra sig i ekosystemet om/när de når dit, och hur de kan omfördelas över tid.

Mycket av arbetet baserar sig av naturliga skäl på modellering och vidareutveckling av modeller och modelleringsverktyg. Modeller begränsas ofta av processförståelse, antaganden och/eller parameterisering, varför Stockholms universitet anser det viktigt att SKB fortsätter sitt arbete med att:

- Öka processförståelsen för hur radionuklider kan transporteras i landskapet, och hur detta kan förändras till följd av framtida klimatförändringar.
- Utveckla ökad mekanistisk förståelse för upptag av radionuklider i biota, samt transport i näringskedjan kopplad till metaboliska processer (för att ersätta användandet av koncentrationsfaktorer i dos-modellering). Fokus verkar i dagsläget ligga på att öka förståelsen för upptag av radionuklider i växter från mark, och sedan vidare transport i näringsväven.
  - Är det uteslutet att andra upptagsvägar också kan vara viktiga? Exempelvis upptag av radionuklider i djur från mark (exempelvis daggmask) och/eller upptag av växter och/eller djur i sediment (exempelvis rotade kärleväxter och depositionsätare)? För sediment är det också viktigt att utreda hur hypoxiska/anoxiska förhållanden i sedimenten påverkar rörligheten av radionukliderna.
- Ta fram platsspecifika  $K_d$ -värden för radionuklider för förhållanden som är relevanta för säkerhetsanalyserna. SKB påpekar själva att osäkerheterna i sorptionen ( $K_d$ ) ofta är mycket stora, vilket påverkar dosberäkningarna.
- Validera befintliga modeller mot platsspecifika mätningar i den mån det är möjligt.

### **Radiotoxikologiska effekter**

SKB:s FUD-program innehåller inte några studier för att uppskatta potentiella effekter (toxicitet/radiotoxicitet) hos biota till följd av upptag och ackumulation av radionuklider.

- Beror det på att modelleringsstudier resulterar i att halterna/doserna förväntas blir så låga att risken för effekter hos biota liten? Om SKB inte kan visa att risken för effekter hos biota är försumbar bör det utredas om forskning och kompetens kring radiotoxicitet behöver utvecklas.

## Yttrandet angående Kapitel 14 (Klimat och klimatrelaterade processer)

### 14.1.1. Klimat under Weichsel och holocen

Lokalen Sokli i norra Finland har varit central för att reda ut klimatförhållandena under en glacial- och interglaciertid. Endast få lokaler i Skandinavien kan mäta sig med lagerföljden i Sokli på grund av att senare nedisningar eroderade bort äldre sedimentlager på många platser. Att använda sig av Soklis data set för att utröna klimat- och miljöutvecklingen under Weichseltiden det vill säga innan senaste nedisningen, är en bra strategi, men frågan är hur representativt Weichseltidens klimat- och miljöutveckling vid Sokli är för förhållandena vid Forsmark, samt hur borrhålstemperaturerna från Forsmark passar ihop med temperaturrekonstruktionerna från Sokli och andra områden?

I Sverige finns det många lokaler med sediment som härrör från tiden efter senaste nedisningen. Att använda sig av Sokli för att lära sig mer om klimat- och miljöutvecklingen under till exempel holocen förefaller därför inte logisk.

### 14.1.2. Övergången mellan olika klimattillstånd i slutet av en glaciation

Proxy-studier och modellberäkningar som gjordes här relaterade enbart till sommartemperaturer. Däremot vet vi att även temperaturerna under vinterhalvåret är av betydelse, men dessa har än så länge inte undersökts.

Eftersom det är svårt att få fram vintertemperaturer med hjälp av biologiska proxies, så borde åtminstone modellkörningarna kunna användas för att få en uppfattning om vintertemperaturerna under slutfasen av den senaste nedisningen. Det samma gäller nederbörden under olika perioder och säsonger.

### 14.1 Inlandsisars dynamik och beteende

SKB planerar att göra en genomgång av publicerade paleo-rekonstruktioner av inlandsisar för Fennoskandia. Många av de existerande rekonstruktioner baseras på en ganska statisk bild av en inlandsis, det vill säga mer eller mindre raka israndlinjer med ofta osäker datering. Däremot vet vi att inlandsisen har varit mycket mer dynamisk än vad som visas i de publicerade paleo-rekonstruktionerna.



Stockholms  
universitet

Att enbart basera sig på publicerade paleo-rekonstruktioner kommer inte tillföra mycket ny kunskap. Istället borde SKB satsa på att ta fram nya geomorfologiska och stratigrafiska data för utvalda områden för vilka man kan förmoda att iskanten varit mycket dynamisk.

### Yttrandet angående Del-III – Avveckling av kärntekniska anläggningar

Beskrivningen av de planerade aktiviteterna inom avveckling är övertygande och inga uppenbarliga brister kunde upptäckas.

Det som dock saknas är en beskrivning av vilka planer som finns för att säkerställa den nödvändiga kompetensen inom landet. I kapitel 15.4 står att samarbete med universitet och högskolor är en viktig del i den långsiktiga kompetensförsörjningen. Enbart ett exempel på ett branschgemensamt samarbete med universitet är nämnt, samarbetet med Svenskt Kärntekniskt Centrum, SKC.

SKB behöver förtydliga vilka planer som finns för att säkerställa den nödvändiga kompetensen inom landet.

SKB behöver även förtydliga om det befintliga samarbetet med SKC är tillräckligt eller om det finns planer på att utöka samarbetet.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Henrik Cederquist'.

Henrik Cederquist  
Vicerektor för det naturvetenskapliga området

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Katariina Kiviniemi Birgersson'.

Katariina Kiviniemi Birgersson  
Kanslichef

