

Strålsäkerhetsmyndigheten

171 16 Stockholm

Stockholm, 2016-05-02

Remissvar

Remiss av SKB:s slutförvarsansökan: ändringar av
tidplanen för Strålsäkerhetsmyndighetens granskning

SSM2014-1683

SSM2016-268

Del 1

Undertecknarna av del 1 av yttrandet till strålsäkerhetsmyndigheten representerar en initierad grupp forskare från olika institutioner på Kungliga Tekniska Högskolan. Detta yttrande behandlar den mest kritiska frågan rörande den enskilt viktigaste av de s.k. tekniska barriärerna i slutförvarsmetoden KBS-3, nämligen frågan om kopparkorrosion och dess koppling till kopparkapselns livslängd.

Projektet KärnbränsleSäkerhet (KBS) tog i slutet på 70-talet fram ett slutförvarskoncept bestående av en kopparkapsel omgärdad av bentonitlera, se teknisk rapport KBS 90 [1]. KBS-3-metoden har vidareutvecklats av SKB, Svensk Kärnbränslehantering AB, och är nu föremål för miljöprövning.

Redan från början framfördes kritik angående osäkerheter med kopparkorrosion i grundvatten. Den dåvarande korrosionsauktoriteten på KTH, professor Gösta Wranglén varnade för att kopparkapseln som då var beräknad till 20 cm i vägg tjocklek (jämfört med dagens tjocklek på endast 5 cm) inte skulle hålla måttet. G. Wranglén listade upp flera punkter i sitt särskilda yttrande i rapporten KBS 90, varav de sista fyra punkterna ur sammanfattningen återges här nedan.

5. Enligt förutsättningar, som hydrogeologisk expertis funnit rimliga i samband med en framtida nedisning, kan en kopparkapsel i kontakt med svavelhaltigt vatten på några tusen år omvandlas till kopparsulfid, som är den termodynamiskt stabila form, i vilken koppar i regel förekommer i berggrunden.
6. Kopparcystrar för kapsling av utbränt, icke upparbetat kärnbränsle kan därför icke garanteras en mycket lång livslängd, 100.000-tals år och därutöver. Under inga omständigheter kan en så lång livslängd anses "helt säker". Förutsägelser som sträcker sig utöver nästa istid torde över huvud taget vara helt meningslösa.
7. Direktdeponering av använt kärnbränsle synes på grund härav vara en moraliskt oansvarig åtgärd gentemot kommande generationer och mot framtida jordiskt liv över huvud taget.
8. Det torde ankomma på oss, nu levande generationer, att omhändertaga och förstöra vårt eget långlivade radioaktiva avfall av typen plutonium och andra transuraner. Detta synes kunna ske via upparbetning av använt kärnbränsle under avskiljning av transuraner samt användning av dessa som nytt bränsle i brytare. Lagringsproblemet begränsas därigenom till en lagring av klyvningsprodukter under förhållandevis kort tid, 500-1000 år, något som torde vara möjligt även ur korrosionsteknisk synpunkt.

Vidare skrev G. Wranglén i sin sammanfattning om orimligheten i att estimeras och förutspå nedbrytningsprocesser under tidsrymder bortom mänsklig erfarenhet:

Emellertid finns inga möjligheter att simulera eller praktiskt utprova effekten av tidrymder långt bortom mänsklig erfarenhet. Det faller på sin egen orimlighet, att man vid val av material och konstruktion för avfallskapslar skulle kunna ta hänsyn till processer, vars natur är okänd, men vars existens man icke har rätt att utesluta. Man måste nämligen räkna med förekomsten av hittills okända åldrings- och materialförstörelseprocesser. Man kan inte utesluta att en kapsel efter något tusental år börjar förstöras av en långsamt verkande åldringsprocess XYZ, vars natur på grund av de nödvändiga långa försökstiderna kanske klarläggs först långt senare.

Det var ett insiktsfullt påpekande att man måste räkna med förekomsten av okända nedbrytningsprocesser för inte så många år senare, nämligen 1986, påvisade docent Gunnar Hultquist på KTH en sådan hittills okänd kopparkorrosionsprocess [2].

Det visade sig nu att koppar inte bara korroderar p.g.a. sulfid i grundvattnet utan att koppar även reagerar med vattenmolekylerna självt, med andra ord, koppar korroderar i rent syrgasfritt vatten. Detta var naturligtvis dåliga nyheter för SKB och om detta skulle tas för en sanning så skulle det innebära att själva grundbulten för hela KBS-3 metoden skulle falla. Under årens lopp har fler och fler forskarrapporter bekräftat G. Hultquists rön, däribland nyare vetenskapliga publikationer från KTH tillsammans med nationella såväl som internationella forskargrupper men även från Studsvik AB och strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) [3-10]. Så sent som för ett drygt år sedan har en mycket ansedd forskargrupp i USA ledd av prof. Mark Orazem återigen bekräftat att koppar faktiskt korroderar i rent vatten [11].

Inom korrosionsvetenskapen tas det numera för en accepterad sanning att koppar reagerar spontant med vattenmolekyler. Detta innebär att det blir omöjligt att uppskatta kopparkorrosionen i ett slutförvar med enkla sulfiddiffusionsmodeller. SKB vägrar dock att ta till sig dessa fakta vilket innebär att säkerhetsanalysen och därmed hela slutförvarsmetoden KBS-3 inte vilar på solid vetenskaplig grund.

Den planerade slutförvarsmiljön, 500 meter under Forsmarks havskust är mycket komplex och innebär att flera aggressiva korrosionsprocesser kommer att angripa kopparkapseln, dessa beskrivs utförligt i SSM-rapporten 2012-17 [12] samt i KTH:s tidigare yttrande till SSM rörande slutförvaret [13]. De snabbaste och därmed farligaste nedbrytningsmekanismerna innefattar:

- Korrosion i gasfasmiljö vid förhöjda temperaturer
- Korrosion pga anrikning av salter i deponeringshålen
- Korrosion förorsakad av läckströmmar (Fenno-Scan 1 och 2)
- Försprödning pga svavelupptag i kopparmetallen
- Försprödning pga väteupptag i kopparmetallen

Ingen av dessa nedbrytningsmekanismer har SKB kunnat avfärda med relevanta experimentella studier, tvärtom, vetenskapliga publikationer visar att dessa mekanismer är allvarliga hot mot kopparkapseln i den aktuella slutförvarsmiljön. En ytterligare försvårande omständighet är den kraftigt accelererande inverkan av radioaktiv strålning på kopparkorrosionen som under senare år kunnat

påvisas i ett avslutat doktorsarbete [14]. Strålningens starka effekt har bara delvis kunnat förklaras med idag kända korrosionsmekanismer och det är i skrivande stund oklart hur detta kan påverka koppars korrosionsbeteende under längre tidsrymder.

Med de korrosionstekniska brister KBS-3 metoden uppvisar i nuläget så kan man uppskatta att majoriteten av kopparkapslarna kommer att kollapsa redan inom 1000 år. Detta kan jämföras med SKB:s egna teoretiska livslängdsberäkningar i säkerhetsanalysen på över en miljon år baserat på enkla sulfiddiffusionsdata, se SKB TR-11-01, Vol. 3, sid. 600 [15].

Idag pågår intensiv forskning för att förverkliga fjärde generationens kärnkraft med breederteknik runt om i världen och som redan påpekades av G. Wranglén (punkt 8) så utgör det den mest ansvarsfulla metoden att ta hand om avfallet. D.v.s. att återanvända dagens kärnavfall som bränsle i framtidens kärnkraftverk. Därmed skulle man få ett framtida avfall som är farligt i 500-1000 år vilket inte skulle utgöra någon större teknisk/vetenskaplig utmaning att skydda oss mot. Med tanke på att kärnavfallet troligen kan återanvändas inom relativt snar framtid och i synnerhet med tanke på att SKB:s säkerhetsanalys med avseende på kopparkorrosion har fundamentala brister och därmed att hela MKB:n (miljökonsekvensbeskrivningen) är felaktig, yrkar vi på att tillåtlighet ej skall ges för en slutförvarsbyggnation baserat på KBS-3 metoden.

Referenslista till del 1

- [1] Korrosionsinstitutet och dess referensgrupp, "Koppar som kapslingsmaterial för icke upparbetat kärnbränsleavfall. Bedömning ur korrosionssynpunkt", Teknisk rapport KBS 90 (1978)
- [2] G. Hultquist "Hydrogen evolution in corrosion of copper", Corros. Sci., 26, 173-176 (1986)
- [3] P. Szakálos, G. Hultquist, G. Wikmark, "Corrosion of Copper by Water" Electrochem Solid State Lett. 10:C63 (2007)
- [4] 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 2008 International Corrosion Congress 1-9, Paper 3884 (2008)
- [5] 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. 132 311-316 (2009)
- [6] 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. 53 310-319 (2011)
- [7] R. Becker, H.-P. Hermansson, "Evolution of Hydrogen by Copper in Ultrapure Water Without Dissolved Oxygen", Swedish Radiation Authority SSM, pp. 34 (2011)
- [8] A.B. Belonoshko, A. Rosengren, "Ab Initio Study of Water Interaction with a Cu Surface", Langmuir 26, 16267-16270 (2010)
- [9] A. B. Belonoshko, A. Rosengren, "A possible mechanism of copper corrosion in anoxic water", Phil. Mag. 92, 4618-4627 (2012)
- [10] 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. 95 162-167 (2015)
- [11] C. Cleveland, S. Moghaddam, M.E. Orazem, "Nanometer-scale corrosion of copper in de-aerated deionized water", J. Electrochem. Soc. 161 (3) C107-C114 (2014)
- [12] P. Szakálos and S. Seetharaman "Corrosion of copper canister", SSM-rapport 2012-17 (2012)

<http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Technical%20Note/2012/SSM-Rapport-2012-17.pdf>

[13] KTH:s yttrande till SSM angående SKB:s ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle, SSM2011-3522. KTH V-2011-0415, Doss 22 (2012)

[14] Å. Björkbacka "Radiation induced corrosion of copper" Avhandling, KTH (2015)

[15] "Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark", SKB TR-11-01, Vol. 3 (2011)

Del 2

Undertecknarna av del 2 i KTH:s yttrande yrkar på att tillstånd för slutförvaringsbyggnation baserat på KBS-3 metoden ej ska ges.

Motivet för detta är att korrosionshastigheten för koppar under slutförvaringsförhållanden inte utom rimligt tvivel har kunnat visas vara tillräckligt låg för säker förvaring i hundratusen år.

Ett argument för denna åsikt, vilket inte övertygande har kunnat motbevisas, finns i forskningsrapporter som visar att koppar korroderar i rent syrgasfritt vatten.¹ Hultquists observation möttes initialt av hård kritik,² men i senare tiders vetenskapliga publikationer finner man både teoretiskt och experimentellt stöd för hypotesen att koppar verkligen korroderar i kontakt med rent vatten.³

Återigen debatteras dessa data i litteraturen.⁴ Med beaktande av den vetenskapliga diskussion som pågår om kopparkorrosion i kontakt med rent vatten, anser undertecknarna att det finns avgörande skäl för att ej ge tillstånd för slutförvaringsbyggnation baserat på KBS-3 metoden.

En annan kritisk fråga som inte har belysts tillräckligt är hur den radioaktiva strålningen från det högaktiva material som ska slutförvaras påverkar kopparkorrosionen.⁵ Nyligen framtagna data tyder på att strålningen har en stark påverkan på kopparkorrosionen, och även detta kräver ytterligare studier för att avgöra huruvida slutförvaringsbyggnation enligt KBS-3 metoden kan anses vara säker under stipulerade tidskrav (100.000 år) utom allt rimligt tvivel.

¹ Hultquist G. "**Hydrogen evolution in corrosion of copper in pure water**", Corrosion Science 26, 173-177 (1986).

² Simpson, J.P. and Schenk, R. "**Hydrogen evolution from corrosion of pure copper**", Corrosion Science 27, 1365-1370 (1987); and Eriksen, T.E., Ndalamba, P., and Grenthe, I., "**On the corrosion of copper in pure water**", Corrosion Science 29, 1241-1250 (1989)

³ Belonoshko, A.B., and Rosengren, A. "**Ab initio study of water interaction with a Cu surface**", Langmuir 26, 16267-16270 (2010); Belonoshko, A.B., and Rosengren, A. "**A possible mechanism of copper corrosion in anoxic water**", Phil. Mag. 92, 4618-4627 (2012); Hultqvist, G., Graham, M.J., Kodra, O., Moisa, S., Liu, R., Bexell, U., and Smialek, J.L., "**Corrosion of copper in distilled water without O₂ and the detection of produced hydrogen**", Corrosion Science, 95, 162-167 (2015); and Cleveland, C., Moghaddam, S., and Orazem, M.E., "**Nanometer-scale corrosion of copper in de-aerated deionized water**", J. Electrochem. Soc. 161, C107-C114 (2014)

⁴ Spahiu, K., and Puigdomenech, I., "**Comments on "Nanometer-scale corrosion of copper in de-aerated deionized water"**", J. Electrochem. Soc. 163, Y3-Y4 (2016); and "**Response to "Comments on Nanometer-scale corrosion of copper in de-aerated deionized water"**", J. Electrochem. Soc. 163, Y5-Y11 (2016)

⁵ Björkbacka, Å., "**Radiation induced corrosion of copper**", Doktorsavhandling, Kungliga Tekniska Högskolan, 2015

Sammanfattning av yttrandet: KTH yrkar på att tillåtlighet ej skall ges för en slutförvarsbyggnation baserat på KBS-3 metoden.

Del 1 har utarbetats av Tekn. Dr, Peter Szakálos, yt- och korrosionsvetenskap, Prof. Anders Rosengren, teoretisk fysik, Prof. em. Seshadri Seetharaman, materialens processvetenskap samt Prof. em. Christofer Leygraf, yt- och korrosionsvetenskap vid skolan för kemivetenskap.

Del 2 har utarbetats av Prof. Per Claesson och Prof. Jinshan Pan på yt- och korrosionsvetenskap vid skolan för kemivetenskap.

Peter Gudmundson
Rektor