



DokumentID  
1385070

Sida  
1(4)  
Datum  
2013-01-02

Handläggare  
Patrik Sellin  
Allan Hedin

Ärende

Er referens  
SSM 2011-2426-88  
Kvalitetssäkrad av  
Saida Engström  
Olle Olsson  
Godkänd av  
Anders Ström  
Kommentar  
Granskning, se SKBdoc id 1387259

Ert datum  
2012-12-10  
Kvalitetssäkrad datum  
2013-03-26  
2013-03-26  
Godkänd datum  
2013-03-30

Strålsäkerhetsmyndigheten  
Att: Ansi Gerhardsson  
171 16 Stockholm

## Svar till SSM på begäran om komplettering rörande vätgastransport i slutförvaret

Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM, har i skrivelse till Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, daterad 2012-12-10 begärt komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle angående vätgastransport i slutförvaret. Mer specifikt efterfrågar SSM en uppdatering av modellering av transport i slutförvarets närfält av vätgas som utvecklas från korrosion av segjärnsinsatsen efter kapselbrott.

### SKB:s svar:

Enligt SSM:s begäran är syftet med kompletteringen är att bedöma vilket partialtryck av vätgas som uppstår i en skadad kapsel för de två scenarier som ger riskbidrag i SR-Site (SKB 2011). Det främsta skälet till detta är att vätgaskoncentration är en viktig parameter för bedömning av bränslets långsiktiga stabilitet.

SKB har tidigare redovisat att vätgas behöver fylla denna funktion för tidsperioder upp till några tiotusentals år efter förslutning, se SKB:s svar till SSM på begäran om komplettering om inverkan av vätgas på bränsleupplösning, SKBdoc 1372969. Kompletterande information kring huruvida denna funktion bedöms vara uppfylld i ett KBS-3 förvar vid Forsmark, utformat enligt SKB:s ansökan, lämnas i det följande.

Den vätgaskoncentration i vattnet inuti en skadad kapsel som erfordras för att motverka oxidativ bränsleupplösning uppskattas till  $3 \cdot 10^{-8}$  M för alfadosraten från 1000 år gammalt bränsle med en utbränningsgrad av 38 MWd/kgU och  $5 \cdot 10^{-10}$  M för samma bränsle efter 100 000 år (Trummer och Jonsson 2010, tabell 3).

Typiska koncentrationer av vätgas i grundvattnet på försvarsdjup i Forsmark är omkring  $10^{-6}$  M (Hallbeck och Pedersen 2008). Den naturliga förekomsten av vätgas i grundvattnet är således tillräcklig för att säkerställa den vätgaskoncentration som erfordras för att motverka oxidativ bränsleupplösning.

SKB vill ändå redovisa nedanstående resonemang kring bidragen av vätgas från en korroderande gjutjärnsinsats för de två scenarier som ger riskbidrag i SR-Site.

### Svensk Kärnbränslehantering AB

Box 250, 101 24 Stockholm  
Besöksadress Blekholmstorget 30  
Telefon 08-459 84 00 Fax 08-579 386 10  
www.skb.se  
556175-2014 Säte Stockholm

### ***Brott orsakat av berg rörelse efter jordskalv***

I scenariot med kapselbrott till följd av berg rörelse kan den beskrivning av vätgastransport som presenteras i SR-Can tillämpas (SKB 2006, s 404). Randvillkoren är dock förändrade. I SR-Site antas att en kapsel med ett skjuvbrott inte bidrar med något transportmotstånd för radionuklidtransport. Därför finns ingen geometri på kapselskadan definierad. Med antagandet om att hela kapselytan är tillgänglig för gas kan den radiella transportkapaciteten beräknas enligt Wikramaratna et al. (1993):

$$Q_g = \frac{2\pi HD^*(c_1 - c_2)}{\ln(b/a)}$$

där  $Q_g$  är gastransporthastigheten [ $\text{m}^3(\text{STP})/\text{år}$ ],  $H$  är kapselns höjd [m],  $D^*$  är diffusiviteten för löst väte i bufferten [ $\text{m}^2/\text{år}$ ],  $c_1$  och  $c_2$  är koncentrationen av löst väte vid kapselytan respektive berget [ $\text{m}^3(\text{STP})/\text{m}^3$ ] och  $b$  och  $a$  är radierna för deponeringshålet respektive kapseln [m].

$c_1$  kan beräknas med Henry's lag ( $x = Hp$ ), där  $x$  är koncentrationen av löst väte,  $H$  är konstanten i Henry's lag [ $\text{m}^3(\text{STP})/(\text{m}^3 \text{Pa})$ ] och  $p$  är trycket [Pa]. Vid  $20^\circ\text{C}$  är  $H = 1,66 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3(\text{STP})/(\text{m}^3 \text{Pa})$ .

Med

$p = 15 \text{ MPa}$  (10MPa svälltryck + 5 MPa hydrostatiskt tryck)

$D^* = 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$

$c_2 = 0$

$H = 4,833 \text{ m}$

$a = 0,525$

$b = 0,875$

blir den maximala gastransporten  $\sim 470$  liter/kapsel år (STP).

Gasproduktionen för en järnkorrosionshastighet på  $0,1 \mu\text{m}/\text{år}$  är  $0,42 \text{ liter}/\text{m}^2$  järnyta och år. I det här fallet är det inte omöjligt att den bildade vätgasen kan transporteras bort med enbart diffusion i vattenfas. Den maximala gastransporten är beräknad för en jämviktskoncentration av vätgas för ett tryck av 15 MPa. I exemplet ovan är dock transportkapaciteten högre än gasproduktionen och detta tryck kommer aldrig att nås.

Med antagandet om att  $1 \text{ m}^3$  järnyta är tillgänglig för korrosion fås ett gastryck vid jämvikt av  $\sim 13 \text{ kPa}$  och detta ger en koncentration på  $\sim 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3(\text{STP})/\text{m}^3$  ( $\sim 10^{-4} \text{ M}$ ). Här har pessimistiskt antagits att det spruckna kopparhöljet inte ger ett nämnvärt transportmotstånd och att grundvattnet i berget kan transportera bort (eller konsumera) all den lösta gasen ( $c_2 = 0$ ). Den verkliga koncentrationen inuti en skadad kapsel kan därför förväntas vara avsevärt högre. Det är uppenbart att vätgaskoncentrationen inuti kapseln kommer att vara hög i förhållande till den som erfordras för att motverka oxidativ bränsleupplösning.

För fallet att kapselbrottet orsakat av berg rörelse följs av erosion i sådan omfattning att advektiva förhållanden uppstår i deponeringshålet hänvisas till redovisningen nedan.

**Brott orsakat av förstärkt kopparkorrosion efter buffererosion**

För detta scenario finns ingen diffusionsbarriär utan vattenomsättningen i deponeringshålet styrs av advektion. Koncentrationen av vätgas kan då uppskattas enligt följande:

Om ett deponeringshål genomflödas av vattenmängden  $Q$  [L/yr], blir koncentrationen  $C$  [mol/L] i det bortflödande vattnet vid jämvikt lika med

$$C = \frac{P}{Q}$$

där  $P$  [mol/år] är produktionen av vätgas i deponeringshålet. Produktionen  $P$  kan uppskattas med

$$P = \frac{4}{3} \frac{v \cdot \rho_{Fe} \cdot A}{M_{Fe}}$$

där  $\rho_{Fe}$  och  $M_{Fe}$  är densitet [g/m<sup>3</sup>] respektive molvikt [g/mol] för järn,  $v$  [m/yr] är järnkorrosionshastigheten och  $A$  [m<sup>2</sup>] är arean av den korroderande järninsatsen. Faktorn 4/3 beskriver det stökiometriska sambandet mellan bildad mängd vätgas och konsumerad mängd järn vid järnkorrosionsreaktionen.

Med

$Q = 100$  L/yr (skattat ur SKB 2011, tabell 13-4, avsnitt 13.5.4)

$v = 10^{-7}$  m/år (Smart et al. 2002)

$\rho_{Fe} = 7,0 \cdot 10^6$  g/m<sup>3</sup>

$M_{Fe} = 55,8$  g/mol

$A = 1$  m<sup>2</sup> (pessimistiskt lågt värde på gjutjärnsinsatsens totala yta)

erhålls  $C \approx 1,7 \cdot 10^{-4}$  mol/L.

Koncentrationen i denna uppskattning är alltså fyra storleksordningar högre än den som erfordras för att motverka oxidativ bränsleupplösning. Beräkningen förutsätter att inga andra sänkor för vätgas finns i deponeringshålet. En sådan sänka skulle kunna vara vätgaskonsumerande mikrober, men det är orimligt att anta att de skulle nedbringa koncentrationen till så låga nivåer att oxidativ bränsleupplösning inte motverkas, eftersom detta skulle kräva att mer än 99,9 procent av vätgasen konsumerades. Vidare avtar vätgaskonsumerande mikrobers aktivitet kraftigt om halten av löst vätgas i grundvattnet understiger ett värde av omkring  $10^{-6}$  M, se diskussionen om  $K_m$ -värden i Pedersen (2012).

Det är också viktigt att notera att analyserna i SR-Site visar att denna typ av kapselbrott uppkommer efter typiskt mer än 100 000 år, dvs efter så lång tid att närvaron av vätgas inte längre är nödvändig för att begränsa bränsleupplösningen.

**Slutsats**

Redan de naturligt förekommande koncentrationerna av vätgas i grundvattnet på förvarsdjup i Forsmark är tillräckliga för att motverka oxidativ bränsleupplösning till följd av alfa-radiolys. Även bidragen från en korroderande gjutjärnsinsats för de två scenarier som ger riskbidrag i SR-Site ger tillräckliga vätgaskoncentrationer. Slutligen noteras att de

fall där kapselbrott skulle kunna ske enligt SR-Site i regel ligger så lång in i framtiden att närvaron av vätgas inte längre är nödvändig för att begränsa bränsleupplösningen.

Med vänlig hälsning

**Svensk Kärnbränslehantering AB**  
Avdelning Kärnbränsleprogrammet

Helene Åhsberg  
Projektledare Tillståndsprövning

### **Referenser**

#### ***Dokument och referenser i ansökan***

**Hallbeck L, Pedersen K, 2008.** Explorative analysis of microbes, colloids and gases. SDM-Site Forsmark. SKB R-08-85, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2006.** Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar – a first evaluation. Main report of the SR-Can project. SKB TR-06-09, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2011.** Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark Main report of the SR-Site project SKB TR-11-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Smart N R, Blackwood D J, Werme L, 2002.** Anaerobic corrosion of carbon steel and cast iron in artificial groundwaters: Part 2 – Gas generation. Corrosion 58, 627–637.

**Wikramaratna R S, Goodfield M, Rodwell W R, Nash P J, Agg P J, 1993.** A preliminary assessment of gas migration from the Copper/Steel Canister. SKB TR 93-31, Svensk Kärnbränslehantering AB.

#### ***Övriga referenser***

**Pedersen K, 2012.** Influence of H<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> on sulphate-reducing activity of a subterranean community and the coupled response in redox potential. FEMS Microbiology Ecology 82, 653–665.

**Trummer M, Jonsson M, 2010.** Resolving the H<sub>2</sub>-effect on radiation induced of UO<sub>2</sub>-based spent nuclear fuel. Journal of Nuclear Materials 396, 163–169.