



Svensk Kärnbränslehantering AB  
Box 250  
101 24 Stockholm

Handläggare: Georg Lindgren

Vår referens: SSM2011-2426-109

Intern referens: 4.5.a

Er referens: KTL - Kärnbränsleförvaret

## Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall – osäkerheter i hydrogeologiska beräkningar

Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) har vid granskningen av Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB) ansökan om tillstånd enligt lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet för ett slutförvar för använt kärnbränsle och kärnavfall, funnit behov av nedanstående kompletteringar.

SSM önskar att kompletteringarna eller en tidplan för dess framtagande är myndigheten tillhanda senast den 15 maj 2013.

Om SKB önskar ytterligare förklaringar eller förtydliganden av de frågor som omfattas av denna begäran, och som inte avser enklare klargöranden av praktisk eller administrativ karaktär, ska detta ske vid protokollförda möten mellan berörda personer på SSM och SKB.

### Kompletteringar

SSM önskar följande kompletteringar:

1. En diskussion av osäkerheter i hydrogeologiska beräkningar som härrör från kalibreringen, mätmetoderna och de konceptuella modellerna. Därefter bör det redovisas hur dessa osäkerheter förs vidare in i säkerhetsanalysen i SR-Site när det gäller nyckelfaktorer som är betydelsefulla för analysens resultat (exempelvis fördelningar av flödet till deponeringshål, transportmotstånd och påverkan av grundvattenflöde på geokemisk stabilitet i närområdet).
2. SSM önskar beräknade indata för ECPM simuleringarna för en realisering av den så kallade base-case hydro DFN modellen. Mer specifikt önskas konduktivitetsvärdena, kinematiska porositeten och flödesvättan ytan per bergvolym för ECPM gridcellerna tillsammans med tillhörande rumsliga koordinater.



3. SSM önskar en uppskattning av den effektiva hydrauliska konduktiviteten på en 500 m skala för varje huvudbergdomän i den nordvästra delen av Forsmarkplatsen (dvs. bergdomänerna RFM029, RFM032 och RFM045). Därvid önskas en redogörelse för utgångspunkterna för dessa uppskattningar, exempelvis om de har härletts från storskaliga fältmätningar, genom uppskalning från detaljerade modeller eller genom annat tillvägagångssätt.
4. SSM önskar en förklaring av mätningarna och de hydrogeologiska antaganden som har gjorts i härledningen av sambandet mellan parameterna sprickapertur och flöde i sprickor (engelska "fracture flow rate") för Forsmarkplatsen. Därutöver önskas en diskussion kring konsekvenserna av andra möjliga hydrogeologiska antaganden på spannen av dessa parametervärden och uppskattningar av maximala buffererosionshastigheter.
5. SSM önskar beräknade fördelningar av inflöden (engelska volumetric flow rate [ $L^3/T$ ]) till deponeringshål för det så kallade base-case fallet utöver de av SKB redovisade fördelningarna av ekvivalent flöde och Darcyflöde. SSM önskar även en redovisning av ekvationerna som tillämpats vid beräkningarna av inflödena till deponeringshålen.

### Skälen för begäran om komplettering

SSM önskar de ovan begärda kompletteringarna för att underlätta granskningen av ansökan gentemot kraven i 11 § och bilaga 1 i Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter (SSMFS:2008:21) om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall samt 5 § SSMFS 2008:37.

#### 1. Osäkerheter i hydrogeologiska tolkningar och beräkningar

Beräkningar med hydrogeologiska modeller är grunden för flera viktiga data som används i SR-Site. Dessa innefattar

- fördelningar av inflöden till deponeringshål som påverkar eventuell buffererosion och kapselkorrosion
- förutsägelser av grundvattenflödesmönster som kan ha bäring på de geokemiska betingelserna i slutförvarets närområde.
- fördelningen av transportmotstånd (F faktorer) för transport av radionuklider genom geosfären.

Modellerna som används i beräkningarna baseras på mätningar, konceptuella modeller och kalibreringsprocedurer som alla är behäftade med osäkerheter. Källor för osäkerheter av hydrogeologiska konceptuella och dataosäkerheter diskuteras i datarapporten (SKB, 2010 sida 329 ff.), i Selroos och Follin (2010, kapitel 4.5, 5.5, och 6.5) samt i huvudrapporten (SKB, 2011 sida 357 f.). Myndigheten anser dock att det kan finnas ytterligare källor till osäker-



heter som inte systematiskt har beaktats och förts vidare till efterföljande beräkningssteg.

Osäkerhetskällor som myndigheten anser inte har beaktats fullt ut med vetenskapliga argument eller förts vidare med alternativa modeller innefattar dataosäkerheter, konceptuella osäkerheter och osäkerheter i samband med modellkalibreringen. Nedan listas i punktform sådana osäkerheter som myndigheten har identifierat. Det är möjligt att några eller kanske även många av dessa källor till osäkerhet inte har någon betydande påverkan på säkerhetsanalysen i stort. I avsaknad av en systematiskt redovisad osäkerhetsanalys är det dock inte uppenbart att man kan bortse från dessa osäkerheter.

#### Dataosäkerheter:

- Posiva flödesloggens (PFL) mätnoggrannhet i förhållande till spannet av spricktransmissiviteter som representeras av hydro-DFN modellen i slutförvarets närområde och dess känslighet för icke-ideala förhållanden. PFL-metodens mätnoggrannhet har bedömts genom jämförelser med tester med det så kallade pipe-string-systemet (PSS, t.ex. figur 8-13 i SKB, 2005) men SKB har inte presenterat eller refererat till en analys av fel som skulle kunna resultera från mycket låga flöden i kombination med tryckförluster i rören som används för att överföra flöden från borrhålets djupare del eller genom läckage kring skivorna som avgränsar mätsektionen i fall med skadat berg.
- Påverkan av PFL:s mätnoggrannhet på kalibreringen av sambandet mellan sprickstorlek och transmissivitet. PFL-mätningarna som används för kalibrering uppskattas ha en mätnoggrannhet av ungefär  $1 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  för berget i Forsmark (Follin m.fl., 2007, sida 38). Detta ligger inom samma spann som Q/s värdena som används för kalibreringen. Särskilt intressant i detta sammanhang är känsligheten av kalibreringen i den sprickdomän som representerar volymen FFM01 (Follin m.fl., 2007, sida 183, figur 11-15).
- Hydrogeologiska data har samlats in från bland annat borrhål. Hur har det i konsekvensanalysberäkningar tagits hänsyn till att de data som de hydrogeologiska beräkningarna baseras på möjligtvis inte är fullt representativa för de verkliga förhållandena i målområdet?

#### Konceptuella osäkerheter:

- DFN-modellerna utgår från sprickor som är kvadratiska eller runda till skillnad från alternativa konceptuella antaganden med exempelvis avlånga sprickor som kan leda till glesa nätverk som perkolerar vid lägre intensiteter (Black m.fl., 2007). En kanalnätverksmodell har av SKB tillämpats som alternativ modell för radionuklidtransportförutsägelser (Longcheng et al., 2010) men denna är base-



rad på ett regelmässigt konnekterat galler till vilket hydrauliska egenskaper har överförts från hydro-DFN modellen.

- Valet av konceptuell modell för flöde genom en spricka mellan kanaliserat eller icke kanaliserat flöde med konsekvenser för tolkningen av PFL-anomalier och kopplingen mellan sprickstorlek, transmissivitet och konnektivitet.
- Val av konceptuell modell för rumslig fördelning av sprickor inom hydro-DFN modellerna för de hydrauliska bergdomänerna (engelska hydraulic rock domain, HRD) med tillämpning av en enkel Poisson process i stället för alternativa modeller som har utvecklats i geo-DFN analysen och som innefattar fraktal skalning (engelska: "fractal scaling"), heterogena sprickintensiteter eller påverkan av deformationszoner.

Osäkerheter i samband med modellkalibreringen:

- En korrelation mellan transmissivitet och djup har passats för alla HCD till skillnad från en modell i vilken HCD med olika orientering skulle kunna ha olika korrelationer eller möjligtvis ingen korrelation mellan transmissivitet och djup. Djupberoendet av transmissiviteten för HCD baseras framförallt på data för flacka zoner (Follin m.fl., 2007, sida 122). För branta zoner som det i många fall endast finns en mätning per zon kan tillämpningen av den härledda trenden ifrågasättas. Alternativa möjligheter som att vissa zoners transmissivitet inte avtar betydligt med djupet skulle kunna ha konsekvenser för exempelvis grundvattenflöden på stora djup och möjligheten till uppträngning av mycket salta vatten till förvarsdjup.
- SKB har beaktat endast en av geo-DFN modellerna för hydro-DFN modellen. Alternativa geo-DFN modeller som rekommenderas av Fox m. fl. (2007) innefattar olika sprickstorleks intensitets samband och en modell med heterogen sprickintensitet vilken representeras av en gammafördelning.
- SKB tillämpar statistiska geo-DFN modeller som baseras på datafrys 1.2 som utgångspunkt för hydro-DFN kalibreringen i stället för geo-DFN modeller som baseras på datafrys 2.2 (Follin m.fl., 2007 sida 155, 2:a stycket). I Follin m.fl., 2007 sida 155 1:a stycket beskrivs att tillgänglig datamängd från datafrys 1.2 var begränsad till målområdet (engelska: "target area") men att betydligt större datamängder blev tillgängliga i datafrys 2.2. Framförallt i målområdet blev flera lutande hål borrade som gav en bättre indikation av subvertikal sprickbildning och anisotropi. Vidare beskrivs att geo-DFN modellen för datafrys 2.2 har begränsad bäring på resultaten i kalibreringsstudien för hydro DFN 2.2. Det är dock oklart om denna bedömning har utvärderats.
- Ett antal steg och antaganden vid kalibreringen av hydro-DFN modellen (Follin m.fl., 2007 sida 175-195) leder till resultatet att de



passade parametrarna för storleksfördelningen ( $r_0$  and  $k_r$ ) antingen ligger på gränsen eller utanför den parameterrymd som initialt antogs. Parametern  $r_0$  befanns ligga vid den nedre gränsen av det antagna spannet 0.038 till 0.282. De kalibrerade värdena för  $k_r$  spänner från 2.4 för subhorisontala sprickor till 3.0 för NV och EV strykande set i sprickdomäner FFM01 och FFM02. Detta kan jämföras med det initialt antagna spannet från 2.6 till 2.9. Follin m.fl., 2007 (sida 167, 1:a stycket) konstaterar att spricknätverkets konnektivitet är mycket känslig för power-law storleksfördelningen som har tillämpats i hydro-DFN modellen. Frekvensen av hydrauliskt konnekterade sprickor i simuleringar av det valda alternativet för sprickdomän FFM01 är något lägre än det som indikeras av PFL mätningar (Follin m.fl., 2007, sida 170, figur 11-8).

- Osäkerheter som härrör från den stokastiska formuleringen av hydro-DFN modellen och de stokastiska egenskaperna av de hydrauliska flödesdomänerna (engelska: "hydraulic conductor domains", HCD) har adresserats med en utvärdering av tio realisationer av hydrogeologiska modeller på regional och lokal skala (Joyce m fl., sida 63 och 65). SKB har på begäran av NEA:s internationella granskare utfört ytterligare realiseringar för deras ändamål. Det begränsade antalet grundar sig i de långa beräkningstider som modellerna kräver. Variabiliteten mellan realisationerna har diskuterats i form av statistik för prestandamått som har beräknats med hjälp av partikelspårning. Resultaten pekar på att dessa mått kan vara känsliga för variationer i den stokastiska geometrin och egenskaperna mellan realisationer (Joyce m. fl., 2010 sida 94-96).
- SKB väljer en viss storlek för domänen i hydro-DFN kalibreringen för att beräkna frekvensen av sprickor som har förbindelser till modellränderna och skär ett simulerat borrhål. Domänstorleken i simulationen sätts till 400 m i den horisontella riktningen baserat på medelavståndet mellan subvertikala deformationszoner (Follin m.fl., 2007 p. 165). Borrhålen på platsen har dock olika avstånd från närmaste deformationszon och dessa skulle kunna vara effektiva hydrauliska barriärer vid mätningar med PFL. Valet av ett visst konstant avstånd från det simulerade borrhålet till randen i simuleringarna kan förväntas påverka frekvensen av konnekterade sprickor för ett givet parameterset och därmed parameter-kalibreringen.

SSM anser att SKB bör redovisa ingående bedömningar och motiveringar av hanteringen av ovanstående punkter. Detta bör innefatta beräkningar eller bedömningar som kan ligga till grund för myndighetens bedömning av beräknad risk och kravuppfyllelse enligt SSMFS 2008:21 och SSMFS 2008:37.

## 2. Indata för ECPM beräkningar

Värdena för hydraulisk konduktivitet, kinematisk porositet och flödesvätt yta är viktiga resultat från uppskalningen av hydro-DFN modellen som används



som indata för ECPM-beräkningarna. Dessa beräknade indata kan vara användbara för jämförelser med motsvarande resultat som beräknats med alternativa verktyg. Vissa av dessa beräknade storheter redovisas i grafisk form, t.ex. figurer 4-3 and 4-4 i Joyce m. fl. (2010), dock endast för tvärsnitt genom modellen och med begränsad upplösning. Enligt de underliggande dokumenten till SR-Site har dessa storheter överförts mellan SKB:s olika modelleringsgrupper, exempelvis överfördes hydrauliska konduktiviteter till kanalnätverksmodellen (Longcheng m. fl., 2010). SSM antar därför att dessa data kan tas fram och överföras relativt enkelt till SSM för att underlätta för SSM att jämföra SKB:s resultat med alternativa tolkningar.

### 3. Effektiv permeabilitet på 500 m skala

Storskaliga uppskattningar av den effektiva hydrauliska konduktiviteten på en skala som motsvarar tillänt förvarsdjup på ungefär 500 m är användbara för enkla överslagsberäkningar för att jämföra rimligheten av resultaten med de mer komplexa modellerna (exempelvis Dverstorp m.fl., 1996), och även för uppskattning av den storskaliga återstående poroelastiska responsen till följd av glacial belastning. SSM:s granskare har inte lyckats hitta lämpliga storskaliga konduktivitetsskattningar i ansökansdokumentationen. SSM önskar därför att SKB tar fram storskaliga konduktivitetsskattningar som är direkt baserade på fältmätningar. Alternativt skulle uppskattningarna kunna härledas från en uppskalning av detaljerade modeller eller genom annat tillvägagångssätt.

### 4. Samband mellan sprickapertur och flöde i sprickor

Sambandet mellan sprickapertur och spricktransmissivitet eller volymsflöde i sprickor (engelska: ”fracture flow rate”) för en viss gradient behövs i SKB:s angreppssätt för att relatera grundvattenflux eller sprickflöden till lokala grundvattenhastigheter. Det sistnämnda påverkar beräkningarna av buffererosion, kolloidtransport och radionuklidtransport. SKB har tillämpat två olika empiriska modeller för sambandet mellan apertur och transmissivitet, vilket diskuteras i Selroos och Follin (2010, sida 77-79). Den så kallade base-case modellen som har utvecklats av Äspö Taks Force anger en proportionalitet mellan aperturen och roten av transmissiviteten ( $T^{0.5}$ ). Det alternativa fallet som har utvecklats i en annan SKB-studie drar slutsatsen att aperturen är proportionell till  $T^{0.3}$ . De data som presenteras av Selroos och Follin (2010, figur 5-18) för att stödja detta fall visar en spridning av minst en storleksordning både över och under den passade trenden. En formell analys av variansen presenteras inte men det passade sambandet förklarar endast ungefär hälften av den tolkade variabiliteten på en logaritmisk skala. SSM anser att SKB bör klargöra om SKB anser att de presenterade modellerna avgränsar det möjliga utfallet eller inte. Om en viss modell väljs baserat på konservatism bör det klarställas om detta syftar till buffererosion, kapselkorrosion eller andra mekanismer exempelvis i samband med radionuklidtransport.



### 5. Fördelningar av inflöden till deponeringshål

SKB redovisar fördelningar av Darcyflux och ekvivalent flöde till deponeringshål grafiskt (exempelvis Joyce m.fl., 2010, appendix E). Inflödena till deponeringshålen verkar däremot inte redovisade i ansökansdokumentationen. Det matematiska sambandet mellan Darcyflux, ekvivalent flöde och inflödena till deponeringshålen är inte heller tydligt redovisat. Inflödena är viktiga som indata till buffererosionsberäkningarna medan de ekvivalenta flödena är utgångspunkten för bedömningen av radionuklidtransport och kapselkorrosion i fallet med intakt buffert. SSM önskar de beräknade fördelningarna av inflöden (engelska volumetric flow rate [ $L^3/T$ ]) till deponeringshål för det så kallade base-case fallet för att enkelt kunna jämföra SKB:s resultat med alternativa beräkningar. Därutöver önskar SSM en redovisning av ekvationerna som ligger till grund för SKB:s beräkningar av inflöden till deponeringshål.

Denna begäran om komplettering har beretts i tillståndsprövningsprojektets projektledningsgrupp och föredragits av utredare Georg Lindgren.

Ansi Gerhardsson  
Projektledare

Georg Lindgren  
Utredare



## Referenser

Black, J.H., Black, J.A., Woodman, N.D. (2007). An investigation of 'sparse channel networks' – Characteristic behaviours and their causes. Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB R-07-35.

Dverstorp, B., Geier, J., Voss, C. (1996). Simple evaluation of groundwater flux and radionuclide transport at Äspö (SITE-94). Swedish Nuclear Power Inspectorate, SKI Report 96:14.

Follin, S., Levén, J., Hartley, L., Jackson, P., Joyce, S., Roberts, D., Swift, B. (2007). Hydrogeological characterisation and modelling of deformation zones and fracture domains. Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB R-07-48.

Fox, A., La Pointe, P., Hermansson, J., Öhman, J. (2007). Statistical geological discrete-fracture network model. Forsmark modelling stage 2.2. Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB R-07-46.

Joyce, S., Simpson, T., Hartley, L., Applegate, D., Hoek, J., Jackson, P., Swan, D., Marsic, N., Follin, S. (2010). Groundwater flow modelling of periods with temperate climate conditions – Forsmark. Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB R-09-20.

Longcheng L., Moreno L., Neretnieks I., Gylling B. (2010). A safety assessment approach using coupled NEAR3D and CHAN3D – Forsmark. Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB R-10-69.

Selroos, J-O., Follin, S. (2010). SR-Site groundwater flow modelling methodology, setup and results. Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB R-09-22.

SKB (2005). Preliminary site description, Forsmark area – version 1.2. Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB R-05-18.

SKB (2010). Data report for the safety assessment SR-Site. Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB TR-10-52.

SKB (2011). Redovisning av säkerhet efter förslutning av slutförvaret för använt kärnbränsle, huvudrapport från projekt SR-Site, Svensk Kärnbränslehantering AB.