



DokumentID  
1395038

Ärende

Strålsäkerhetsmyndigheten  
Att: Ansi Gerhardsson  
171 16 Stockholm

Handläggare  
Johan Andersson  
Er referens  
SSM2011-2426-102  
Kvalitetssäkrad av  
Olle Olsson  
Saida Engström  
Godkänd av  
Anders Ström  
Kommentar  
Granskning, se SKBdoc id 1387259

Sida  
1(11)  
Datum  
2013-02-19  
Ert datum  
2013-02-11  
Kvalitetssäkrad datum  
2013-06-26  
Godkänd datum  
2013-06-26

## Svar till SSM på begäran om komplettering rörande konstruktionsförutsättningar

Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM, har i skrivelse till Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, begärt kompletterande information rörande konstruktionsförutsättningar. Nedan redovisas SSM:s frågeställningar samt SKB:s svar på respektive frågeställning. SKB anser sig med denna komplettering besvarat samtliga frågor, utom fråga 8, som SSM ställt i ovan nämnda kompletteringsbegäran.

SSM begär kompletterande information angående SKB:s strategi för val av konstruktionsförutsättningar i SR-Site (TR-11-01) enligt följande:

- 1. Det initiala vatteninnehållet i bentoniten vid installation i slutförvarsanläggningen bör tydligt redovisas tillsammans med ett lämpligt intervall för dess acceptabla tolerans. Som en följd bör även variationsintervallet för den möjliga slutliga vattenmättade densiteten i bufferten i slutförvaret på grund av variationer i geometrier, initiala vatteninnehåll och bulkdensitet beräknas och redovisas.*
- 2. SKB anger följande konstruktionsförutsättningar för återfyllnaden:  
i) den hydrauliska konduktiviteten ska vara mindre än  $10^{-10}$  m/s samt  
ii) svälltrycket ska vara högre än 0,1 MPa.  
Emellertid redovisar SKB i TR-09-22, s. 29, att den hydrauliska konduktiviteten i återfyllnaden möjligen kan vara högre och upp till  $10^{-8}$  m/s. Därför behövs en mera utförlig motivering av SKB:s val av en mer konservativ konstruktionsförutsättning för återfyllnaden (d.v.s. konduktivitet mindre än  $10^{-10}$  m/s) än den som kan uppnås i slutförvarsanläggningen.*
- 3. Inga parametrar för återfyllnaden som är kontrollerbara under driften av slutförvarsanläggningen (t.ex. mineralinnehåll och bulkdensitet) har kopplats till de av SKB ställda konstruktionsförutsättningarna. SKB bör komplettera ansökan med en uppsättning kontrollerbara parametrar för återfyllnaden samt lämpliga intervall för deras acceptabla tolerans.*

4. *SKB har i SR-Site upplyst om vissa reservationer angående referensutformningen för bottenplattan i deponeringshålen. Det är inte tydligt hur mycket det nuvarande förslaget med kopparplattan undergjuten med betong och eventuell degradering av dessa påverkar säkerhetsanalysberäkningarna.*

*SKB bör också redovisa eventuella alternativa lösningar för bottenplattan med motivering på hur dessa uppfyller SKB:s ställda säkerhetsfunktioner.*

5. *SKB bör mera ingående redovisa vilka krav pluggen som försluter deponeringstunnlarna ska uppfylla i termer av vätske- samt gastäthet under driften av slutförvarsanläggningen. Förslag till kontrollmetoder samt toleranser för de parametrar som kan säkerställa att de önskade täthetskraven uppfylls bör anges i ansökan.*
6. *Vidden för bergsprickor som kan karteras i deponeringshålen. SKB bör redovisa varför sprickvidden inte används som en kompletterande parameter för att särskilja, om inte långa sprickor, så åtminstone sprickor med potentiellt stora framtida vatteninflöden.*
7. *SKB bör förtydliga om EFPC-kriteriet i TR-10-21 även tar hänsyn till sprickor som är helt eller delvis fyllda med sprickmineraler. SKB bör också förtydliga var i SR-Site (TR-11-01) påverkan av den nedsatta hållfastheten hos fyllda bergsprickor jämfört med omgivande bergarter analyseras med hänsyn till sannolikheten att framtida belastningsfall reaktiverar dessa sprickor som kan undergå skjuvrörelse eller åter bli vattenförande i närheten av deponeringshålen.*
8. *I SR-Site framför SKB följande: "De nuvarande konstruktionsförutsättningarna för isostatisk last bör revideras så att osäkerheten med avseende på mäktigheten hos framtida inlandsisar beaktas. En övre gräns för en sådan marginal skulle vara den mäktigaste inlandsis som konstaterats för pleistocena inlandsisar, inklusive den mäktigaste inlandsis som för närvarande finns i Östantarktis (cirka 4 500 m). Detta motsvarar en isostatisk last från isen av 40 MPa, vilket motsvarar en total last av 60 MPa. Denna övre gräns bedöms dock vara extrem." Förtydligande bör ges gällande implikationer av detta påstående för de redovisade klimatutvecklingarna (t.ex. isjockleken) och grundvattentrycket samt för islaster som påverkar bergspänningstillståndet i samband med framtida istider.*

## **SKB:s svar**

### **1. Det initiala vatteninnehållet i bentoniten**

Som framgår av avsnitt 5.5, s 180 i SR-Site (TR-11-01, SKB 2011), beskriver produktionsrapporten för bufferten (TR-10-15, SKB 2010a) konstruktionsförutsättningarna, referensutformningen, analyser som verifierar att referensutformningen uppfyller konstruktionsförutsättningarna, de produktionsmetoder och kontrollrutiner som valts ut för att åstadkomma referensutformningen, analyser som verifierar att dessa procedurer verkligen åstadkommer referensutformningen och en redovisning av det uppnådda initialtillståndet.

I produktionslinjerapporten för bufferten (SKB 2010a) Table 3-3 redovisas den initiala vattenhalten i bentonitmaterialet innan pressning tillsammans med den accepterade variabiliteten. Vattenhalten i bentoniten vid installation är densamma som i materialet innan pressning (SKB 2010a, Table 3-4).

Variationsintervallen för den resulterade vattenmättade slutdensiteten redovisas i:

- Figure 4-5: vattenmättad densitet som funktion av installerad pelletdensitet.
- Figure 4-6: vattenmättad densitet som funktion av installerad blockdensitet.
- Figure 4-7: vattenmättad densitet som funktion av vattenhalt.
- Figure 4-8: vattenmättad densitet som funktion av deponeringshålets geometri (diameter).

SKB instämmer principiellt i att ytterligare underlag behöver tas fram för att kvalificera processen för installation av buffert och återfyllning för att säkerställa att dessa uppfyller ställda konstruktionsförutsättningar. Det gäller till exempel uppskattningar av den initiala massan och vatteninnehållet i blocken och ringarna samt påverkan av toleranser, noggrannhet på mätmetoder och variation av geometrier på de beräknade variationsspännen för densitet och svälltryck vid vattenmättnad av bentoniten med osäkerheter. Sådant underlag och data kommer att tas fram som underlag till detaljkonstruktionen av produktionsbyggnaden för buffert- och återfyllningsblock och vid detaljkonstruktionen av systemet för installation av buffert, kapseldeponering och återfyllning. Underlaget, tillsammans med resultat från genomförd samfunksprovningsprovning avses att redovisas senast vid den förnyade säkerhetsredovisning som lämnas i samband med ansökan om provdrift av kärnbränsleförvaret.

## **2. Motiv för konstruktionsförutsättningar avseende återfyllningens täthet och svälltryck**

SKB anger följande konstruktionsförutsättningar för återfyllningen:

- i. den hydrauliska konduktiviteten ska vara mindre än  $10^{-10}$  m/s samt
- ii. svälltrycket ska vara högre än 0,1 MPa.

På sidan 29 i TR-09-22 (SKB 2009) konstateras: ”*Scoping analyses suggest that the hydraulic conductivity of the backfill may be higher, possibly up to  $10^{-8}$  m/s.*”. SKB inser att detta påstående kan missförstås. Det som var avsikten att framföra var att även om vattengenomsläppligheten är så hög som  $10^{-8}$  m/s påverkas inte förvarets säkerhet. Det är inte en analys av vilken vattengenomsläpplighet som återfyllningen förväntas få, utan vilken vattengenomsläpplighet som skulle kunna accepteras. Formuleringen i rapporten är otydlig, men syftet är att framföra att det finns en avsevärd marginal mellan avsedd funktion och den fastlagda konstruktionsförutsättningen när det gäller den hydrauliska konduktiviteten. Det betyder inte att det skulle vara svårt att i praktiken installera en återfyllning som överensstämmer med konstruktionsförutsättningens krav.

I produktionsrapporten för återfyllningen (TR-10-16, SKB 2010b) Table 6-2, som är referens till SR-Site, visas att återfyllningen har en medeldensitet på  $1,504 \text{ kg/m}^3$ . I Figur 5-18 i SR-Site (SKB 2011) visas att denna densitet skulle ge en hydraulisk konduktivitet på  $\sim 10^{-13}$  m/s för det referensmaterial som användes i SR-Site. Även det lägsta värdet i densitetsintervallet för återfyllningen ( $1,458 \text{ kg/m}^3$ ) skulle ge en hydraulisk konduktivitet som väl understiger  $10^{-12}$  m/s. Den hydrauliska konduktivitet i återfyllningen som kan

åstadkommas i förvaret är därmed avsevärt lägre än vad som ges av konstruktionsförutsättningarna.

### **3. Återfyllningens sammansättning**

De primära kraven på återfyllningen som helhet är att den ska ge tillräckligt mothåll för buffertuppträckning och att den ska uppfylla konstruktionsförutsättningarna avseende svälltryck och vattengenomsläpplighet. SKB har däremot valt att inte ställa generella krav när det gäller återfyllningens sammansättning och installerade densitet för att nå kraven på svälltryck och vattengenomsläpplighet. Detta är avsiktligt och anledningen är att det ökar flexibiliteten i framtida materialval.

Till skillnad från bufferten där det är enkelt att köpa in ett lämpligt material, kräver återfyllningen fler överväganden. De mängder som behövs gör att det ställs krav på:

1. **Fyndigheten:** det måste finnas en tillräcklig mängd av tillräckligt jämn kvalitet.
2. **Transportsystemet:** utskeppande hamn måste ha tillräcklig kapacitet, vilket i praktiken utesluter samtliga centraleuropeiska fyndigheter.
3. **Kostnaden:** den stora mängden gör att priset kan påverka totalkostnaden för förvaret.

För ett givet återfyllningsmaterial är dock situationen en annan. Där kan, utifrån materialets mineralinnehåll, krav ställas på installerad densitet och detta redovisas också i produktionslinjerapporten för återfyllning och plugg (TR-10-16, SKB 2010b). I SR-Site valdes IBECO-RWC-BF som exempelmaterial för att visa att konstruktionsförutsättningar kunde uppfyllas. I Table 3-4 i SKB (2010b) visas vilka krav som ställs på de återfyllningskomponenter som ska installeras. I Table 3-1 i SKB (2010b) visas de mineralogiska kraven. I Table 5-2 i SKB (2010b) visas designparametrarna och metoderna med vilka de kontrolleras. Table 6-2 i SKB (2010b) visar den uppskattade densiteten i förvaret.

Som redan noterats i svaret till fråga 1 instämmer SKB principiellt i att ytterligare underlag behöver tas fram för att kvalificera processen för installation av buffert och återfyllning för att säkerställa att dessa uppfyller ställda konstruktionsförutsättningar. Underlaget, tillsammans med resultat från genomförd samfunktionsprovning avses att redovisas senast vid den förnyade säkerhetsredovisning som lämnas i samband med ansökan om provdrift av kärnbränsleförvaret.

### **4. Bottenplattan**

I SR-Site (TR-11-01, SKB 2011) och i processrapporten för buffert och återfyllning (TR-10-47, SKB 2010c) konstaterades följande problem med bottenplattan:

1. Ett tidigt vattentryck under bottenplattan skulle under vissa förutsättningar kunna lyfta hela buffertpaketet.
2. En helt degraderad bottenplatta skulle göra att bottenbufferten kan expandera nedåt med densitetsförlust som följd.
3. Betongdegraderingen kan påverka bufferten mineralogiskt.
4. En helt degraderad bottenplatta som skärs av en vattenförande spricka kan medföra en ökad vattenomsättning i deponeringshålet.
5. Ökad mikrobiell aktivitet skulle kunna förekomma i den degraderade bottenplattan.

Inga direkta konsekvensanalyser genomfördes, men följande överväganden gjordes:

1. Lyftning av buffertpaketet kräver en kombination av ett lokalt relativt högt inflöde i botten av deponeringshålet och en pellettfyllning som effektivt tätar all ”piping”. Fallet är knappast sannolikt, men är en kvarvarande konceptuell osäkerhet. En lyftning under installationen som sedan trycks tillbaka när bufferten sväller skulle kunna medföra att buffertdensiteten sjunker i botten av hålet, men inte till den nivå där advektiv transport tar vid, se SR-Site avsnitt 10.3.12, sid 415.
2. En expansion nedåt skulle medföra att buffertdensiteten sjunker i botten av hålet, men inte till den nivå där advektiv transport tar vid.
3. Interaktionen mellan låg-pH cement och bentonit är begränsad (Sena et al. 2010) och skulle inte ha nämnvärd påverkan på buffertens egenskaper.
4. Betydelsen av en degraderad bottenplatta för vattenomsättningen utvärderas i SR-Site. Bidraget är mindre än det för spjälkning av deponeringshålets vägg. Eftersom spjälkning antogs som referensfall blir bidraget från bottenplattan försumbart.
5. Den mikrobiella sulfatreduktionen begränsas av tillförseln av näringsämnen.

Ingen av processerna bedömdes således ha avgörande betydelse för förvarets funktion. Sammantaget tillför de dock så mycket osäkerheter att slutsatsen i SR-Site var att den givna utformningen borde ses över. SKB utvecklar därför alternativa lösningar för utformning och installation av bufferten som resulterar i en, från ett produktionsperspektiv, optimerad utformning av bufferten som inte negativt påverkar förvarets långsiktiga funktion. Möjligheten att installera buffert och kapsel utan buffertskydd, samt att motverka spjälkning har varit fokusområden.

Ett stort antal alternativ för utformning och installation har identifierats. I en första gallring sorterades mindre realistiska alternativ bort och kvarvarande utreddes vidare. I de preliminära slutsatserna från projektet konstateras att två alternativ med goda förutsättningar för produktionsanpassning rekommenderas för vidare utveckling. Det ena alternativet är att belägga blocken med ett tunt skikt av lämpligt material för att skydda mot fuktupptag och uttorkning, Det andra är att med hjälp av en avfuktare styra fuktigheten i deponeringshålen. Dessa två metoder kommer att utredas närmare i den fortsatta utvecklingen, där metoderna utvecklas för att kunna jämföras med nuvarande referensutformning. För alternativen behövs inte ett buffertskydd i form av en gummiduk som förankras i en bottenplatta. Bottenplattan kan därmed, om den alls behövs, förenklas och behöver inte längre bestå av ett lager betong.

Arbetet kan leda till att nuvarande referensutformning revideras. Detta avses i så fall att rapporteras som en del av den preliminära säkerhetsredovisning, PSAR, som ska godkännas av SSM innan uppförandet av slutförvarsanläggningen kan påbörjas.

### **5. Pluggens täthet**

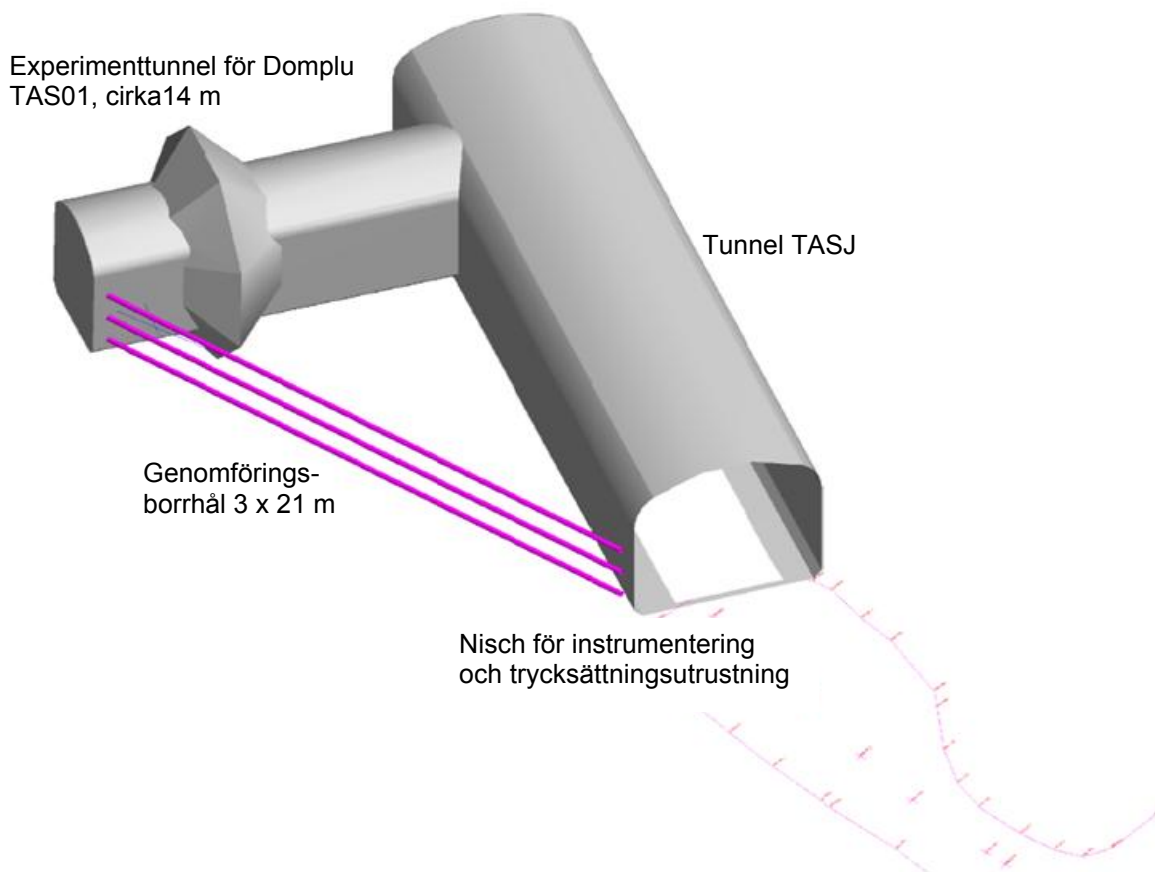
Nu gällande konstruktionsförutsättningar avseende deponeringstunnelpluggens täthet anges i tabell 2-5 i produktionslinjerapporten för återfyllning och plugg (SKB 2010b). Dessa pluggars huvudfunktion är att stänga till deponeringstunnlarna, hålla återfyllningen på plats och förhindra att vatten rinner förbi pluggen innan stamtunneln har återfyllts och vattenmättats. Ju tätare pluggen är för vattenutflöde, desto snabbare kommer deponeringstunneln att vattenfyllas. Mer specifika täthetskrav avseende vatten anges inte. I slutsatserna till SR-Site (SKB 2011, avsnitt 15.5.11) konstateras vidare att det ”pågående detaljerade konstruktions- och provningsarbetet avseende tunnelpluggen måste dock

verifiera att denna kommer att vara tillräckligt tät för att säkerställa att inflödet till deponeringshål kommer att vara lägre än de värden som skulle leda till oacceptabel kanalbildning och erosion av bufferten”.

I Äspölaboratoriet, på 450 meters djup, genomförs ett fullskaligt test av det kompletta pluggsystemet, se Figur 1. Experimentuppställningen kallas ”Domplu” (Dome Plug) och ingår i EU-samarbetsprojektet Dopas (Full scale Demonstration of Plugs and Seals). I systemkonstruktionsfasen för pluggen har det genomförts utredningar och praktiska studier inom berg- och betongteknik samt materialtester och modelleringar av betong, bentonit och filtermaterial. Vidare uppdateras kravspecifikation, riskanalys, tekniska beskrivningar och kontrollprogram för pluggen. Målet för den fortsatta utvecklingen är en färdig systemkonstruktion av pluggen innan detaljprojektering av deponeringsområdet påbörjas.

Ett huvudmål med fullskaletestet Domplu är att övervaka vattenläckaget genom pluggen över tid (minst 36 månader). För detta syfte har ett mätsystem för kontroll av läckaget utvecklats och vattnet kommer att däckas upp inom en tät atmosfär (plastduk) precis nedströms betongkupolen och ledas med självfall till en upphängd våg för on-line registrering av vattenflödet. Experimentet trycksätts artificiellt med vatten i återfyllningen och filtret bakom pluggen, stegvis upp till 7 MPa för själva täthetstestet och upp till 10 MPa för ett verifierande hållfasthetstest. Experimentet monteras med totalt cirka 100 givare. Drygt hälften av givarna mäter betongkupolens spänningsprestanda, temperaturer och rörelser medan resterande givare övervakar vattentryck, totaltryck, relativ fuktighet (RH) och rörelser i bentonittätningen, filtret och den avslutande återfyllningen.

Utredningarna från första delen av systemkonstruktionen och erfarenheter från fullskaletestet Domplu, avrapporteras i slutet av 2014. Moniteringen av fullskaletestet fortsätter åtminstone till 2016. Resultatet av dessa utredningar ska utgöra grund för eventuella revisioner av gällande konstruktionsförutsättningar och beslut om reviderad referensutförningen. Tillgängliga resultat kommer att redovisas i PSAR.



**Figur 1.** 3D-vy av experimentområdet för Domplu i Äspölaboratoriet på 450 meters djup. I tre genomföringsborrhål leds givarkablage och trycksättningsrör till instrumentnischen.

Avseende pluggens gastäthet anger SSM i skälen till den begärda kompletteringen att det är viktigt att ta hänsyn till vätske- och gastätheten för pluggen i frågan om gasfasens jämvikt mellan deponeringstunnlarna och stamtunnlarna eftersom gasfasens jämvikt påverkar förhållandena för atmosfärisk kopparkorrosion innan bufferten är vattenmättad. Det är ett förbiseende i konstruktionsförutsättningarna att det inte finns ett krav på pluggens gastäthet.

Pluggen måste givetvis förhindra transport av gas mellan en försluten deponeringstunnel och transporttunneln fram till den tidpunkt då transporttunneln vattenfylls. Detta är viktigt inte bara för att förhindra att syre tränger in i tunnlar utan också för att förhindra att vattenånga tränger ut. Detta är särskilt viktigt i tunnlar med lågt vatteninflöde och som förväntas vara ”torra” under förvarets drifttid. I praktiken är det dock så att detta krav fylls av pluggens design. Bentonittätningen kommer att vattenmättas på konstgjord väg, vilket medför att pluggen effektivt kommer att förhindra transport av vattenånga. Transport av syre blir bara möjligt med diffusion av löst syre genom bentonittätningen. Denna blir ytterst begränsad pga den låga lösligheten och diffusiviteten för syre i bentonitens porvatten, den geometriska begränsningen av ytan och den relativt sett korta drifttiden för förvaret (tiden fram till det transporttunneln vattenfylls). SKB kommer att uppdatera konstruktionsförutsättningarna med krav på gastäthet och avser att redovisa detta i PSAR.

## **6. Vidden för bergsprickor som kan karteras i deponeringshålen**

SKB initierade en omfattande studie (Cosgrove et al. 2006) med syftet att karaktärisera stora sprickor med potential för kritiska skjuvrörelser och stora vattenflöden, s k ”kritiska sprickor” eller ”kritiska strukturer” (Munier 2010, avsnitt 3.1). Syftet med studien var att erhålla empiriskt och teoretiskt underlag för detaljundersökningsprogrammet. Slutsatsen av denna studie var att det inte finns någon enstaka parameter eller egenskap som unikt kunde identifiera kritiska sprickor, men att följande egenskaper i kombination särpräglar de kritiska sprickorna (Cosgrove et al. 2006, avsnitt 5.1.1):

- Apertur (sprickvidd, med eller utan mineralisering).
- Skjuvbelopp.
- Vidd (av spricksvärmar eller deformationszoner).
- Konduktivitet.

För arbetet med SR-Site, fanns det ett behov att kvantifiera andelen sprickor som trots detaljunderökningar inte skulle hittas i tunnlarna. Som ett försiktigt grundantagande betraktades samtliga kritiska sprickor som geologiskt anonyma vilket var utgångspunkten för de robusta, men starkt konservativa, FPI-kriterierna (Munier 2010). Det vill säga, FPI-kriterierna användes i SR-Site som en ersättningsparameter för de sprickegenskaper vars karakterisering ännu ej detaljerats i något undersökningsprogram.

Arbetet med framtagandet av detaljundersökningsprogram pågår, vilket mer ingående redovisas under fråga 5 i *Svar till SSM om Kritiska faktorer för val av deponeringshål (1372092/SSM2011-2426-84)*, SKBdoc 1372560. I kombination med diverse geofysiska metoder, kommer sprickegenskaper såsom vidd, mineraliseringar, skjuvbelopp, flöde, etc att beaktas i identifieringen av kritiska sprickor vilket därmed gör en strikt tillämpning av FPI-kriterierna obsolet. Dock finner vi det sannolikt att FPI-kriterier i någon form kommer att användas för att inledningsvis identifiera potentiellt kritiska sprickor som därefter bekräftas eller avfärdas som kritiska med traditionell strukturgeologisk kartering och geofysik.

## **7. Sprickor helt eller delvis fyllda med sprickmineral vid tillämpningen av EFPC**

De simuleringar (Munier 2010) och analytiska beräkningar (Hedin 2008, 2011) som ligger till grund för skjuvfallet baseras på den sprickbeskrivning som ges av Fox et al. (2007) och som definieras som indata till SR-Site i den så kallade ”Datarapporten” (SKB 2010d, avsnitt 6.3). Denna beskrivning omfattar samtliga sprickor i spricknätverket, oavsett om de är läkta med mineral eller ej och oavsett hållfasthet på sprickmineralen. Detta innebär att även starkt läkta sprickor, med hållfasthet nära det intakta bergets, pessimistiskt antagits kunna skjuvas som öppna sprickor.

## **8. Isostatisk last**

Som redovisas i avsnitt 12.7.2 i SR-Site beräknades det extra hydrostatiska tryck som orsakas av istjockleken över Forsmark för referensglaciationscykeln att bli 26 MPa. Det maximala förväntade extra hydrostatiska trycket, vilket pessimistiskt härleds från den största inlandsisen under de senaste två miljoner åren, är 30 MPa. När det hydrostatiska trycket för isfria förhållanden och buffertens maximala svälltryck läggs till erhålls ett totalt maximalt hydrostatiskt tryck vid Forsmark av ca 46,5 MPa. Den maximala istjockleken vid kommande glaciationer är dock osäker. En förtydligande och kompletterande diskussion om osäkerheterna i kommande maximala istjocklekar redovisas i SKB:s preliminära svar



på fråga 4 i *Svar till SSM på begäran om komplettering angående klimat, SKBdoc 1396769*, svaret i slutlig form kommer att ges i december 2013.

Den gällande konstruktionsförutsättningen avseende kapselns förmåga att motstå isostatisk belastning avser ett isostatiskt tryck om 45 MPa. Omfattande utvärderingar av kapselns förmåga att motstå denna isostatiska last har utförts som en del av designanalysen för kapseln (Raiko et al. 2010). I slutsatskapitlet till SR-Site förs dock en diskussion om huruvida denna konstruktionsförutsättning borde ändras för att täcka in osäkerheterna i kommande istjocklekar. SKB överväger fortsatt konstruktionsförutsättningen vad avser isostatisk last för kapseln och kommer att redovisa utfallet i samband med att det slutliga svaret på fråga 4 i begäran om komplettering avseende klimatfrågor ges i december 2013 (se ovan).

I skalvsimuleringarna som ingick i SR-Site användes inga särskilda ”islaster”, utan bergspänningarna höjdes i simuleringarna tills skalv erhöles som i storlek/magnitud var konforma med de empiriska samband som ges av Leonard (2010) samt Wells och Coppersmith (1994). Därmed fick den skalvgenererande zonen hysa det största skalv som är konformt med zonens storlek. Vidare antogs, i analogi med de stora glacialt inducerade skalven i Norra Fennoscandia, överskjutning som skalvmekanism (reverse faulting) vilket i praktiken begränsar zonerna i Forsmark till en enda: ”ZFMA2”. När det gäller att fastställa antal kritiska kapselpositioner, räknade SKB emellertid på samtliga zoner och av dessa var det ZFMA2 som gav sämst resultat. Fallet A2 valdes således för riskberäkningen, dels för att det var mest pessimistiskt och dels för att den mest liknar de zoner som kan ses i Norra Fennoscandia.

I dagsläget vidareutvecklar SKB dessa modeller dels inom ramen för ett doktorandprogram och delvis i samarbete med Posiva genom att både modellera Forsmark och Olkiluoto. I dessa senare modeller tas hänsyn till glacialt inducerade spänningar (Weichsel, 2900 m över Forsmark) och in situ spänningar för den postglaciala fasen. Preliminära resultat bekräftar tidigare antaganden om stark konservatism i SR-Site-modelleringarna.

SKB har ännu inte bedömt hur exempelvis en is av Saale-typ, som är både tjockare (omkring 3200 m över Forsmark) och har större utbredning, skulle kunna påverka förvaret från ett seismiskt perspektiv. Den förväntade effekten av en större islast, av exempelvis Saale-typ, är att zonerna på förvarsdjup blir ännu stabilare. Större och långvarigare islast ger dock högre remanenta horisontella spänningar efter isens tillbakadragande, vilket i sig ger möjlighet för större spänningsfall i skalvet, dvs högre skalvmagnituder. Dock har SKB i simuleringarna i SR-Site antagit att zonerna kommer att hysa största möjliga skalv som är kompatibelt med dess storlek, redan med Weichsel-isen, vilket innebär att effekten av en större islast ryms inom den pessimism som fanns inbyggd i simuleringarna för SR-Site.

SKB har ej heller (hittills) i riskberäkningen explicit beaktat vad som eventuellt sker i den av glaciären inducerade periferihöjningen (eng. ”forebulge”). Modelleringen av de av isen inducerade spänningarna sträcker sig emellertid över hela glaciationen och inkluderar därför periferihöjningsperioder (Lund et al. 2009, Fig. 7-17). Med det antagna, reversa, spänningsfältet ger dessa perioder dock ingen instabilitet på optimalt orienterade förkastningar (Lund et al. 2009, Fig. 9-7). De modeller där primärzonen istället låtits hysa en ”strike-slip” kinematik har inte genererat större skjuvningar än modeller med ”revers” kinematik. Slutligen har SKB, med möjligt undantag för nyligen rapporterade observationer i Norra Tyskland (Brandes et al. 2012, Brandes and Winsemann 2013) som

skulle kunna tolkas vara skalv i periferihöjningen, ingen kännedom om publicerade skalv av denna art.

Med vänlig hälsning

**Svensk Kärnbränslehantering AB**  
Avdelning Kärnbränsleprogrammet

Helene Åhsberg  
Projektledare Tillståndsprövning

## Referenser

### *Dokument och referenser i ansökan*

**Cosgrove J, Stanfors R, Röshoff K, 2006.** Geological characteristics of deformation zones and a strategy for their detection in a repository. SKB R-06-39, Svensk Kärnbränslehantering AB.

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

**Hedin A, 2008.** Semi-analytic stereological analysis of waste package/fracture intersections in a granitic rock nuclear waste repository. *Mathematical Geosciences* 40, 619–637.

**Hedin A, 2011.** Stereological method for reducing probability of earthquake-induced damage in a nuclear waste repository. *Mathematical Geosciences* 43, 1–21.

**Lund B, Schmidt P, Hieronymus C, 2009.** Stress evolution and fault stability during the Weichselian glacial cycle. SKB TR-09-15, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Munier R, 2010.** Full perimeter intersection criteria. Definitions and implementations in SR-Site. SKB TR-10-21, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Raiko H, Sandström R, Rydén H, Johansson M, 2010.** Design analysis report for the canister. SKB TR-10-28, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Sena C, Salas J, Arcos D, 2010.** Aspects of geochemical evolution of the SKB near field in the frame of SR-Site. SKB TR-10-59, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2009.** Design premises for a KBS-3V repository based on results from the safety assessment SR-Can and some subsequent analyses. SKB TR-09-22, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2010a.** Design, production and initial state of the buffer. SKB TR-10-15, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2010b.** Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels. SKB TR-10-16, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2010c.** Buffer, backfill and closure process report for the safety assessment SR-Site. SKB TR-10-47, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2010d.** Data report for the safety assessment SR-Site. SKB TR-10-52, 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.

**Wells D L, Coppersmith K J, 1994.** New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. Bulletin of the Seismological Society of America 84, 974–1002.

### *Övriga referenser*

**Brandes C, Winsemann J, 2013.** Soft-sediment deformation structures in Late Pleistocene alluvial-aeolian sediments caused by GIA induced seismicity along the Osning Thrust (northern Germany). EGU General Assembly 2013, Vienna, Austria, 7–12 April 2013. Abstract available at: <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2013/EGU2013-2844.pdf>

**Brandes C, Winsemann J, Roskosch J, Meinsen J, Tanner D C, Frechen M, Steffen H, Wu P, 2012.** Activity along the Osning Thrust in Central Europe during the Lateglacial: ice-sheet and lithosphere interactions. Quaternary Science Reviews 38, 49–62.

**Leonard M, 2010.** Earthquake fault scaling: self-consistent relating of rupture length, width, average displacement, and moment release. Bulletin of the Seismological Society of America 100, 1971–1988.