



Svensk Kärnbränslehantering AB  
Box 250

101 24 Stockholm

Handläggare: Flavio Lanaro

Telefon: 08 799 44 92

Vår referens: SSM2011-2426-84

Intern referens: 4.2.e

Er referens: KTL-Kärnbränsleförvaret

NACKA TINGSRÄTT  
Enhet 3

INKOM: 2013-01-03  
MÅLN: M 1333-11  
AKTBIL: 170

## Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall – Kritiska faktorer för val av deponeringspositioner

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 februari 2013.

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

### Kompletteringar

SSM bedömer att det finns ett behov av kompletterande information gällande kritiska faktorer för val av deponeringspositioner samt godkännande av deponeringshål:

1. *Redovisning av faktorer som påverkar nyttjandegraden för deponeringstunnlarna i Forsmark:*  
SSM efterfrågar beräkningsunderlag som visar hur faktorer som t.ex. dåligt berg, förinjekterade områden, vågiga eller förgrenade sprickor, och eventuella ytterligare av SKB identifierade faktorer, påverkar nyttjandegrad för deponeringstunnlarna i det planerade slutförvaret i Forsmark, d.v.s. den praktiska tillämpningen av det s.k. ”Extended Full Perimeter Intersection Criterion” (EFPC) för val av



deponeringspositioner i deponeringstunnlarna.

2. *Kvantifiering av osäkerheter i beräkning av nyttjandegrad för deponeringstunnlarna i Forsmark:* SSM efterfrågar en kvantitativ redovisning av hur de antagna geologiska spricknätverksmodellerna (DFN) och dess osäkerheter påverkar nyttjandegraden för deponeringstunnlarna i Forsmark och tillhörande osäkerheter.
3. *Kvantifiering av osäkerheter i beräkning av tillförlitligheten hos EFPC-kriteriet för val av deponeringspositioner i Forsmark:* SSM efterfrågar en kvantitativ redovisning av osäkerheterna för de geologiska karteringarna som erfordras för tillämpning av EFPC-kriteriet och som påverkar dess prestationsförmåga att identifiera kritiska sprickor/sprickzoner i deponeringshålen. Vidare bör SKB redovisa sin uppskattning av osäkerhetsminskning som kommer att resultera från tillämpning av geofysiska metoder för att karaktärisera och kvalitetsbedöma bergmassan i närheten av en föreslagen deponeringsposition.
4. *Konstruktionsförutsättningar för acceptans/förkastningskriterier för val av deponeringspositioner:* SSM efterfrågar kompletterande uppgifter/motivering gällande eventuellt behov av följande konstruktionsförutsättningar:
  - a. Minimivärden för bergmassans kvalitet där deponeringspositioner kan tillåtas
  - b. Kriterier för tillåtet vatteninflöde i deponeringshål
  - c. Respektavstånd från förinjekterade områden i deponeringstunnlar.
  - d. Respektavstånd från långa sprickor som korsar deponeringstunnel samt deponeringshål
  - e. Respektavstånd från korta sprickor som korsar deponeringshålet i anslutning till toppen och botten av kapseln
  - f. Förekomsten av gångbergarter eller andra mindre förekommande bergarter med avvikande mekaniska eller termiska egenskaper.
5. *Demonstration av tillämpning av EFPC-kriteriet och övriga acceptans/förkastningskriterier för val av deponeringspositioner:* SSM bedömer att SKB bör demonstrera den praktiska tillämpbarheten av EFPC-kriteriet och övriga acceptans/förkastningskriterier för val av deponeringspositioner i verklig tunnelmiljö med liknande geologiska förhållande som i



Forsmark. Förutom den geologiska karteringen behöver SKB löpande redovisa status för sina planer för att anskaffa samt resultat från praktiskt tillämpning och utveckling av geofysisk utrustning med vars hjälp man kan karaktärisera och kvalitetsbedöma bergmassan i den omedelbara närheten av en föreslagen deponeringsposition.

## Skälen för begäran om komplettering

Barriärerna i slutförvaret för använt kärnbränsle ska ha tålighet mot händelser som kan påverka funktionerna efter förslutning (5 § SSMFS 2008:21), d.v.s dess långsiktiga säkerhet. Enligt 9 § SSMFS 2008:21 ska händelserna analyseras för att demonstrera att barriärsystemet uppförs i enlighet med SSMFS 2008:1. Detta görs genom en säkerhetsanalys för slutförvaret som också redovisar att alla sannolika orsaker till spridning av radioaktiva ämnen efter förslutning (s.k. scenarier) har identifierats. Säkerhetsanalysen ska beskriva utvecklingen av biosfär, geosfär och slutförvar för utvalda scenarier (Bilaga 1 SSMFS 2008:21). Hänsyn till samma scenarier ska tas för bedömningen av den årliga risken för skadeverkningar orsakade av joniserande strålning för en särskild individ (5 § SSMFS 2008:37) samt för livsmiljöer och ekosystem (7 § SSMFS 2008:37) efter förslutning av slutförvaret. Vidare ska slutförvaret även ha tålighet mot händelser som kan påverka barriärernas eller djupförvarets säkerhetsfunktioner under driften av anläggningen (3 kap 1 § SSMFS 2008:1).

Föreskrifter SSMFS 2008:1 4 kap 1 §, som gäller även för analysen av den långsiktiga säkerheten av slutförvaret enligt SSMFS 2008:21 och 2008:37, anger att modeller och beräkningsprogram som används för säkerhetsanalyser ska vara validerade och verifierade samt att fastställa konstruktions- och driftsgränser ska vara mätbara. Vidare ska osäkerheter vara beaktade. Analysens syfte bör tydligt anges liksom de osäkerheter och begränsningar som föreligger för den. Analysen bör vidare ha god spårbarhet och väl motiverade antaganden och data som är relevanta för anläggningen. Resultatredovisningen bör också innehålla en tydlig slutsats om anläggningens säkerhet inom ramen för analysens förutsättningar och begränsningar.

SSM:s inledande granskningsfas för SKB:s ansökan om tillstånd för ett KBS-3-slutförvar för använt kärnbränsle och kärnavfall i Forsmark har resulterat i ett antal kompletteringsbehov. En utförlig motivering för de identifierade kompletteringsbehoven redogörs för nedan.

1. *Redovisning av faktorer som påverkar nyttjandegraden för deponeringstunnlarna i Forsmark:*



SKB har utvecklad EFPC-kriteriet (Munier, 2006; Munier, 2007; Munier 2010), delvis som verktyg för att uppskatta nyttjandegraden för deponeringstunnlarna i slutförvaret, delvis som verktyg för val av deponeringspositioner samt godkännande av deponeringshål. Analyserna som använder sig av deformationsberäkningar för bergmassan (Fälth m.fl., 2010), av EFPC-kriteriet som utgår ifrån de geologiska DFN-modellerna för målområdet i Forsmark, samt av sannolikheten för jordbävning för att kvantifiera risken för skada på kapseln i slutförvaret, ger väldigt överensstämmande resultat med övriga semi-analytiska och överlagsberäkningar i Hedin (2010) som SKB har genomfört. Detta ger tilltro till metoderna som sådana. Emellertid är EFPC-kriteriet ensamt inte kapabelt att särskilja de ”kritiska sprickorna” från övriga långa sprickor när det tillämpas i praktiken i deponeringstunnlarna (Stephansson, 2010).

EFPC-kriteriet är också utgångspunkt för beräkning av nyttjandegraden för deponeringstunnlarna i slutförvaret, vilken är avgörande för att säkerställa att bergvolymen i målområdet i Forsmark är tillräcklig för att inrymma ett KBS-3-slutförvar med 6000 kapslar. Med de förutsättningarna som råder i Forsmark uppskattar SKB att EFPC-kriteriet leder till att ca 23% av teoretiskt möjliga deponeringspositionerna förkastas. Därför projekterar SKB en layout som inrymmer ca 7818 kapslar (SKB, 2011). Den praktiska tillämpningen av EFPC-kriteriet i tunnlar kan göra att nyttjandegraden för deponeringstunnlarna ytterligare förändras. Faktorer som påverkar tillämpningen av EFPC-kriteriet i tunnlar är t.ex.:

- a. *Förekomsten av deponeringspositioner i dåligt berg som kan behöva förkastas:*

Bergmassan i målområdet i Forsmark karaktäriseras som berg av övergripande bra kvalitet med medel och minimum värden för Q (Rock Quality Index) och RMR (Rock Mass Rating) på 363 och 2 respektive 87 och 71 för bergmassan utanför deformationszoner i bergdomän RFM029 (se Tabell 5-1, Glamheden m.fl., 2007). Från en byggharhetssynpunkt gäller bedömningarna ovan om man bortser från inflytande av bergspänningar samt grundvattentryck vid ett djup på ca 500 m i Forsmark. Med hänsyn till bergspänningsfältet (Martin, 2007) och en grundvattenpelare på ca 500 m kan man uppskatta följande faktorer i Q-systemet (se t.ex. Palmstrom och Broch, 2006):

  - Jw (Joint Water reduction factor) mellan 1 och 0,3
  - SFR (Stress Reduction Factor) mellan 2 och 5.



När dessa värden tillämpas på områden med sämre bergkvalitet, d.v.s. med Q-värde mindre än 10, multipliceras Q-värdet med  $J_w$  och divideras med SFR. Detta resulterar i ett Q-värde för bedömning av byggbarhet som reduceras mellan hälften och en sjuttondel. Dessa resulterande värden klassas som dålig berg (Barton, 2002). I och med de partier där bergmassa av dålig byggbarhet har en viss utsträckning i deponeringstunnlarna påverkar dessa den resulterande nyttjandegraden. Påståendet förutsätter att SKB bedömer att deponeringspositioner i dåligt berg ska förkastas (se även punkt 4.a). Enligt Q-systemet (Palmstrom och Broch, 2006), bör en tunnel med diameter om 1,75 m, i en underjordisk kärnteknisk anläggning och i en bergmassa med Q-värde under 1 inte lämnas oförstärkt.

- b. *Förekomsten av vattenförande sprickzoner som kräver förinjektering längs en viss sträcka i deponeringstunneln:*  
Vattenförande sprickzoner sammanfaller ofta, men nödvändigtvis inte, med tunnelpartier med berg av dåligt kvalitet. I rapporten SKB (2010a) påstås att i genomsnitt förekommer två vattenförande sprickzoner som kommer att kräva förinjektering i varje deponeringstunnel. De förinjekterade områdena har en icke försumbar utsträckning längs med deponeringstunnlarna. SSM antar att SKB kommer att undvika deponeringspositioner i förinjekterat berg. Därför påverkar dessa förinjekterade områden nyttjandegraden för deponeringstunnlarna i slutförvaret.
- c. *Vågighet hos långa sprickor i berg:*  
Råheten hos långa sprickor i berg resulterar i att dessa sprickor upptar en viss volym i bergmassan (se t.ex. Barton, 1990; Scholz, 1995). Inom denna volym förekommer det lokala sprickplanet i borrhålen eller tunnelväggarna. Detta medför att antagandet i EFPC-kriteriet om perfekt plana sprickytor generellt inte gäller för långa sprickor. SKB kvantifierar inte konsekvens för detta i tillämpningen av EFPC-kriteriet i tunnlar.
- d. *Vidd hos sprickor och tjocklek hos sprickzoner:*  
Avståndet mellan bergväggarna hos en bergspricka kan variera beroende på normalspänningen och skjuvdeformationen som sprickan har undergått. Samma princip gäller för sprickzoner som består av en bergvolym med förhöjd sprickfrekvens (se Munier och Hökmark, 2004). Konsekvensen för faktum att sprickor samt



sprickzoner, utöver att uppta en viss volym på grund av dess råhet, upptar en volym på grund av dess vidd eller tjocklek kvantifieras inte i SKB:s ansökan.

- e. *Förekomsten av sprängskadezonen samt mekaniska skadezonen parallellt med golvet för deponeringstunneln:*  
Den teoretiska formuleringen av EFPC-kriteriet tar hänsyn till de naturliga sprickorna i bergmassan före schaktning av tunnlar samt deponeringshålen genom användning av DFN-modellerna. Tillkomna sprickor i samband med sprängskadezonen och mekaniska skadezonen kan därför interferera med tillämpningen av EFPC-kriteriet i tunnlar (se även Technical Note SSM 2012:39) och leda till bortfall av deponeringspositioner jämfört med teoretiskt utfall av kriteriet. SKB kvantifierar inte denna konsekvens i ansökan.
  - f. *Förekomsten av diskontinuerliga sprickor med bergbryggor eller förgrenade sprickor:*  
Tillämpningen av EFPC-kriteriet på diskontinuerliga, förgrenade sprickor eller sprickor med bergbryggor i sprickplanet skulle kunna resultera i att vissa kritiska sprickor/sprickzoner förblir oupptäckta (se även Technical Note SSM 2012:39 och SSM 2012:57). SKB kvantifierar inte konsekvensen för detta i ansökan.
  - g. *Tillväxt av sprickor inom tidsperspektivet på en miljon år för analysen av den långsiktiga säkerheten i SR-Site:*  
EFPC-kriteriet hanterar sprickor som har funnits eller tillkommit i bergmassan i samband med schaktning av deponeringstunnlarna. I flera rapporter (se Backers och Stephansson, 2011, samt Technical Note SSM 2012:39, SSM 2012:52 och SSM 2012:57) har det påpekats att EFPC-kriteriet inte tar hänsyn till spricktillväxt i samband med lastfall i framtida scenarier som är betraktade i analysen av den långsiktiga säkerheten i SR-Site (SKB, 2011). Spricktillväxten kan i vissa fall länka ihop närliggande sprickor som på så sett uppnår den kritiska storleken; i andra fall kan spricktillväxten leda till att kritiska sprickor/sprickzoner som inte nådde deponeringshålen gör det efter att de har vuxit till.
2. *Kvantifiering av osäkerheter i beräkning av nyttjandegrad för deponeringstunnlarna i Forsmark:* SKB uppskattar att nyttjandegrad för deponeringstunnlarna i Forsmark varierar mellan ca 72% och 88% (Munier, 2010). Kvarstående osäkerheter i de geologiska DFN-

modellerna är så pass stora att de kan resultera i ännu större spridning i nyttjandegrad när platsspecifik data från förvarsdjup tillämpas. Faktorerna i punkt 1 också påverkar nyttjandegraden för deponeringstunnlarna. Därför bör osäkerheten för nyttjandegraden redovisas kvantitativt.

3. *Konstruktionsförutsättningar för acceptans/förkastningskriterier för val av deponeringspositioner:*

Redan i granskning av Fud-programmet 2010 (SKB, 2010c) påpekade SSM att det är viktigt att SKB kan visa att alla krav på slutförvaret ska kunna omsättas och uppfyllas i praktiken (SSM 2011:10). SSM anser att SKB därvid bör eftersträva att de teoretiska krav som den långsiktiga säkerheten ställer på slutförvaret omsätts till praktiska parametrar som går att mätas under uppförande och drift av slutförvaret. Kompletterande uppgifter eller motivering efterfrågas för eventuella tillkommande konstruktionsförutsättningar så som:

a. *Minimivärden för bergmassans kvalitet där deponeringspositioner kan tillåtas:*

I de fall där SKB bedömer att deponeringspositioner bör förkastas p.g.a. att bergmassan är av dålig kvalitet ur byggharhetssynpunkt bör kvantitativa kriterier fastställas som t.ex. erhållna minimivärden från bergmassans klassificeringssystem (Q och/eller RMR) i målområdet för slutförvaret i Forsmark. SKB bör även specificera om dessa krav gäller även med hänsyn till den långsiktiga säkerheten av slutförvaret.

b. *Kriterier för tillåtet vatteninflöde i deponeringshål:*

I SKB (2010a och 2011) uppger SKB att totalvolym av vatten i ett godkänt deponeringshål tills buffert har mätts inte får överstiga 150 m<sup>3</sup>. Det är otydligt hur SKB planerar att praktiskt verifiera konstruktionsförutsättningen för vatteninflöde i deponeringshålet (se även Technical Note SSM 2012:41). I appendix 1, rapport SKB (2010b), redovisas att kravet om begränsat vatteninflöde på 150 m<sup>3</sup> motsvarar ca 0,1 l/min i deponeringshålet. Detta strider mot innehållet i SKB (2010a och 2011) där ett punktinflöde på maximum 0,1 l/min är tillåtet i deponeringstunneln dock uttryckligen inte i deponeringshålen.

Det är otydligt hur EFPC-kriteriet tar hänsyn till sprickor som kan leda till inflöde i deponeringshålen (se även Technical Note SSM 2012:39).



c. *Respektavstånd från förinjekterade områden i deponeringstunnlar:*

I varje deponeringstunnel kommer sannolikt ca två sprickzoner som kräver förinjektering för att begränsa vatteninflöde att förekomma enligt Berglinjerapporten (SKB, 2010a). Den förinjekterade tunnelsektionen kommer i praktiken inte att kunna utnyttjas till deponering. Därför ställer SSM frågan om SKB bör införa ett respektavstånd från förinjekterade områden. I ett affirmativt fall bör SKB även motivera valet ur ett långsiktigt säkerhetsperspektiv för slutförvaret. Huruvida detta respektavstånd behövs eller inte kommer det också att påverka nyttjandegraden för deponeringstunnlarna.

d. *Respektavstånd från långa sprickor som korsar deponeringstunnel samt deponeringshål:*

Behovet av att inkludera ett respektavstånd från långa sprickor/sprickzoner som enligt EFPC-kriteriet omöjliggör vissa deponeringspositioner bör analyseras och redovisas av SKB.

OECD/NEA (2012) kostaterar att flacka sprickor/sprickzoner med normalspänning uppemot den vertikala bergspänningen som råder idag vid slutförvarsdjupet om ca 500 m i Forsmark under geologiska tider har genomgått skjuvning samt dilatation och mycket sannolikt har reaktiverats och kommer att reaktiveras i framtiden. Därför bör SKB redovisa om respektavstånd från flacka sprickor/sprickzoner som leder till att deponeringspositioner måste förkastas bör införas.

Huruvida dessa respektavstånd behövs eller inte kommer också att påverka nyttjandegraden för deponeringstunnlarna.

e. *Respektavstånd från korta sprickor som korsar deponeringshålet i anslutning till toppen och botten av kapseln:*

Vissa spricklägen kan korsa deponeringshålet i anslutning till topp och botten av kapseln. För dessa områden kan inte den gjutna kapselinsatsens lastbärande förmåga anses likvärdig som då skjuvning sker mitt på kapseln (se även komplettering nr. 1 i begäran SSM 2011-2426-58). SSM ställer frågan om korta sprickor, d.v.s. icke-kritiska sprickstorlekar enligt Fälth m.fl. (2010), som faller inom dessa områden bör undvikas och inom vilket respektavstånd från kapselns topp och botten.





- f. *Förekomsten av gångbergarter eller andra mindre förekommande bergarter med avvikande mekaniska eller termiska egenskaper:*

Förekomsten av olika bergarter i bergmassan i slutförvarsvolymen påverkar de mekaniska och termiska egenskaperna som i sin tur bestämmer över avståndet mellan deponeringshålen (SKB, 2009). Förekomsten av gångbergarter eller andra mindre förekommande bergarter kan vara i sådan omfattning att vissa deponeringspositioner måste förkastas på grund av avvikande bergegenskaper. Därför efterfrågar SSM en redovisning av behov av kompletterande konstruktionsförutsättningar som innefattar t.ex. maximalt tillåtna förekomsten i volym av bergarter som amfibolit, tonalit, diorit- och pegmatitgångar, omvandlad metagranit (episyenit).

4. *Kvantifiering av osäkerheter i beräkning av prestationsförmågan hos EFPC-kriteriet för val av deponeringspositioner i Forsmark:*  
SKB har redovisat att vissa kritiska sprickor/sprickzoner som bara delvis skär genom deponeringshålen men inte syns i deponeringstunneln eller i de fyra närmaste deponeringshålen inte kan identifieras när EFPC-kriteriet praktiskt tillämpas i slutförvaret (Munier, 2010).

Dessutom finns det andra osäkerheter i de geologiska karteringarna/mätningarna som erfordras för tillämpning av EFPC-kriteriet och som också kan leda till att kritiska sprickor/sprickzoner blir oidentifierade. SSM hittar inte i SKB:s redovisning (SKB, 2011) hänvisning till en kvantifiering av dessa karterings-/mätningosäkerheter och hur de påverkar sannolikheten för att kritiska sprickor/sprickzoner i deponeringshålen blir oidentifierade.

I synnerhet är redovisningen av osäkerheten i beräkning av antal kritiska deponeringshål för olika DFN-modeller samt bergspänningstillstånd som redovisas i Tabell 10-17 och 10-18 i SR-Site (SKB, 2011) den mest intressanta för den fortsatta granskningen av ansökan.

5. *Demonstration av tillämpning av EFPC-kriteriet och övriga acceptans/förkastningskriterier för val av deponeringspositioner:*  
I rapporten SSM 2011:10 anser Myndigheten att metodiken för detektering av kritiska sprickor är viktig och att SKB bör fullfölja de planerna som är beskrivna i Fud-programmet 2010. SSM anser även att det är betydelsefullt att möjligheten till detektering kopplas till konstruktionsförutsättningarna på ett lämpligt sätt och att



osäkerheterna analyseras.

Förutom den geologiska karteringen behöver SKB löpande redovisa status för sina planer för att anskaffa samt resultat från praktiskt tillämpning av geofysisk utrustning med vars hjälp man kan karaktärisera bergmassan och kvalitetsbedöma den i den omedelbara närheten av en föreslagen deponeringsposition.

Därför bedömer SSM att SKB bör demonstrera tillämpbarheten av EFPC-kriteriet samt övriga erforderliga acceptans/förkastningskriterier för val av deponeringspositioner (bl.a. vatteninflöde i deponeringshål, förekomsten av gångbergarter, bergteknisk kvalitet, respektavstånd från sprickzoner eller vågiga sprickor, respektavstånd från vattenförande deformationszoner) i verklig tunnelmiljö med liknande geologiska förhållande som i Forsmark (se även Technical Note SSM 2012:39 och SSM 2012:41).

Denna begäran om komplettering har beretts i tillståndsprövningsprojektets Projektledningsgrupp och föredragits av Flavio Lanaro och Lena Sonnerfelt.

*Ansi Gerhardsson*  
Projektledare

*Flavio Lanaro*  
Handläggare

*Lena Sonnerfelt*  
Handläggare



## Referenser

Backers T., Stephansson O., 2011. The influence of temperature and fluid pressure on the fracture network evolution around deposition holes of a KBS-3V concept at Forsmark, Sweden, Strålsäkerhetsmyndigheten 2011:26 Rapport.

Barton N., 1990. Scale effects or sampling bias? Proc. 1<sup>st</sup> Workshop on Scale Effects in Rock Masses, Loen, Norway, ed. Pinto da Cunha, 1990 Balkema, Rotterdam (på engelska).

Barton N., 2002. Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 39 (2002), pp. 185–216.

Fälth B., Hökmark H., Munier R., 2010. Effects of large earthquakes on a KBS-3 repository. Evaluation of modelling results and their implications for layout and design, SKB TR-08-11, Svensk Kärnbränslehantering AB (på engelska).

Glamheden R., Fredriksson A., Röshoff K., Karlsson J., Hakami H., Christiansson R., 2007. Rock Mechanics Forsmark. Site descriptive modelling Forsmark stage 2.2, SKB R-07-31, Svensk Kärnbränslehantering AB (på engelska).

Martin, C. D., 2007. Quantifying in situ stress magnitudes and orientations for Forsmark. Forsmark stage 2.2, SKB R-07-26, Svensk Kärnbränslehantering AB (på engelska).

Munier R., Hökmark H., 2004. Respect distances, Rationale and means of computation, SKB R-04-17, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Munier, R., 2006. Using observations in deposition tunnels to avoid intersections with critical fractures in deposition holes, SKB R-06-54, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Munier R., 2007. Demonstrating the efficiency of the EFPC criterion by means of Sensitivity analyses SKB R-06-115, Svensk Kärnbränslehantering AB.

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



Palmstrom A., Broch E., 2006. Use and misuse of rock mass classification systems with particular reference to the Q-system, *Tunnels and Underground Space Technology*, vol. 21, pp. 575-593 (på engelska).

Scholz C.H., 1995. Fractals transitions on geological surfaces, i *Fractals in the Earth Sciences*, eds. Barton C.C, La Pointe, P.R., 1995 Plenum Press, New York (på engelska).

SKB, 2009. Site Engineering Report, Guidelines for underground design – Step D2, SKB R-08-83, Svensk Kärnbränslehantering AB (på engelska).

SKB, 2010a. Design, construction and initial state of the underground openings, SKB TR-10-18, Svensk Kärnbränslehantering AB (på engelska).

SKB, 2010b. Fud-program 2010. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2010c. Framework programme for detailed characterisation in connection with construction and operation of a final repository for spent nuclear fuel, SKB R-11-14, Svensk Kärnbränslehantering AB (på engelska).

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 (på engelska).

Stephansson O., 2010. Review of SKB Technical Report TR-10-21, SSM:s ärende nr. SSM 2010-3894-6, Strålsäkerhetsmyndigheten (på engelska).

SSM, 2012. Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall - kapselns mekaniska integritet, SSM:s ärende nr. SSM 2011-2426-58, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2011:10, 2011. Granskning och utvärdering av SKB:s redovisning av Fud-program 2010, Strålsäkerhetsmyndigheten SSM 2011:10 Rapport.

SSM 2012:39. Eberhardt E., Diederichs M., 2012. Review of Engineering Geology and Rock Engineering aspects of the construction of a KBS-3 repository at the Forsmark site – Initial Review Phase, Strålsäkerhetsmyndigheten 2012:39 Technical Note (på engelska).

SSM 2012:41. Geier J. E., 2012. Hydrogeological conditions at the Forsmark site, Strålsäkerhetsmyndigheten 2012:41 Technical Note (på engelska).

SSM 2102:52. Backers T., Stephansson O., 2012. Shear movement of near-field rock due to large earthquakes, Strålsäkerhetsmyndigheten 2012:52 Technical Note (på engelska).



SSM 2012:57. Ofoegbu G.I., Smart K.J., 2012. Shear movement of near-field rock due to large earthquakes, Strålsäkerhetsmyndigheten 2012:57 Technical Note (på engelska).