



Svensk Kärnbränslehantering AB
Box 250

101 24 Stockholm

Begäran om komplettering
2012-12-07

Handläggare: Flavio Lanaro
Telefon: 08 799 44 92

Vår referens: SSM2011-2426-83
Intern referens: 4.5.j, 4.8.d
Er referens: KTL-Kärnbränsleförvaret

Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall – Bergspänningar i Forsmark

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 klargöranden av praktisk eller administrativ karaktär, ska detta ske vid protokollförda möten mellan berörda personer på SSM och SKB.

Kompletteringar

SSM bedömer att följande kompletteringar gällande bergspänningsmodellen ska tas fram av SKB för att möjliggöra den fortsatta granskningen av SKB:s analys av den långsiktiga säkerheten för ett slutförvar i Forsmark i SR-Site (SKB, 2011) och underliggande rapporter:

1. *Samlad redovisning:* SSM efterfrågar en samlad redovisning av utvecklingen för bergspänningarna kopplad till de scenarier där bergspänningar åberopas (t.ex. utförandefasen, drift- och termala fasen, glaciationscykel samt jordbävningsscenarioet).

För att erhålla den fullständiga bilden av bergspänningsutvecklingen bör även de uppskattade vattentryck som gäller vid varje tidpunkt



redovisas i och med att dessa är avgörande för att bedöma sprick- och deformationszonernas stabilitet samt de effektiva spänningarna i bergmassan.

Den samlade redovisningen kan med fördel även innefatta de behov av kompletteringar redovisade i följande punkter, som i varje enskilt fall utgör en begäran. Bl.a. är det önskvärt att den samlade redovisningen även innefattar modellen för de initiala spänningarna i bergmassan i Forsmark.

2. *Aspekter i modellen för de initiala bergspänningarna i Forsmark:* I SSM:s inledande granskningsfas har flera aspekter gällande modellen för de initiala bergspänningarna uppmärksammats (d.v.s. hur man går från bergspänningsmätningar och andra bergspänningsindikatorer till en modell som kvantitativt beskriver bergspänningsvariationen med djupet och genom den valda platsen idag i Forsmark) där antaganden, motiveringar och slutsatser bör redovisas av SKB på ett mera grundligt, strukturerat och konsekvent sätt. Dessa aspekter är:
 - a. Motivering för uteslutning av variabilitet för bergspänningarna för tilltänkta platsen utöver djupberoendet räknat från markytan.
 - b. Tydlig definition av bergvolymer för vilka den valda bergspänningsmodellen gäller.
 - c. Motivering för valda linjära trender för variationen av bergspänningskomponenter med djupet och brytpunkter i dessa trender.
 - d. Motivering för den antagna ”positiva korrelationen” mellan största, mellersta och minsta bergspänningskomponenterna.
3. *Kvalitetssäkring av indata, metodik och slutsatser:* SSM har stött på brister under granskningen av frågor gällande kvalitetssäkring, representativitet och spårbarhet av underlagsdata för den valda modellen för de initiala bergspänningarna i Forsmark. Därför begär SSM in kompletterande information i form av:
 - a. Redovisning av filtreringslogiken för att komma fram till data som utgör underlag till den valda bergspänningsmodellen.



- b. Redovisning av representativitet för bergspänningsdata som ingår i underlaget för framtagning av den valda bergspänningsmodellen.
- c. Redovisning av principerna för bestämning av variabilitet i den valda bergspänningsmodellen samt underlaget för dess kvantifiering.
- d. Redovisning av principerna för bestämning av osäkerheter i den valda bergspänningsmodellen samt underlag för dess kvantifiering.
- e. Redogörelse för kvaliteten i dataunderlaget för den valda bergspänningsmodellen i förhållande till ”state-of-the-art” för bergspänningsmätningar i kristallint berg i världen idag.

Skälen för begäran om komplettering

För att säkerställa driftsäkerheten ska slutförvarsanläggningen ha tålighet mot händelser som kan påverka barriärernas eller djupförsvarets säkerhetsfunktioner (3 kap. 1 § SSMFS 2008:1). Barriärerna ska även ha tålighet mot händelser som kan påverka funktionerna efter förslutning av slutförvaret (5 § SSMFS 2008:21). I dessa avseenden utgör bergspänningarna och deras utveckling, före och efter förslutning, händelser som kan påverka säkerhetsfunktioner för bergmassan som barriär men även för de övriga tekniska barriärerna i KBS-3-systemet. Enligt 9 § SSMFS 2008:21 ska händelserna analyseras för att demonstrera att barriärsystemet uppförs i enlighet med SSMFS 2008:1 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.

Föreskriften SSMFS 2008:1 4 kap. 1 §, som gäller även för säkerhetsanalysen för den långsiktiga säkerheten för ett slutförvar för använt kärnbränsle enligt SSMFS 2008:21 och 2008:37, anger att modeller och beräkningsprogram som används för säkerhetsanalyser och för att fastställa konstruktions- och driftsgränser ska vara validerade och verifierade. Vidare ska osäkerheter vara beaktade och data kvalitetssäkrade. Dessutom, i de allmänna råden om tillämpningen av 4 kap. 1 § i samma föreskrifter, framgår



att säkerhetsanalysen bör generellt hålla hög kvalitet vad gäller dokumentation, referenser, granskningsrutiner m.m. 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.

En utförlig motivering för de av SSM identifierade kompletteringsbehoven redogörs för nedan.

1. *Samlad redovisning*: SKB bör ha producerat en samlad redovisning av den valda modellen för de initiala spänningarna där alla bergspänningsmätningar, bergspänningsindikatorer, antaganden, modeller och analyser, kvalitetssäkring av data samt modelleringsresultat som är till grund för säkerhetsanalysen redovisas. Den nuvarande dokumentationen är utspridd, svårtolkad och ibland redundant vilket leder till farhågor om alltför stor tilltro till de antagna initiala bergspänningsnivåerna (se även Technical Note SSM 2012:39). SSM har gjort en liknande värdering även för SKB:s redovisning av bergspänningsutvecklingen i tid och rum för den valda platsen i Forsmark och för tidsperspektivet på en miljon år för analysen av den långsiktiga säkerheten i SR-Site (se även Technical Note SSM 2012:39 och SSM 2012:57). Denna har implikationer bl.a. för:
 - a. *Termiska spänningar under drift av slutförvarsanläggningen och efter förslutning*: SKB:s rapport TR-10-23, Figur 6-5, visar att redan 10 år efter påbörjad deponering av kapslar kommer bergspänningstillskottet p.g.a. värmeutveckling i slutförvarsanläggningen att öka med upp emot 15 MPa i ett område där schaktning av berg till nya deponeringstunnlar inte har påbörjats. Detta motsäger SKB:s påstående om att den valda uppförandesequensen inte ger termiska effekter på bergspänningar i bergvolymen som planerar att utschaktas.

Utvecklingen av bergspänningarna under den termala fasen bör även vara till grund för en analys av sannolikheten och konsekvenserna för eventuella termiskt inducerade skalv under drift eller efter förslutning av slutförvaret (se även Technical Note SSM 2012:51, SSM 2012:52 och SSM 2012:57).



- b. *Bergspänningskoncentrationer i närheten av bergutrymmen vid jordbävning*: de utsprängda utrymmen i bergmassan orsakar bergspänningskoncentrationer i bergväggarna och bergpelarna. Bergspänningskoncentrationer är inte försumbara i och med att dessa kan leda till bergspänningstillskott som är uppmot det dubbla i förhållande till de initiala bergspänningarna. Lokalt förhöjda bergspänningar kan ge upphov till skjuvrörelser i samband med jordbävningar som är större än de som kan förekomma när man utgår ifrån de initiala bergspänningarna, särskilt i anslutning till t.ex. deponeringshål (se även Technical Note SSM 2012:52). Denna aspekt är inte beaktad i SKB:s rapport TR-08-11 om effekterna av stora jordbävningar på ett KBS-3-slutförvar.
- c. *Bergspänningsriktningar i förhållande till en jordbävningssalstrande förkastning*: bergspänningsfältet påverkar på olika sätt förkastningar som kan generera jordbävningar beroende på riktningen för bergspänningarna i förhållande till förkastningens strykning och stupning (se även Technical Note SSM 2012:52). Kommentaren gäller särskilt i samband med förekomsten av stora post-glaciala jordbävningar. Denna aspekt är inte beaktad i SKB:s rapport TR-08-11 om effekterna av stora jordbävningar på ett KBS-3-slutförvar.
- d. *Inverkan av glacialis- eller sedimentlast på bergspänningsfältet*: i rapporten TR-11-01, s. 116, redovisar SKB mekanismer som har bidragit till uppbyggnad av höga bergspänningar i Forsmark. En av orsaken anses ha varit sedimentlasten; en annan orsak har varit glacialislasten. Dessa laster kan generera flacka sprickor i bergmassan, så kallade bankningsplan, eller reaktivera befintliga flacka sprickor och sprickzoner.

Emellertid saknas i SKB:s ansökan en redovisning av vilka bergspänningstillskott kopplade till glacialis- eller sedimentlast som skulle kunna generera förekomsten eller reaktivering av befintliga flacka sprickor i Forsmark (se även Technical Note SSM 2012:51).

Uppskattningar av bergspänningstillskotten i samband med en glacialislast som ger upphov till: i) tvångsspänningar i horisontellt led, ii) böjning av jordskorpan i stor skalan (koppling till de storskaliga spänningsmodellerna som



används för att beräkna spänningarna under en glacial cykel i Lund m.fl., 2009), iii) ”forebulge” vid isfronten samt iv) basaldrag för ismassan i rörelse, bör också tydligt redovisas (se även Technical Note SSM 2012:51).

Även utvecklingen av grundvattentrycket är avgörande delvis för stabilitet hos sprickor och deformationszoner, delvis för dess påverkan på effektiva spänningarna. SSM har gjort följande observationer i SKB:s ansökningsunderlag:

- e. *Grundvattentryck och stora jordbävningar*: förekomsten av stora jordbävningar styrs av hållfastheten i förkastningar och av magnituden av de effektiva bergspänningarna. Därför är det viktigt att redovisa den uppskattade utvecklingen för grundvattentrycket särskilt i samband med en glaciationscykel (se även Technical Note SSM 2012:52).
- f. *Grundvattentryckstillskott på grund av frysning av bentonit*: i ett fall där permafrosten når slutförvarsdjupet fryser vattnet i bentoniten och i bergmassan. Frysning leder till en volymökning som medför spänningstillskott men även ett tillskott till vattentrycket i det icke-frusna grundvattnet. SKB tar inte hänsyn till dessa problem i sitt ansökningsmaterial (se även Technical Note SSM 2012:51).

En samlad redovisning av bergspänningsutvecklingen ger också möjlighet till att följa upp kontinuerliga förändringar i bergspänningstillståndet (”stress paths”) som en viss bergvolym genomgår under tidsramen för analysen för den långsiktiga säkerheten samt cykler med upprepade laster.

2. *Aspekter i modellen för de initiala bergspänningarna i Forsmark*: Dessa aspekter relaterar till olika val SKB har gjort för framtagningen av modellen för de initiala bergspänningarna och deras motivering:
 - a. *Inverkan av deformationszoner, bergdomäns- och sprickdomänsgränser* på initiala bergspänningar bör ha en viss räckvidd där bergspänningarna inte enbart varierar med djupet utan även med avståndet från t.ex. deformationszonerna eller sprickdomänsgränserna. Därför bör en motivering om varför SKB utesluter variabilitet för bergspänningar för platsen förutom djupberoendet räknat från markytan redovisas (se även Technical Note SSM 2012:39 och SSM 2012:57). Problematiken med den



potentiella heterogeniteten hos bergspänningar i Forsmark har även tagits upp i samband med granskningen av SKB:s program för forskning, utveckling och demonstration (Fud) för 2010 (se Rapport SSM 2011:10). I Fud-granskningen har SSM påpekat behovet för modelleringsinsatser för att koppla samman bergspänningsmodeller på slutförvarsskala med storskaliga bergspänningsmodeller som tar hänsyn till regionala förkastningar, tektoniska krafter samt landhöjning efter glaciation. Kartläggningen av regionala strukturer som kan påverka spänningstillståndet i Forsmark är också en förutsättning för modelleringsinsatserna.

Huruvida det finns en koppling mellan avsaknande av variabiliteten i sidled i den valda bergspänningsmodellen och tillämpningen av konceptet för ”respektavstånd” från deformationszoner går ej att avgöra från informationen i ansökan.

- b. SKB bör tydligt *definiera för vilka bergvolymerna* den valda bergspänningsmodellen gäller. Detta för att kunna skilja mellan lokala variationer, som modellen ska innefatta, och övriga orsakerna till variationer (d.v.s. deformationszoner, bergdomäns- och sprickdomänsgränser), som modellen inte bör innefatta (se även Technical Note SSM 2012:39, SSM 2012:52 och SSM 2012:57). Expertgranskning av OECD/NEA (2012) har också påpekat att små-skaliga variationer av bergspänningskomponenterna samt orienteringar förväntas vara påtagliga i bergmassan i Forsmark.
- c. Motivering för valda *linjära trender* för variationen av bergspänningskomponenterna med djupet och *brytpunkterna* i dessa trender i Figur 4-15 i SR-Site (se även Technical Note SSM 2012:39) bör redovisas. T.ex. är det inte motiverat huruvida det ska finnas en brytpunkt för trenden för den största horisontella spänningen men inte för de andra komponenterna och för orienteringsvinklarna. Dessutom är det inte motiverat varför förekommande brytpunkter i bergspänningstrenderna ska förekomma på ett visst djup.
- d. Motivering för den antagna *”positiva korrelationen”* mellan bergspänningskomponenterna saknas i ansökansmaterialet. SKB har tagit fram variationsspannen för de olika bergspänningskomponenterna med utgångspunkt från ett medelvärde. I sin användning av bergspänningsmodellen



verkar SKB ha antagit att t.ex. det högsta möjliga värdet för den största huvudspänningskomponenten förekommer tillsammans med de högsta värdena för de mellersta och minsta huvudspänningskomponenterna. Detta medför att det högsta möjliga värdet för den största huvudspänningskomponenten inte ska kunna förekomma i kombination med de minsta möjliga värdena för de övriga bergspänningskomponenterna, vilket i många beräkningsfall kan vara mera ogynnsamt än vad som antagits av SKB.

3. *Kvalitetssäkring av indata, metodik och slutsatser:*

Kompletteringarna inom kvalitetssäkring av data för bergspänningsmodellering handlar om definitioner, representativitet, variabilitet och osäkerhet för data, samt om hur man verifierar eller minskar osäkerheten i bergspänningsmodellen.

 - a. Kravet på kvalitetssäkring av indata innebär att SKB bör redovisa *filtreringslogiken* av all bergspänningsdata (d.v.s. överborrningsmätningar, hydraulisk spräckningsmätningar, HTPF, membranspräckning, spaltning av borrhärlor och spjälkning av borrhålsväggar, m.fl.) för att komma fram till de data som utgör underlag för den valda modellen för de initiala bergspänningarna i Forsmark. Detta innebär en redovisning av valkriterier (d.v.s. kvalitetssäkringskriterier), detaljer för deras tillämpning på all bergspänningsdata tillgänglig från platsundersökningarna för slutförvaret samt tidigare bergspänningsundersökningar i Forsmark, och utfall för kvalitetssäkringen. Det är bara på detta sätt som spårbarheten kan verifieras av utomstående granskare (se även Technical Note SSM 2012:39).

Om tillgängligt bör även status för SKB:s studier om andra bergspänningsindikatorer bifogas till ansökan, som t.ex. den om spänningsinducerade mikrosprickor i borrhärlor (se Rapport SSM 2011:10) eller om termisk spjälkning i smala borrhål (Hakami, 2012).
 - b. Redovisning av *representativitet* för all bergspänningsdata som ingår i underlaget för framtagning av modellen för initiala bergspänningar i slutförvarets bergvolym. Granskarna har uppmärksammat på att den valda bergspänningsmodellen för Forsmark egentligen mest bygger på data från borrhål DBT1 och DBT2. Borrhålen borrades i samband med uppförande av kärnkraftverket i början av 80-talet (Ingevald och Strindell, 1981). Deras



placering ligger utanför målområdet för slutförvaret i Forsmark. Kvalitetssäkring av data är också svår på grund av brister i grundläggande informationen från den tiden. Detta leder till reservationer för representativiteten av data för vidare hantering i bergspänningsmodellen (se även Technical Note SSM 2012:39 och SSM 2012:51). Övriga data från t.ex. borrhål KFM01B kan lida av liknande problem i och med att borrhålet ligger i anslutning till deformationszoner och inte i en bergmassa som är representativ för målområdet där slutförvaret är tänkt att ligga (se även Technical Note SSM 2012:52).

- c. Redovisning av principerna för bestämning av *variabilitet* i modellen för initiala bergspänningar samt kvantifiering av variabilitet bör beskrivas. Denna fråga kopplar delvis till punkt 2.a, med avseende på inflytande av diskontinuiteter i bergmassan, och till punkt 2.b, med avseende på vilken bergvolym bergmodellen ska innefatta, men kopplar även till val av plats för verifierande bergspänningsmätningar som ska genomföras under uppförande- och driftfasen för slutförvarsanläggningen i Forsmark med syfte att detaljdefiniera layouten samt att reducera osäkerheterna. Definitionen av bergvolymen samt plats för mätningar påverkar den förväntade variabiliteten hos de uppmätta bergspänningsvärdena, vilket även underminerar tilltron för bergspänningsmodellen vid verifiering.

I Fud-programmet (SKB, 2010) framgår att SKB har planer på att undersöka bergspänningsfältet i Forsmark på större djup än 1 km. I Fud-programmet ingår dock inte planer för att verifiera eller minska osäkerheterna i modellen för de initiala bergspänningarna på grundare djup. Huruvida nya mätningar är möjliga på större djup än på slutförvarsdjup redovisas inte i heller Fud-programmet.

I analysen av den långsiktiga säkerheten för slutförvaret efter förslutning bör om möjligt bör *variabiliteten* för bergspänningsutvecklingen i Forsmark för tidsramen på en miljon år redovisas.

- d. Redovisning av hur *osäkerheterna* för alla bergspänningskomponenter samt orienteringsvinklar som tas fram inom den valda modellen för initiala bergspänningar bör tydligt beskrivas (se även Technical Note SSM 2012:53). I redovisningen har SKB inte åstadkommit



någon minskning av osäkerheterna som redan framkom i bergspänningsmodellerna som redovisas i Martin (2007) och Glamheden m.fl. (2007), samt Ask m.fl. (2007). SKB:s valda modell från Martin (2007) avviker från modellen som redovisas i Ask m.fl. (2007) gällande magnitud och orientering för bergspänningskomponenterna.

Det är inte tydligt för granskarna på vilken grund valet mellan modellerna i Martin (2007) och Ask m.fl. (2007) har gjorts och varför modellen från Martin (2007) är den som SKB valt redovisa i ansökan. Det är inte heller tydligt i ansökansmaterialet varför data som utgör underlag för de två modellerna inte är detsamma. Även i Fud-granskningsrapporten (SSM 2011:10) har dessa aspekter kommenterats. Dessutom föreslår SKB i SR-Site användningen av ytterligare en ”föreslagen maximum stress modell” som inte heller stämmer överens med de två tidigare modellerna. Detaljerad information om framtagning och motivering för ”föreslagen maximum stress modell” bör också redovisas.

Om möjligt bör en bedömning av *osäkerheterna* för bergspänningsutvecklingen i Forsmark för tidsramen på en miljon år göras i analysen av den långsiktiga säkerheten.

- e. Redogörelse bör ges för *kvaliteten i dataunderlaget* till den valda modellen för initiala bergspänningar i Forsmark i förhållande till ”state-of-the-art” för bergspänningsmätningar i kristallint berg i världen idag.

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

Ask D., Cornet F., Brunet C., Fontbonne F., 2007. Stress measurements with hydraulic methods in boreholes KFM07A, KFM07C, KFM08A, KFM09A and KFM09B. Forsmark site investigation, SKB P-07-206, 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).

Hakami E., 2012. Rock stress orientation measurements using induced thermal spalling in slim boreholes, SKB R-11-12, Svensk Kärnbränslehantering AB (på engelska).

Ingevald K., Strindell L., 1981. Mätning av bergspänningar (bergtryck) i djupa vertikala borrhål. Statens Vattenfallsverk, Rapport L-543:2.

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

OECD/NEA, 2012. The post-closure radiological safety case for a spent fuel repository in Sweden, An international peer review of the SKB license-application study of March 2011 (Final report), Radioactive Waste Management Committee, Nuclear Energy Agency (NEA), Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), June 12, 2012 (på engelska).

SKB, 2010. Fud-program 2010. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall, 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 (på engelska).

SSM 2011:10. Granskning och utvärdering av SKB:s redovisning av Fud-program 2010, Strålsäkerhetsmyndigheten 2012:10 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 2012:51. Min K.-B., Stephansson O., 2012. Rock Mechanics related to long-term repository and site evolution, Strålsäkerhetsmyndigheten 2012:51 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 2012:53. Saiang D, 2012. Review of Engineering Geology and Rock Engineering aspects of the operation and closure of a KBS-3 repository at the Forsmark site – Initial Review Phase, Strålsäkerhetsmyndigheten 2012:53 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).