



## Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall - kapselns mekaniska integritet

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 för kapselns mekaniska integritet:

SSM önskar att kompletteringarna eller en tidplan och strategi för dess framtagande är myndigheten tillhanda senast den 2012-10-31.

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

1. Konsekvenser på kapselns integritet vid skjuvning nära kapselns topp och botten.
2. Redovisning av hur det förenklade antagandet att insatsens stållock är en integrerad del av insatsen, påverkar den mekaniska responsen vid insatsens stållock.
3. Redovisning av hur hållfastheten för locket av stål i botten och toppen av insatsen påverkas av lastfallet skjuvdeformation i samband med jordbävning.
4. Redovisning av stöd för att kunna utnyttja de plastiska egenskaperna och brottegenskaperna i den utsträckning som nu görs för insatsen.



5. Redovisning av mekanistisk förståelse för hur fosfortillsatsen i koppar påverkar kopparkapselns krypduktilitet.
6. Ytterligare experimentellt underlag för att verifiera användande av 2 mm stabil spricktillväxt i segjärn som en brottmekanisk material-egenskap för skadetålighetsanalysen.
7. Verifiering av att brottsegheten för provstavar uttagna i radiell riktning motsvarar brottsegheten för provstavar uttagna i insatsens axiella riktning.
8. Redovisning av skadetålighetsanalys för PWR-insatsen inklusive en statistisk analys för variationen i materialdata (brottseghet, brottöjning).
9. Redovisning av inverkan av restspänningar efter gjutningen på skadetålighetsanalysen för BWR respektive PWR insatserna.
10. Inverkan av hydrostatiska tryck på segjärnets plastiska egenskaper och hur detta påverkar skadetåligheten.
11. Redovisning av sambandet mellan skjuvrörelsens storlek och antalet kapslar som går till brott i samband med jordskalv.
12. Inverkan av det kombinerade lastfallet böjspänning från ojämn svällning samt skjuvlast från jordbävning och hur det påverkar kapselns mekaniska integritet och acceptabla defektstorlekar.
13. Inverkan av beräkningsteknisk förenkling mellan insats och kanalsrör på skadetålighetsanalysen.
14. Analyser hur tillverkningstoleransen för avståndet mellan kanalsrören och insatsens ytteryta (H) påverkar kapselns mekaniska integritet.
15. Inverkan av olikformig fördelning av gapet mellan insats och kapsel.
16. Inverkan av långa och ojämna återmättnadstider för bufferten på kapselns spänningstillstånd.
17. Ytterligare redovisning av inverkan av skjuvspänningar som verkar på kapseln vid gradienter av buffertens densitet.

## Skälen för begäran om komplettering

### *Kapselns mekaniska integritet*

- SSM anser att SKB bör analysera konsekvenser av 5 cm horisontell skjuvning av kapseln vid ett jordbävningslastfall nära kapselns botten och topp. För dessa områden kan inte den gjutna insatsens lastbärande förmåga anses likvärdig som då horisontell skjuvning sker mitt på kapseln.
- Vid analysen av skjuvlastfallet har SKB beroende på konvergensproblem vid FEM beräkningen antagit att insatsens stållock är en integrerad del av insatsen. SKB bör av denna anledning redovisa hur denna förenkling kan påverka den mekaniska responsen vid locket lokalt. I denna analys bör även inverkan av materialdata för stållocket, geometri för ventil för införande av inert atmosfär till insatsen och packningsmaterial analyseras.



- Locket av stål i botten och toppen av insatsen har inte analyserats för lastfallet skjuvdeformation på grund av jordbävning vilket bör göras av SKB.
- Brottvillkoret för plastisk kollaps respektive spricktillväxt som används i /TR-10-28/ med brotttöjningen dividerad med en säkerhetsfaktor  $SF = 2$  samt brottsegheten vid 2 mm stabil spricktillväxt dividerat med  $SF = 2$ , innebär att det gjutna segjärnets plastiska egenskaper och brottegenskaper utnyttjas i en utsträckning som inte är jämförbar med andra industriella tillämpningsområden av segjärn. SSM anser att SKB bör presentera mer stöd för att kunna utnyttja de plastiska egenskaperna och brottegenskaperna i så hög grad som nu görs för insatsen.
- Kopparhöljets töjning till brott under krypbelastning specificeras i /TR-10-14/ av SKB till att vara  $>15\%$ . Att kopparmaterialet uppfyller detta krav hänvisar SKB till ett stort antal utförda krypprov /TR-09-32/. Enligt SKB upprätthålls krypduktiliteten genom en tillsats av fosfor mellan 30-100 ppm. Mekanismen för att tillsatts av fosfor ger tillräcklig hög krypduktilitet har beskrivits i /TR-07-02/. Denna mekanism har baserat på experimentella resultat starkt ifrågasatts av /Pettersson, 2010/. Baserat på att SKB:s resultat från utförd krypprovning byggs upp från krypprover som pågår i storleksordning år och att dessa resultat extrapoleras till att förutsäga kryptöjningar efter tusentals år, anser SSM att SKB bör redovisa en trovärdig mekanism för fosfors inverkan på kryptöjningen i syrefri koppar.
- Eftersom att SKB använder sig av brottseghetsdata vid 2 mm stabil spricktillväxt men endast redovisat experimentellt underlag upp till 1.6 mm bör SKB komplettera med experimentellt underlag där brottsegheten bestämts upp till 2 mm stabil tillväxt.
- SKB behöver visa att brottseghet för provstavar uttagna radiell riktning motsvarar brottseghet för provstavar uttagna i insatsens axiella riktning. I underlaget saknas data för provstavar uttagna axiellt.
- Analysen av kapselns strukturella integritet bygger huvudsakligen på materialdata från den uppgjutna BWR insatsen. SKB behöver av denna anledning även utföra och presentera en statistisk analys för variationen i materialdata (brottseghet, brotttöjning) för PWR insatsen. Dessutom bör skadetålighetsanalysen för skjuvlastfallet även kompletteras att innehålla PWR insatsen.
- Skadetålighetsanalysen för BWR och PWR insatserna bör innehålla en analys hur restspänningar från tillverkningen av insatserna påverkar skadetålighetsanalysen för olika lastfall. De hittills uppmätta restspänningarna vid ytan av insatsen påvisade relativt höga kompressiva restspänningar. Dessa kan längre in i insatsen kompenseras av stora restspänningar av dragkaraktär. Visar det sig



genom analyser med simulerade restspänningar att dessa har stor påverkan på skadetålighetsanalysen bedöms att mer arbete behöver göras för att experimentellt karakterisera restspänningar i insatserna i radiell och axiell led med exempelvis djuphålsborrning (DHD) som är en teknik som har goda förutsättningar att mäta restspänningar även djupare in i tjocka material.

- SKB:s analys av skjuvlastfallet i kombination med en hög hydrostatisk last (orsakad av ett tjockt täcke av inlandsis) visar att detta kombinerade lastfall inte är värre en skjuvlast utan hydrostatisk islast. SSM anser emellertid att höga hydrostatiska tryck kan påverka materialets plastiska egenskaper och bedömer därför att SKB behöver redovisa inverkan av treaxlighet på det använda segjärnets plastiska egenskaper och hur detta påverkar skadetåligheten.
- SKB har utfört en deterministisk skadetålighetsanalys med avseende på acceptabla defekter i insatserna för en maximalt 5 cm stor skjuvrörelse i samband med jordbävning. SSM anser att SKB till den deterministiska skadetålighetsanalysen behöver utföra en känslighetsanalys där sambandet bestäms mellan olika antagna skjuvrörelser och tillhörande antal kapslar som går till brott med olika acceptabla storlekar på defekter i insatsen.
- SKB bör analysera lastfall med kombinerad böjspänning orsakad av ojämn svällning av bentoniten och skjuvlast från jordbävning. Detta lastfall omnämns i /TR-10-28/ men finns inte analyserat i ansökansunderlaget. SSM anser att SKB behöver analysera detta kombinerade lastfall med avseende på kapselns strukturella integritet och betydelsen för acceptabla defektstorlekar i insatsen.
- SKB har vid finita element beräkningar av kapselns strukturella integritet inte använt sig av kontaktelement mellan kanalrören av stål och den gjutna insatsen utan har istället modellerat dessa som integrerade i ett stycke. SKB bör redovisa hur stor inverkan detta antagande har på kapselns strukturella integritet och för de acceptabla defektstorlekarna i insatsen.
- Toleransen för det minsta avståndet mellan kanalrören och insatsens ytteryta (H) redovisas i /TR-10-14/ till att vara  $\pm 10$  mm. Det nominella värdet på H anges för BWR och PWR insatsen till 33.3 mm respektive 37.3 mm. Eftersom SKB redovisat i /R-10-11/ att området med minst godstjocklek utanför kanalrören är känsligt för defekter vid skjuvbelastning, bör SKB utföra ytterligare analyser hur tillverkningstoleransen för avståndet (H) påverkar kapselns integritet dels avseende på plastisk kollaps och dels avseende acceptabel defektstorlek för de två insatserna.
- Det maximala axiella gap som kan förväntas mellan insatsen och kapsel är cirka 4.8 mm enligt SKBdoc1333256. En spänningsberäkning för detta fall finns redovisat i /TR-09-32 kap.



11.2/. Denna beräkning bygger på antagandet att bentoniten sväller likformigt vid kapseln botten och topp. SSM anser att SKB bör presentera orsaken till att hela denna axiella förskjutning enbart kan vara lokaliserat mot kapselns lock, dvs. att bufferten återmätts olika fort i toppen och botten. SKB bör även analysera fallet då hela gapet är lokaliserat till kapselns topp.

- I spänningsanalysen av kapsel antas att kapselns övre del fylls buffertmaterial och att ett svälltryck skapas lika fort i detta område som i buffertmaterialet vid kapseln sidor. SKB bör motivera vad som ligger bakom detta antagande. Dessutom anser SSM att en kompletterande analys bör utföras med ett svälltryck från buffertmaterialet vid kapselns sidor men utan att ett svälltryck utbildas som mottryck vid kapselns övre fläns.
- Gradienter i vertikalled av buffertens densitet kan resultera i skjuvspänningar som verkar på kopparhöljet samt dragspänningar i insats och kopparhölje. Ett sådant lastfall är analyserat i /TR-09-32, kap. 11.4/ där slutsatsen dras att det är ingen risk att kapseln skadas. Baserat på den knapphändiga information som ges i /TR-09-32/, är det inte möjligt att granska analysen för detta lastfall. Fler grafer som visar resultat för spänningar och töjningar är önskvärt. Det är dessutom oklart hur friktionen mellan kopparhöljet och insatsen samt mellan bentonit och kopparhöljet har beaktats.

De kompletteringar som begärs handlar samtliga om processer som kan påverka kapselns funktion efter förslutning i enlighet med 5 § SSMFS 2008:21.

Denna begäran om komplettering har beretts i tillståndsprovningens projektets SIR grupp (Safety Integration Review team) och föredragits av Björn Brickstad.

*Ansi Gerhardsson*  
Projektledare

*Björn Brickstad*  
Handläggare

### **Referenser**

Pettersson, K., 2010, A study of grain boundary sliding in copper with and without an addition of phosphorus, Journal of Nuclear Materials, Volume 405, Issue 2, Pages 131-137.