



## Avstämningsmöte mellan SSM och SKB avseende kapselns mekaniska integritet, tillverkningsaspekter och kryp-relaterade frågor

**Tid och plats:**  
2014-06-25, SSM

### Deltagande:

#### SKB

Jan Sarnet  
Jan Eckerlid  
Håkan Rydén  
Ulf Ronneteg  
Mikael Jonsson  
Christina Lilja  
Helene Åhsberg

#### SSM

Michael Egan  
Jan Linder  
Björn Brickstad  
Peter Ekström  
Clara Anghel

### Syfte

Syftet med detta uppföljningsmöte var att SSM skulle få möjlighet att ställa klargörande frågor på kompletteringar som skickats in av SKB samt att förstå hur de nya resultaten som har kommit fram påverkar säkerhetsanalysen.

### Agenda

- a. Introduktion
- b. Kapselns mekaniska integritet
- c. Tillverkningsaspekter
- d. Krypprovning och modellering

### Introduktion

SKB föreslår att en del av svaret på ”nya frågor avseende kryp” som rapporteras i protokollet från mötet den 25 april (SSM2011-1137-61, s.3) bör förtydligas enligt följande:

- *Extrapolering av krypdata är osäkert till långa kryptider ( $10^3$ - $10^4$  år), kan extrapoleringen av krypdata förbättras på något sätt?*



SKB svarade att extrapolering av kryptdata kan göras 3-4 ggr men vid extrema fall med en faktor 10. Extrapolering till långa tider kan genomföras då extrapolering grundas på en fundamental modell utan anpassningsparametrar. SSM håller med SKB i detta synsätt men poängterar att SKB:s nuvarande fundamentala modell innehåller en empirisk anpassningsparameter med avseende på inverkan av fosfor.

## Kapselns mekaniska integritet<sup>1</sup>

### Fråga 4 angående relaxering av materialkrav för kapseln & Fråga 8 angående undre gränsvärden kontra medelvärden

- SSM anser att det fortfarande finns oklarheter om hur SKB avser att med ett fåtal prov vid tillverkningen av insatserna visa att man i hela insatsen uppfyller de minimumkrav på brottöjning (7 %) och brottseghet som finns. SSM har därför efterfrågat en statistisk analys där man kopplar utfallet av ett antal prov (vid tillverkningen) med vilken konfidensgrad man kan uttala sig om att den efterfrågade storheten överstiger ett visst minimumvärde. SSM anser även att resultat från gjutsimulering (SKBdoc 1414760) redovisar skillnader i stelningstid mellan olika delar av insatsen (BWR och PWR) vilket måste beaktas vid denna analys. Det finns väletablerade statistiska metoder som kopplar antal prov, utfall av provningsresultat och konfidensgrad.

SKB presenterade en inledande statistisk analys av befintliga data från prövning av förlängningsvärde från den demonstrationsserie om fem BWR insatser som tillverkades år 2007 (se bilagan). De slutsatser som SKB redovisade kan sammanfattas enligt följande:

Den tillverkningsprocess som tillämpades vid framställning av BWR insatser 2007 kan statistisk visas uppfylla kraven avseende brottförlängning i mitt och bottensektion. Processens duglighetsindex i dessa områden är högt ( $C_p = 1,91$ )<sup>2</sup>. Däremot uppfyller processen i toppdelen, beräknad med erhållna värden för toppskivan, inte kraven. Brottförlängningen har visats ha en stark koppling till slaggförekomst i materialet (SKBdoc 1417759) och de försämrade förlängningsvärdena kopplar till ökad slaggförekomst i toppdelen. SKB analyserar fenomenet ytterligare med syftet att förbättra processen.

Statistiska undersökningar av processduglighet kräver mycket data och kan endast göras som ett led i processkvalificeringen. För att följa upp tillverkningsprocessen avser SKB att tillämpa statistisk processstyrning. I det aktuella fallet är förlängningsvärden baserad på provuttag i toppskivan. För närvarande tas sex prov som ur gjutteknisk synvinkel anses ge en bra bild av toppskivans egenskaper. Som nämnts ovan måste gjutprocessen förbättras i toppdelen och ytterligare statistiska analyser behövs för den förbättrade processen för att ta fram statistiska acceptanskriterier för provuttagets resultat.

Inför PSAR kommer SKB att presentera nya analyser av produktionsutfall och antal provstavar för att säkerställa tillverkningskraven.

SSM vidhåller att underlaget är viktigt för myndighetens bedömning om huruvida SKB har gjort troligt i det nuvarande prövningssteget att tillverkningskrav är tillämpbara och att det finns tillräckliga bevis för att de kommer att uppfyllas. Berörda frågor omfattar en beskrivning av hur SKB kan säkerställa material-data från ett fåtal prov samt hur man

<sup>1</sup> Frågor som nämns under varje del av mötet avser (om inte annat anges) de som togs upp av SSM vid tidigare avstämningsmöten den 11 mars (SSM2011-1137-58) och 29 april (SSM2011-1137-61).

<sup>2</sup> Indexet för processdugligheten är ett mått som visar hur bra processen producerar i förhållande till (i detta fall) toleransgränsen för brottförlängning. I en vanlig industriell process ska  $C_p$  helst ha ett värde som är högre än 1,33.



tänker utnyttja kunskapen från gjutningsprocessen (t.ex. kopplingen mellan processparametrar och fördelningen av materialegenskaper över hela insatsen).

Kravbilden för BWR- och PWR-insatserna Det som anges i tabell 5 i svaret på den ursprungliga kompletteringsbegäran (SKBdoc 1371851) diskuterades. SSM framhöll att det är oklart hur det ska säkerställas att tillverkningskraven kan uppfyllas vid kvalitetskontrollen av en enskild insats. Bland annat saknas motivering till valet av antalet provstavar och SSM påpekade att det krävs mer motivering till hur ett provuttag i toppen på en insats kan anses representera insatsen i sin helhet. Utfallet från tillverkningen av PWR-insatserna IP23-IP25 enligt rapport (SKBdoc 1414800) diskuterades även.

SKB kommer att se över om eventuella förtydligande kan göras och kommer då att ta med det i kommande uppdatering av designanalysen inför PSAR.

- SKB meddelade att svaret på SSM:s begäran om förtydligande information angående spänningsfördelningar i kapseln under vissa belastningsfall (SSM 2011-2426-173) nästan är klart. Resultat ska lämnas senast i juni 2014 men en del kan vara klar ganska snart, under maj.

De utlovade förtydliganden (SKBdoc 1441889) levererades av SKB tillsammans med andra kompletteringar några dagar efter mötet.

- SKB avser att genomföra kompletterande analyser av spänningstillståndet för kapseln i två skjuvriktningar ihop med undersökning av minskat kantavstånd på grund av toleranser vid tillverkningen. Detta beräknas vara klart under juni 2014. Därefter planeras att genomföra en förnyad analys av acceptabla defektstorlekar i olika delar av kapselns tvärsnitt och i olika vinklar i förhållande till kapselns symmetriaxel. Preliminärt beräknas dessa analyser vara klara under oktober 2014.

SKB (Mikael Jonsson) presenterade en lägesrapport om statusen av den förfinade FE-modellen för BWR-insatsen jämfört med den tidigare redovisade modellen (SKBdoc 1415152). Ett utkast till modellrapporten finns och det planeras nu för värdering av inverkan på skadetåligheten.

- SKB återkommer med tidplan angående SSM:s begäran kring inverkan av koppartjocklek på kapselns designanalys (SSM2011-2426-172). SKB planerar att ta fram en känslighetsanalys för olika tjocklekar på kopparhöljet när skjuvbelastning inträffar.

SKB bekräftar att analysen ska göras men förseningar har uppkommit avseende konsultupphandling. SSM vill gärna få en tidsplan för kompletteringen snart.

- SKB informerade om att materialkraven vid tillverkningen ska inkludera grafitens form och maximal perlithalt för insatsen (såsom finns beskrivna i SKBdoc 1436245). SSM framförde att även krav på karbider i mikrostrukturen bör införas. SSM anser att SKB bör redovisa anledningen till de mikrostrukturkrav som nu fastställts, dvs. underlag som visar att segjärn enligt SKB:s materialkrav uppfyller krav på duktilitet och brottseghet.

SKB anser att det inte är rimligt att låsa detta krav innan alla parametrar har färdigställts. Vissa krav är fastställda men ett genomarbetat krav är beroende på process-relaterade frågor som är under fastställning/optimering fortfarande. SSM menar att frågan handlar om eventuella motsägelser mellan uppgifter angående kravbilden som beskrivs i designrapporten (TR-10-14) och de som redovisades i senare kompletteringar (t.ex.



SKBdoc 1436245). Myndigheten kommer att grunda sin bedömning på det underlag som hittills har levererats. Om SKB vill påverka SSM:s uppfattning av en samlad kravbild finns det möjlighet att göra en samlad redovisning över material- och tillverkningskraven, men tiden är kort och ingen vidare komplettering på denna fråga kommer att begäras.

#### **Ny fråga (från den 25 juni):**

En skadetålighetsanalys för stållocket, både för isostatisk last och för skjuvlast, behövs för att kunna prova stållocket med avseende på defekter med OFP. SSM kommer att skicka en kompletteringsbegäran på detta i augusti och det förväntas att SKB ska utreda frågan under hösten.

### **Tillverkningsaspekter**

#### **Koppardetaljer**

- SSM efterfrågade en beskrivning av hur tillsats av fosfor görs, i skänk eller vid avgjutning?

SKB är medveten om att frågan om hur homogeniteten av kopparn ska säkerställas påverkar vilket förtroende som kan tilldelas till materialets krypduktilitet. Leverantören vill behålla sin äganderättsinformation, och SKB kommer därför att hantera denna fråga i samband med utveckling av kvalificeringskrav och process.

#### **Friktionssvets**

- SSM efterfrågade ett förtydligande kring hur riskbidraget blir påverkat om sammanhängande oxidpartiklar i svetsgodset förekommer. Frågan härrör från SKB:s beslut att införa skyddsgas för friktionssvets i kapselns referensutformning.

SKB informerade om att ett nytt projekt som avser en uppgradering till konstruktionen av gas-skydd är på gång vid kapsellaboratoriet i Oskarshamn. SSM vidhåller att SKB behöver förklara vilka krav på acceptanskriterium som finns för syrehalten under svetsning samt hur detta påverkar oxiduppbyggnaden i svetsområdet. Myndigheten konstaterar att den ursprungliga frågan återstår att besvaras och begär ett förslag till svarsdatum från SKB.

### **Krypprovning och modellering**

Det noteras att SKB har skickat Schiavons examensarbete om en metallografisk undersökning av FSW-svetsad OFP-koppar vilket nämndes vid det senaste avstämningsmötet (SSM2011-1137-61). SKB (Håkan Rydén) presenterade ytterligare information rörande frågor som ställdes av SSM vid mötet den 25 april angående SKB:s bedömning av kryptöjning (SKBdoc 1399768).

- Figur 10-2 anger kryptöjning (CEEQ (equivalent creep strain)). SSM undrar om detta motsvarar SKB:s töjningsmått på kravställd krypbrottöjning som härrör från enaxliga prov? Varför anges inte huvudtöjningar istället i beräkningsrapporten?

SKB anger att den största CEEQ som anges i figur 10-2 är plastisk töjning och inte kryptöjning. SSM efterfrågar ytterligare underlag som förtydligar SKB:s ställningstagande. SKB accepterar att figur 10-2 ska förtydligas och omarbetas, dessutom kommer huvudtöjningar att tas fram och redovisas för SSM (i samband med uppdatering av SKBdoc 1399768 – se nedan).

- Enligt figur 10-2 visar beräkningsresultatet höga kryptöjningar vilka överstiger föreskriven krypduktilitet för OFP-Cu (>15%). Hur påverkar detta kopparmaterialets



integritet? Kommer krypsprickor att bildas i materialet och hur utvecklas dessa över tid?

SSM önskar att SKB redovisar huvudtöjningarna samt ger vägledning hur resultaten (SKBdoc 1399768, figur 10-2) ska tolkas, till exempel: Hur separeras kryptöjningar och plastisk deformation, varför är inte den totala töjningen dimensionerande? Vilka dimensionskriterier ska appliceras för resultaten? Kommer krypsprickor att bildas och hur utvecklas dessa över tid? SKB återkommer med en tidsplan för uppdatering av SKBdoc 1399768 (ev. kompletterande rapport) men arbetet kommer inte att vara klart före september 2014.

- SKB bör ytterligare förklara varför Kjell Petterssons resultat (ref 37 i SKBdoc 1417069) inte gäller vid längre kryptider. Sandström hänvisar till Considères kriterium vad gäller skillnader i brottöjning vid olika temperaturer. Kjell Pettersson påvisade även skillnader i duktilitet vid olika töjningshastigheter samt erhöll interkristallina brottytor, hur kan detta förklaras?

SKB uttryckte att för att förstå mekanismerna skulle det vara intressant att fortsätta Kjell Petterssons experiment som inte stämmer med SKB:s modell angående effekten av fosfor i OFP-koppar (Pettersson observerar inte någon effekt av korngräns glidning på grund av fosfor enligt SKB:s modell; grunder för skillnaden mellan OF- och OFP-koppar syns inte experimentellt). SSM meddelade att Kjell Pettersson har nya data/modellberäkningar på väg dock inga experiment.

Detta är inte en ny fråga, det hanteras inom kompletteringsbegäran som SKB har fått och betraktas som en grundläggande frågeställning för att förstå fosfors effekt på duktilitet under tiden samt olika förhållanden. SSM anser att det är viktigt att förstå mekanismerna som gäller och att säkerställa, så långt det är möjligt, att det inte finns andra mekanismer som blir dominerande vid långtidsexponering.

SKB anger att en del resultaten från de försök som nu är på gång ska rapporteras i höst. Med hänsyn till dessa resultat kommer SKB sen att planera för vad som ska göras inom ramen för det pågående forskningsprogrammet. SKB återkommer med förslag till eventuella sätt att besvara SSM:s kvarstående frågor.

### **Kvarstående frågor kopplade till kompletterande information**

Baserad på diskussionerna sammanfattas nedan SSM:s kvarstående kompletteringsfrågor som behöver bevakas under hösten. För de frågor där inget specifikt datum föreslogs under avstämningsmötet önskar SSM att få en tidsplan så snart som möjligt.

1. SKB kommer att se över om eventuella förtydligande kan göras med hänsyn till SSM:s bekymmer kring oklarheter i hur statistiska data används för att kontrollera kvalitet hos insatsen samt dess konsekvenser för den kommande uppdateringen av designanalysen.
2. Kompletterande analyser av acceptabla defektstorlekar i olika delar av kapselns tvärsnitt och i olika vinklar i förhållande till kapselns symmetriaxel beräknas vara klara under oktober 2014.
3. SKB återkommer med tidplan angående SSM:s begäran kring inverkan av koppertjocklek på kapselns designanalys (SSM2011-2426-172).



4. Om SKB vill påverka SSM:s uppfattning av en samlad kravbild avseende kapselns mekaniska integritet finns det möjlighet att göra en reviderad samlad redovisning, men ingen vidare formell komplettering på denna fråga kommer att begäras.
5. SSM kommer att skicka en kompletteringsbegäran avseende skadetålighetsanalys för stållocket i augusti och det förväntas att SKB ska utreda frågan under hösten.
6. SSM önskar att SKB förklarar vilka krav på acceptanskriterium finns för syrehalten under svetsning samt hur detta påverkar oxid-uppbyggnaden i svetsområdet.
7. SSM önskar att SKB redovisar huvudtöjningarna samt ger vägledning hur resultaten från krypförsök ska tolkas.
8. SKB återkommer med förslag till eventuella sätt att besvara SSM:s kvarstående frågor kring mekanismer som avgör fosfors effekt på duktilitet.

SSM påminner även SKB om ett par kvarstående frågor rörande degraderingsprocesser som inte hade inkluderats i dagordningen men togs upp vid ett tidigare avstämningsmöte (SSM2011-1137-61).

9. SSM anser att SKB bör bevisa att gropen från MiniCan-försöket (vilka framgår i figur 3-11 i SKB R-13-35) verkligen är en tillverkningsdefekt som uppkommit då U-böjproven 2 tillverkats. Vidare rekommenderar myndigheten att sprickorna i WOL1 och WOL2 prover bör brytas upp och brottyorna analyseras. SKB anger att de har varit i kontakt med AMEC (f.d. Serco) angående detta men inte beställt några ytterligare undersökningar i enlighet med SSM:s önskemål. SSM vidhåller vikten att dessa prov analyseras med avseende på gropens morfologi samt sprickyornas utseende för WOL proven.
10. SSM vill gärna veta när SKB rapporten R-13-50 (rörande bestrålning av gjutna segjärn) kommer att publiceras.



## Bilaga: SKB Presentation



### Kapselmöte med SSM

2014-06-25

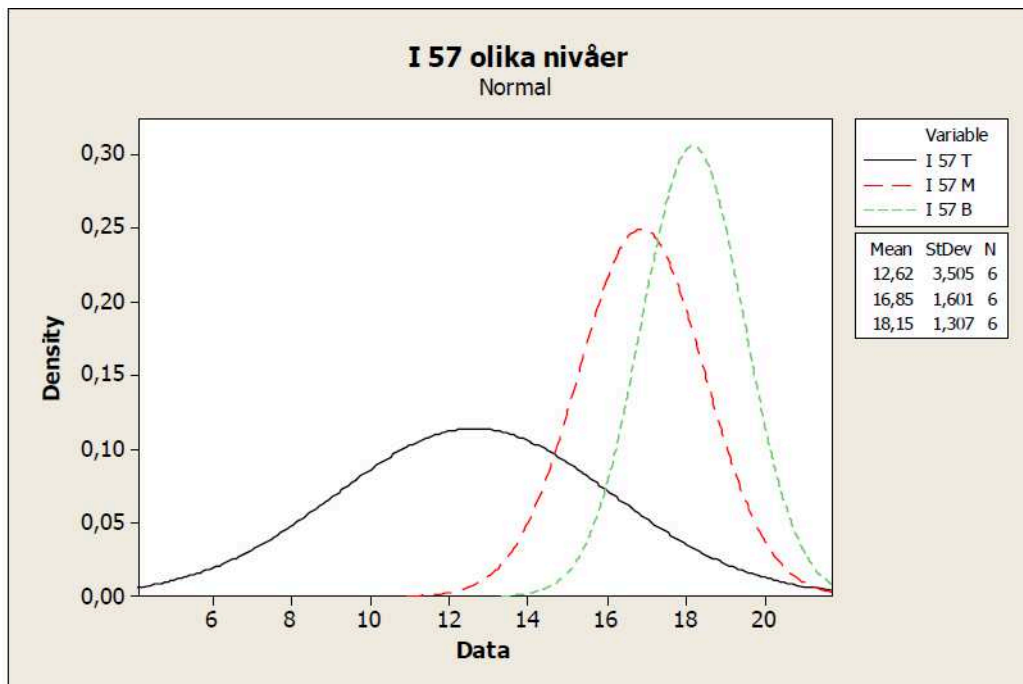


Säkerställande av förlängningsvärden BWR  
insatser



## Bakgrund till BWR serien

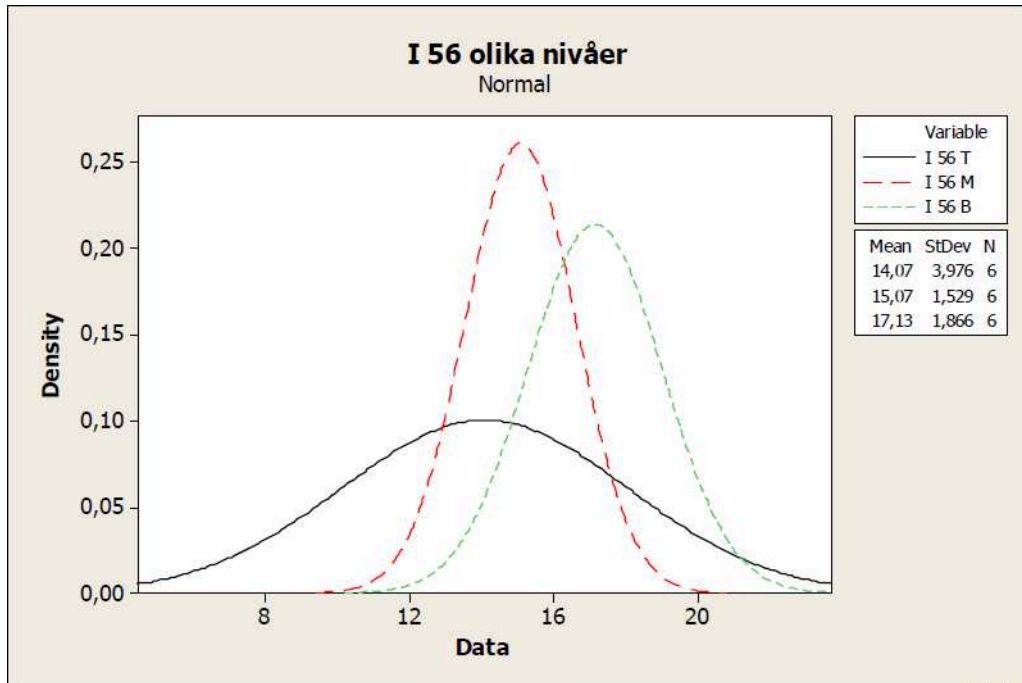
- Demonstrationsserie som förgicks av en prekvalificering av tillverkningsprocessen vid dåvarande Metsos gjuteri 2007. Skedde SKB:s regi.
- Utvärdering av resultat i olika steg
- 2008, struktur, mekaniska parametrar
- 2013, fraktografi och defektmodell
- 2014 statistisk utvärdering



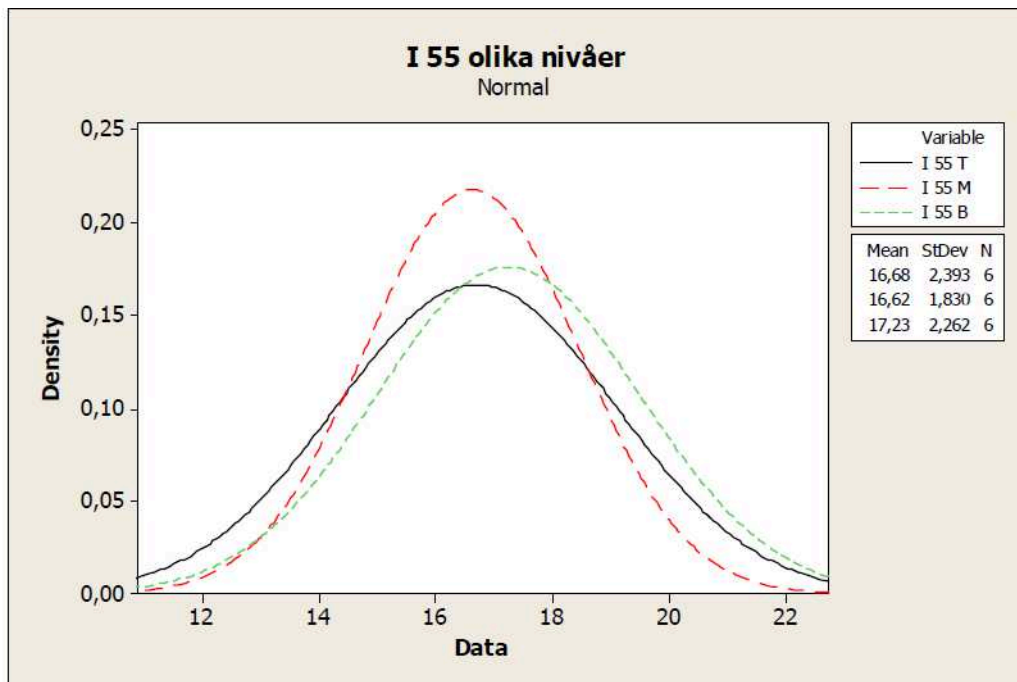
Brottöjning





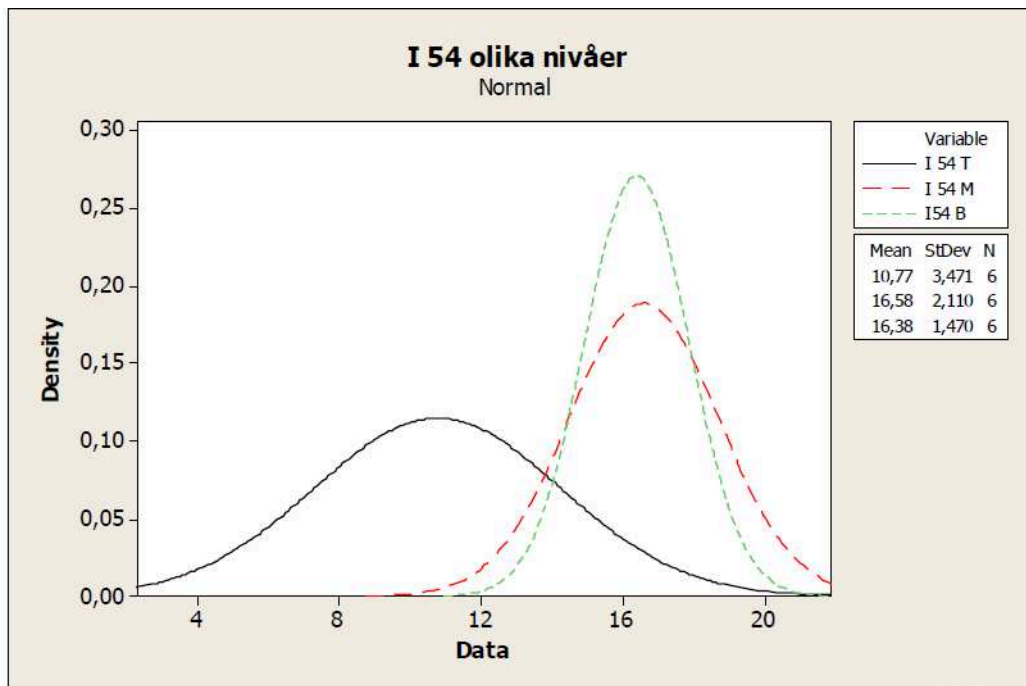
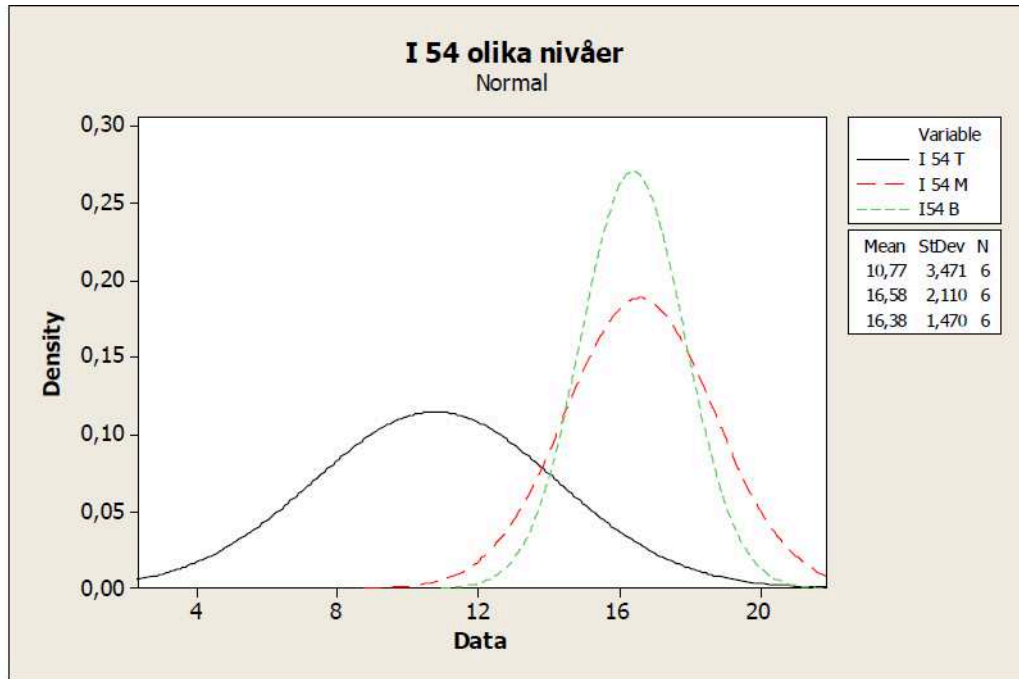


Brottöjning



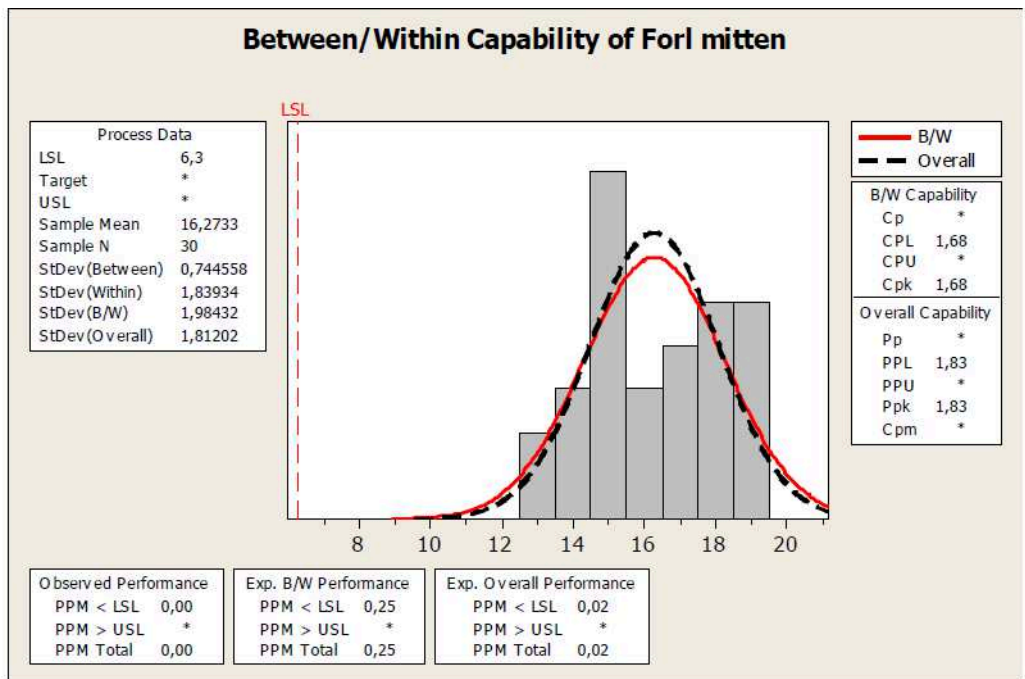
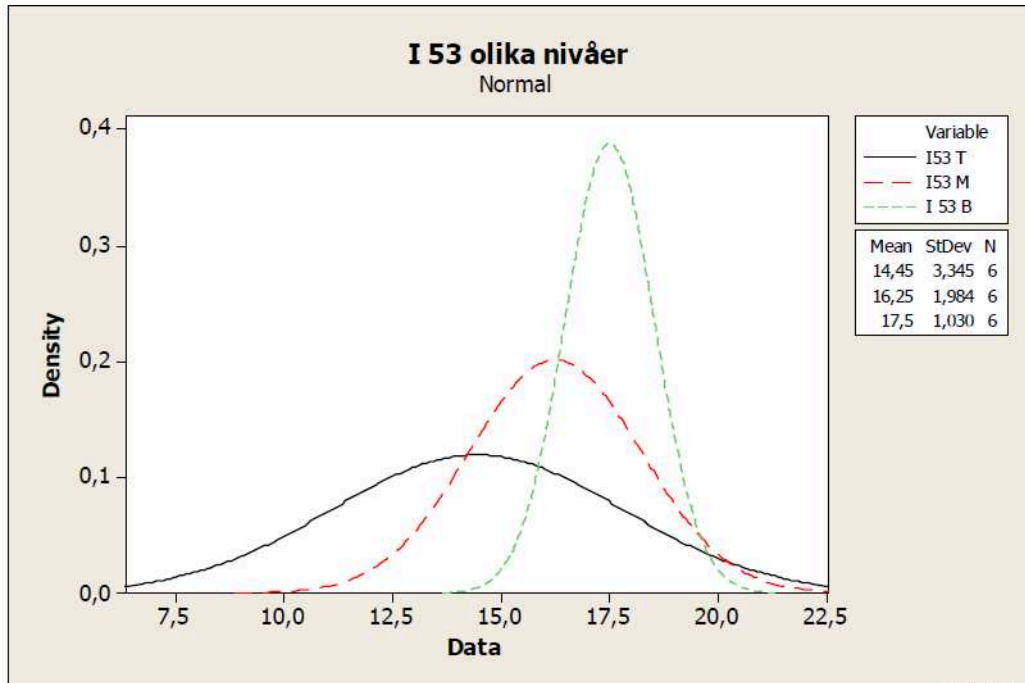
Brottöjning

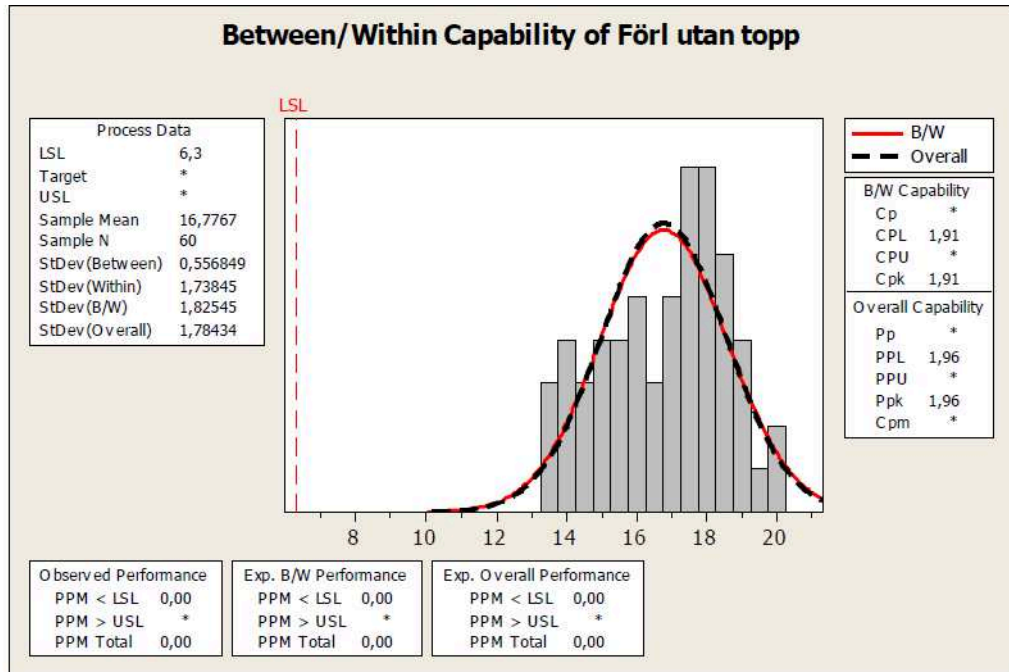




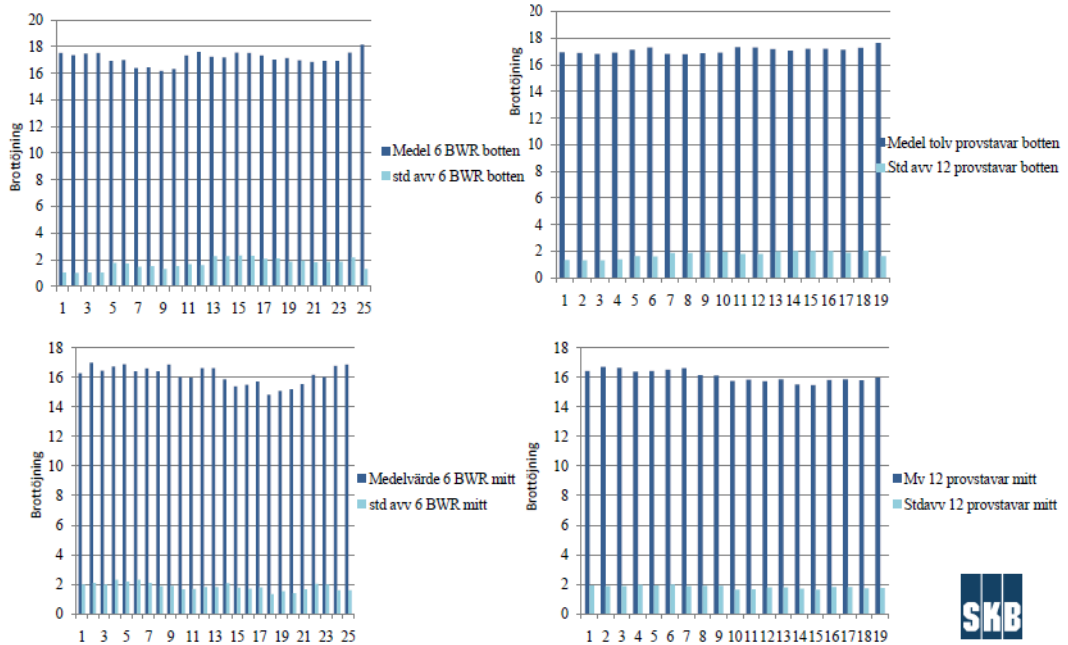
Brottöjning







### Simulering av variation i förlängningsresultat vid olika antal provstavar.





## Sammanfattning

- Insatserna ur demoserien BWR uppfyller statistiska krav avseende prestanda för förlängningsvärden med undantag av toppskivan som uppvisar för stor spridning. (Toppskivan tas dock ur götet ovanför den egentliga insatsen)
- Ur statistisk synpunkt visar simulering att där 6 provstavar tas ut erhålles ett lägsta medelvärde på 16,4 och en högsta standardavvikelse på 2,3 för botten data och  $\mu = 14,8$  respektive  $\sigma = 2,3$  för mittdata. Fler provstavar ger något mindre variation per provstavsomgång.
- De statistiska kriterierna för uttagna provstavarna i produktion fastställs lämpligen utgående för den då aktuella processen prestanda.

### Orsaker till toppskivans avvikelse

- Ansamling av slagger i toppskivan som kopplar till försämrade förlängningsvärden.
- Vi undersöker nu utbredningen i axiell ledd av det försämrade området
- Det finns flera sätt att komma åt problemet, tillämpa den optimerade processen som tagits fram för PWR, öka götets längd, optimera processen ytterligare m.a.p. minimering av slagg.

### Säkerställande av en insats egenskaper baseras på

- a) Att gjutprocessen (processparametrar [pp] och gjutsystem) visas ge rätt egenskaper och spridning. Baseras på utvärdering av ett antal insatser (kvalificering av processen)
- b) Att processen vidmakthålls i produktion säkerställs med processbeskrivning och pp toleranser
- c) Uppföljning per insats (mikrostrukturprover och mekanisk provning av toppskivan).
- d) Verifiering av varje insats OFP.



Kryptöjning , skbdoc 1399768

T



## TR-10-28, kryp i koppar

### Haveri kriterier

- Krypförlängning >30% 75-175 C
- Krypsprickor, lokala kryptöjningar <30%, ej observerade sprickor
- För brott krävs spänning > brottsp/1,2

### Analys resultat

- Isostatastfallet, maxkryp i botten- och topphörnen 12%
- Vertikala fogen, plastisk töjning i spetsen (kompression) 30%
- FEM simulering av isostatlast , se TR-10-34



## TR-10-34 Glaciallast 45 MPa

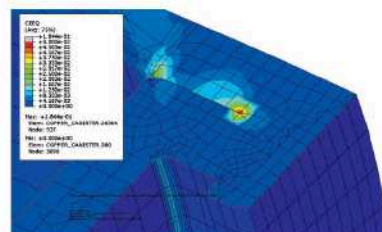
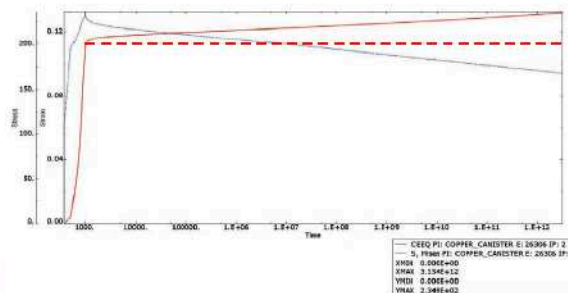


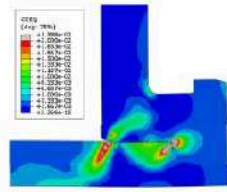
Figure 9-15. Detailed plot of equivalent creep strain (CEEQ) for the copper shell.

Max töjning CEEQ 13%  
Initial plastisk del 11%, kryp  
3 %

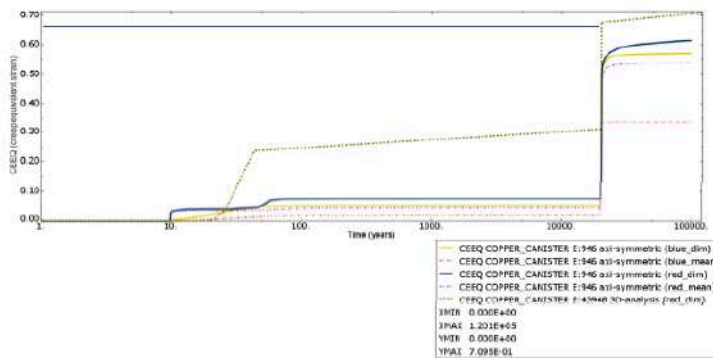




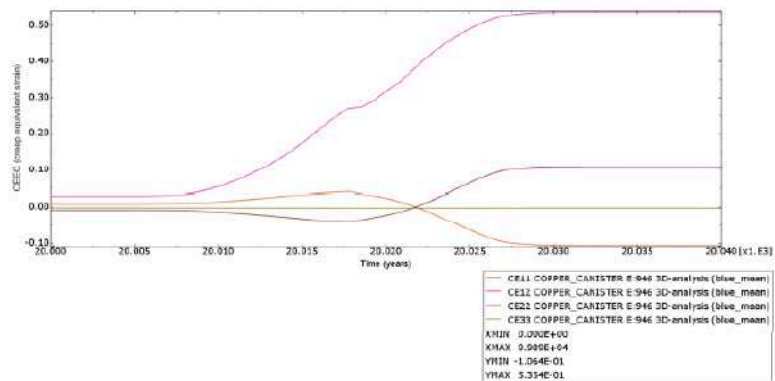
## SKBdoc 1399768, rotdefekt 3 mm Tryck 60 MPa



Max töjning CEEQ typisk < 53 % Initial plastisk del 50%, 3% kryp



## Plastisk töjning, olika riktningar



## Hydrostatiskt tryck (slutfasen)

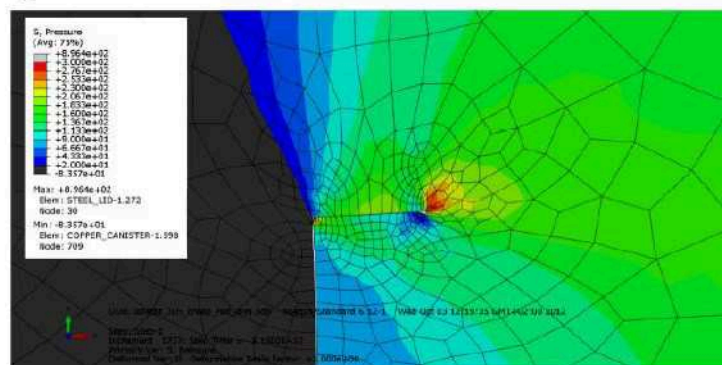


Figure 10-6. Plot of hydrostatic pressure close to the weld for the copper shell at the end of the process.



## Svar på SSM:s frågor

- SKB ser ingen risk för krysprickor, i allt väsentligt plastiska töjning och endast 3-4 % kryp
- Plastiska töjningar på 30% i rotspetsen, rapporterades i TR-10-28, vid 60 MPa 50%
- Kravet på 16 % krypduktilitet vid enaxligt dragprov är inte i konflikt med resultaten
- SKB tar gärna fram huvudtöjningarna, dock inte före slutet av augusti. Pågående körningar för annan komplettering prioriteras





## Kapselns mekaniska integritet

> "Angående nya spänningsanalyser för skjuvlastfallet i SKBdoc 1415152 ver 1.0"

- Status  
BWR-modell – detaljerad geometri
  - Modell och analys klar med symmetrisk modell (excentrisk pga tillverkningstoleranser), klar – gått till 10 cm.
  - Modell och analys med centriskt och roterade kassetter (inga tillverkningstoleranser), klar – gått till 9 cm.
  - Modell med excentriskt och roterade (tillverkningstoleranser) placering av kanalarör klar. Analys pågår – just nu 7 cm, avbryts på torsdag vid 8 cm.
  - Draft-rapport finns, planeras överlämnas till SKB under innevarande vecka.
  - Det planeras nu för värdering av inverkan på skadetåligheten.



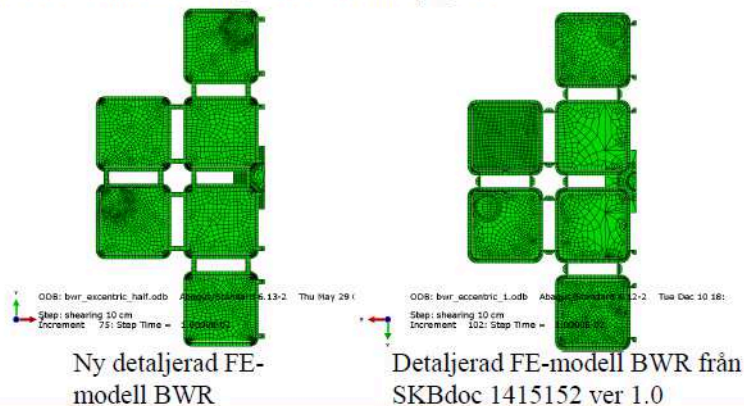
2014-06-27

21

## Kapselns mekaniska integritet

> "Angående nya spänningsanalyser för skjuvlastfallet i SKBdoc 1415152 ver 1.0"

- SKB har låtit förfina FE-modellen för BWR och genomfört nya beräkningar.
- Svetsarna i kassetten har gjorts mer verklighetstroga, toleransen för kantavståndet har ändrats från 20 mm till 10 mm minskat kantavstånd.
- Därtill har möda lagts ner på att skapa en representativ meshning av geometrin.
- Skjuvriktningen påverkar kapseln så att dragspänningar uppstår i där kantavståndet är mindre än nominellt, i enlighet med SSM:s påpekande.



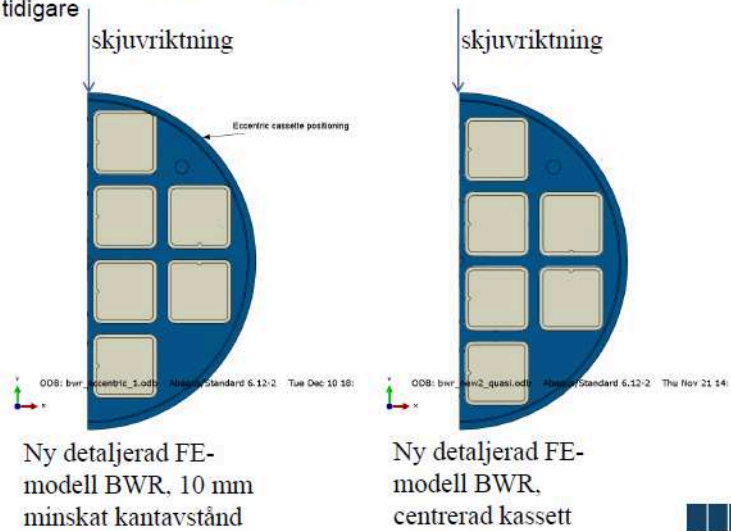
2014-06-27

22

## Kapselns mekaniska integritet

➤ "Angående nya spänningsanalyser för skjuvlastfallet i SKBdoc 1415152 ver 1.0"

- Insatser med olika kantavstånd av kanlrörshörn  
Vänster ny, höger tidigare



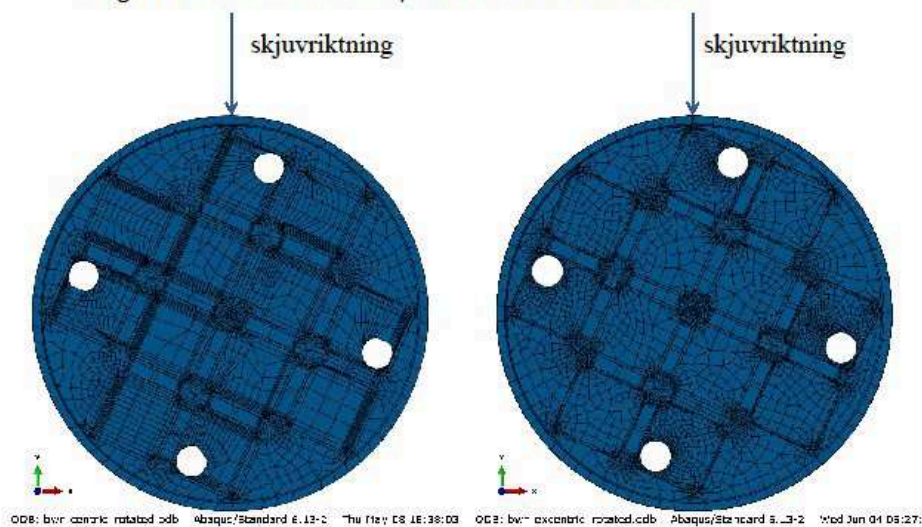
2014-06-27

23

## Kapselns mekaniska integritet

➤ "Angående nya spänningsanalyser för skjuvlastfallet i SKBdoc 1415152 ver 1.0"

- Olika skjuvriktning i förhållande till kassetten:  
Vänster med centrerad kassett  
Höger med excentrisk kassett, 10 mm minskat kantavstånd



2014-06-27

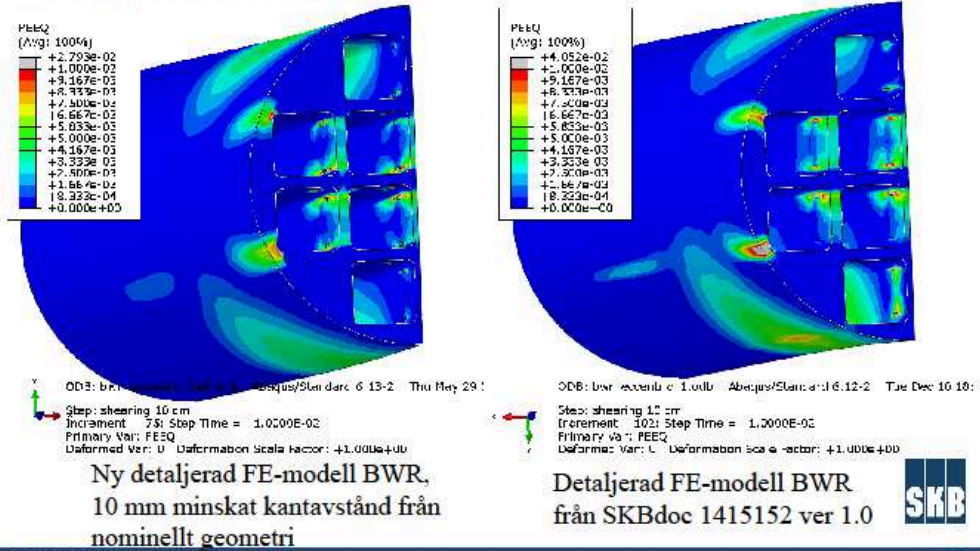
24



## Kapselns mekaniska integritet

► "Fråga 2 och 3 angående nya spänningsanalyser för skjuvlastfallet i SKBdoc 1415152 ver 1.0"

- Jämförelse symmetrisk modell - insats  
Ändrad skjuvriktning, korrigerad tolerans av kantavstånd  
Modifierade svetsar av stagplåtar



2014-06-27

25