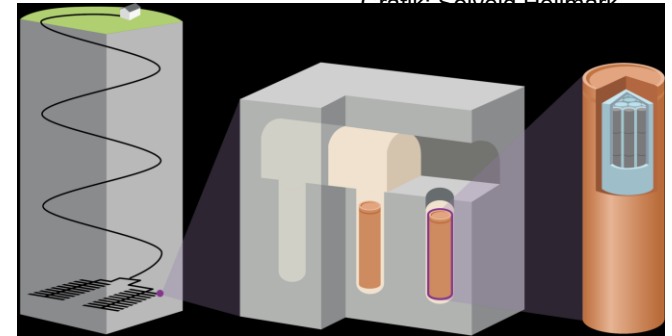




Kommentarer till Kärnavfallsrådets kunskapslägesrapport



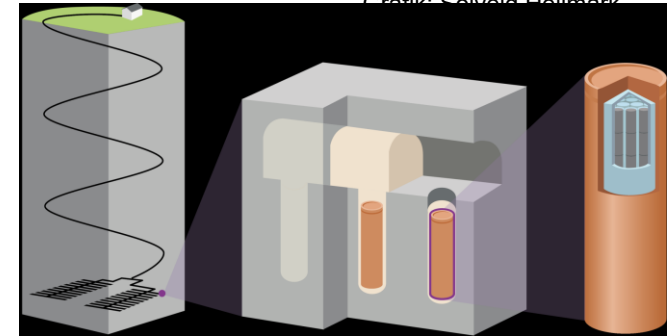
Bakgrund



- Trebarriärssystem
- Förvarets skyddsförmåga baseras på säkerhetsfunktionerna inneslutning och fördröjning
- SSM:s bedömning av kravuppfyllelse baseras på sammanvägning av båda dessa säkerhetsfunktioner



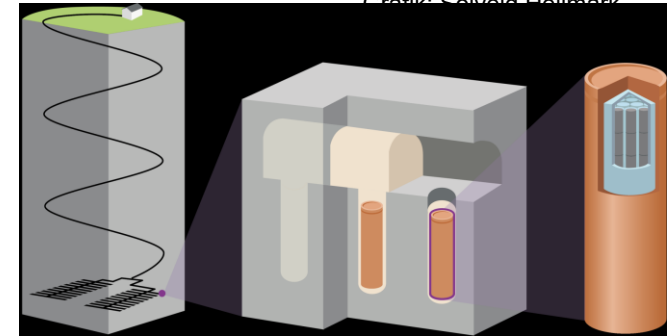
Bakgrund



- ➔ **Kapseln** inneslutningsfunktion bestäms av dess förmåga att tåla mekaniska och kemiska påfrestningar i slutförvarsmiljön
- ➔ **Bufferten** och **berget** bidrar till säkerhetsfunktionerna genom att:
 - begränsa materieöverföring (vatten och korrodanter) till och från kapseln
 - selektiv deponeringshålsplacering begränsar sannolikheten för och storleken av skjuvlaster
 - selektiv deponeringshålsplacering minimerar exponering för stora vattenflöden vilket minimerar materieöverföring och således bidrar till båda säkerhetsfunktionerna



Bakgrund



- Möjliga kemiska påfrestningar:
 - Allmän korrosion (under oxiderande och reducerande förhållanden)
 - Lokal korrosion (gropkorrosion, spänningskorrosion)

- Möjliga mekaniska påfrestningar
 - *Dynamisk last*
 - Skjuvlast i samband med jordskalv
 - *Statisk last*
 - Isostatisk last från omgivningen på 470 m djup
 - Ojämn buffertsvällning



Bakgrund

- ➔ I Kärnavfallsrådets rapport (SOU 2018:8) är huvudfokus på mekaniska påfrestningar snarare än kemiska (korrosion), främst på insatsen men även på kopparhöljet
- ➔ Att jämföra med Mark- och miljödomstolens yttrande som fokuserade på kemiska påfrestningar



Kunskapsläget på
kärnavfallsområdet 2018
Beslut under osäkerhet



Bakgrund

- Konstruktionsförutsättningar avseende insatsens mekaniska egenskaper bidrar till att kapseln kan motstå dynamiska och isostatiska laster (även inlandsis)

- SSM:s bedömning:
 - Goda marginaler mot plastisk kollaps i samband med isostatiska lastfall
 - Resultat från realistiska tryckprov och spänningsanalyser
 - Kapseln utsätts i första hand för tryckspänningar

 - Tålighet mot skjuvlast
 - Hållfasthets- och skadetålighetsanalyser visar på tillräckliga marginaler vid skjuvlast på 5 cm
 - Endast fåtal deponeringshål



Bakgrund

- Viktigt att kopparhöljet har förmågan att tåla spänningar som följd av ojämna laster
 - Mest relevant under återmättnadsfasen (ex. ojämn buffertsvällning)
- Senare i presentationen kommenteras krypning av koppar och hur det hanterats i SR-Site, liksom SSM:s bedömningar i frågan



Bakgrund

- Försprödning av material påverkar dess mekaniska egenskaper och förmåga att motstå mekaniska påfrestningar
- Försprödningsprocesser gällande hölje och insats måste beaktas i säkerhetsanalysen



Bakgrund

- ➔ I bedömningen måste man hantera frågor om:
 - Huruvida försprödningsprocessen är relevant sett ur ett systemperspektiv, givet systemets utformning och utveckling
 - I vilken utsträckning olika processer i slutförvarsmiljön kan leda till försprödning av kapselmaterialet (koppar och segjärn)

- ➔ I granskningsrapporten (SSM rapport 2018:07) bedöms omgivningspåverkan på kapselns mekaniska egenskaper i avsnitt 4.12.5, bland annat
 - Strålningsinducerad försprödning av segjärn
 - Statisk och dynamisk deformationsåldring av segjärn
 - Väteförsprödning av koppar



Fyra osäkerheter kopplade till insatsen listas i SOU 2018:8

- Statisk och dynamisk deformationsåldring av insatsen
- Strålningsinducerad försprödning av insatsen
- Väteförsprödning av insatsen
- Krypning av insatsen



Statisk och dynamisk deformationsåldring – processbeskrivning

- Försprödningsprocesser
 - Statisk: försprödning sker efter plastisk deformation
 - Dynamisk: försprödning sker under plastisk deformation
- Försprödningens omfattning påverkas av temperaturen och halten av föroreningar och vissa typer av legeringar i segjärnet



Deformationsåldring av insatsen – hantering i KTL-ansökan

- Processerna uppmärksammades initialt i Kärnavfallsrådets yttrande Fud-program 2016
- SSM begärde i en komplettering att SKB skulle kommentera processernas möjliga relevans för insatsen i slutförvarsmiljö
- SKB inkom med kompletteringar (SKBdoc 1602500, SKBdoc 1602640) som beaktats i SSM:s yttrande till regeringen



Deformationsåldring av insatsen – processbeskrivning

- Dynamisk deformationsåldring kan uppträda för segjärn vid 200°C men är som mest betydande vid 400°C
 - Insatstemperatur når sitt maximum på 120°C ca 10 år efter förslutning (SKB TR-10-28)

- Statisk deformationsåldring
 - Åldringsbenägna material uppvisar ökning av brottgränsen med temperatur vilket insatsmaterialet inte gör (SKBdoc 1602640)
 - Åldringsbenägna material visar på markerade sträckgränser vid dragprovning vilket insatsmaterialet inte gör (SKBdoc 1602640)



Deformationsåldring av insatsen – SSM:s bedömning

- SSM bedömer att risken för att processerna ska få betydelse i den förväntade slutförvarsmiljön sannolikt är låg (Avsnitt 4.12.5, SSM rapport 2018:07)
 - Lastfall under den period då insatsen är som varmast sannolikt inte plasticerande
 - Skjuvlastfall under samma tidsperiod har låg sannolikhet (TR-11-01, avsnitt 10.4.5)
 - Skjuvrörelsens hastighet för hög för dynamisk deformationsåldring
 - Segjärnet uppvisar inte ökad brottgräns som funktion av temperatur



Strålningsinducerad försprödning

- Materialkrav på insatsen: Kopparinnehållet bör understiga 0.05% för att undvika härdning och försprödning då kapseln exponeras för gammastrålning (SKB TR-10-14, SKBTR-09-22)
- SSM begärde komplettering avseende ett antal kapseldegraderingsprocesser, bland annat strålningsinducerad försprödning av segjärnsinsatsen (SKBdoc 1398013)



Strålningsinducerad försprödning

- Kopparhaltsgränsen baserad på modellering (SKB TR-10-46, avsnitt 3.4.6)

- Experimentell komplettering till ansökan (R-13-50)
 - Gammabestrålning av segjärn och modellegering (FeCu) med 0.08% Cu-innehåll
 - Strålfält motsvarande minst 40 år i slutförvarsmiljö
 - Kopparklustring (kan vara försprödande) observerades för modellegeringen men ej för segjärnet

- Ytterligare experimentell verksamhet pågår (Fud-program 2016)
 - Påverkan av strålfältet överskattad i modelleringen i TR-10-46 (Toijer, 2014)



Strålningsinducerad försprödning – SSM:s bedömning

- ➔ SSM:s anser att insatsmaterialet kan påverkas av gammastrålning, att risken för att segjärn kan bli sprödare vid gammabestrålning är låg men att den inte helt kan uteslutas.

- ➔ Avsnitt 4.12.5, SSM rapport 2018:07



Väteförsprödning av insatsen

- ➔ SKB kravställer att maximalt 600 g vatten får finnas i insatsen vid förslutning.
- ➔ Detta är enda källan till väte för en kapsel med intakt kopparhölje
- ➔ Potentiell väteladdning liten beroende på kravställd maximal mängd vatten inuti insatsen



Krypning av insatsen

- Förväntade temperaturintervall i slutförvarsmiljö gör att processen bedöms av SKB som osannolik (SKB TR-10-46).
- Kryptester utförda på segjärn vid olika temperaturer under lång tid (4.5 år) visar på liten effekt vid förväntade insatstemperaturer (SKB R-10-64)
- SSM bedömer, baserat på SKB:s underlag, processen som osannolik. En diskussion rörande processens inverkan på insatsens mekaniska egenskaper saknas dock i SSM rapport 2018:07



SOU 2018:8 - Oförstörande provning

- ➔ Stora krav på OFP för att säkerställa kritisk defektstorlek
- ➔ Metoder för kvalitetskontroll preliminära
- ➔ Kraven på defektstorlek deterministiska
- ➔ SKB:s OFP-teknik detekterar ej varierande defektstorlekar



Oförstörande provning - SSM:s bedömningar

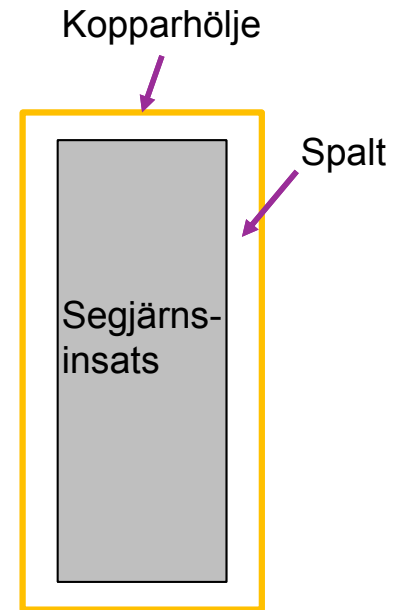
- Oförstörande provning kräver ytterligare insatser men teknologi i huvudsak utvecklad från andra tillämpningar
- Oförstörande provning (OFP) är inte färdigutvecklad med avseende på:
 - defektkaraktäristik från OFP perspektiv
 - defektsimuleringsteknik
 - kvantifiering av provningstillförlitlighet
 - kontrollordning och kvalitetsledningssystem
- Materialegenskaper och förekomst av defekter kan vid behov beaktas med probabilistiska metoder alternativt kan gjutmetoderna optimeras för att erhålla mer homogena materialegenskaper
- Se kapitel 3.4 SSM rapport 2018:07



Kopparkrypning

➤ SKB:s hantering av krypning i SR-Site (+ kompletteringar):

- Specificerat lastsituationer
- Definierat maximala töjningar
- Kravställt högsta tillåten krypdeformation
- Framtagit fundamentala modeller för krypdeformation
- Modellerat kapselns långsiktiga krypdeformation





Kopparkrypning

- SKB: Fosfor motverkar glidningar i korngränser (korngränsglidning kan ge upphov till små hål i gittret vilket, om det sker i betydande omfattning, kan leda till sprickbildning)
- SKB: OFP-koppar har hög krypduktilitet
- SSM har granskat frågan noggrant, begärt många kompletteringar och gjort egna studier:
 - SSM Technical Note 2015:52, Review of SKB's creep model, its implementation into ABAQUS and an evaluation of SKB's analyses of the copper canister
 - SSM Technical Note 2016:02, An updated review of the creep ductility of copper including the effect of phosphorus



Kopparkrypning – SSM:s bedömning

- Krypdeformation av höljet blir begränsad och avstannar gradvis då gapet mellan hölje och insats sluts
- Modellering av deformationsförloppet ger underlag för definition av krav på höljets krypegenskaper.
- Verifikation av att utrymmet för kopparns plastiska deformation underskrids med marginal kan genomföras. Detta behöver baseras på kapselns utformning och tillverkning, samt resultat från experimentell verksamhet och matematisk modellering.
- Avsnitt 4.12 i SSM rapport 2018:07



Sammanfattande kommentarer

- ➔ SSM delar Kärnavfallsrådets uppfattning att ytterligare utvecklingsinsatser för både hölje och insats fordras
- ➔ SSM bedömer att dessa kan hanteras inom ramen för den stegvisa prövningsprocessen