

Strålsäkerhetsmyndigheten  
Att: Georg Lindgren  
171 16 Stockholm

## Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR avseende BRT och segmentering

Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM, har i sin skrivelse till Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, daterad 2017-08-29 begärt förtydligande information om utformningen av BRT samt motiven för segmentering.

### SSM:s fråga:

1. *SSM ser behov av ytterligare information när det gäller utformningen och den avsedda strålsäkerhetsmässiga funktionen av bergsal för reaktortankar (BRT).*

*SSM anser att den förändrade utformningen av BRT bör beskrivas mer utförligt, åtminstone med en konceptuell beskrivning av barriärsystemets och betongkonstruktionens tilltänkta funktion inbegripet säkerhetsfunktionerna. Exempelvis berördes på mötet den 28 juni mellan SKB och SSM (SSM2015-756-33) att det inte krävs en flödesbarriär för förvarsdelen, vilket inte framgår av kompletteringen. I kompletteringen framförs att skillnaderna bedöms vara små mellan heltanks- och segmenteringsalternativet när det gäller korrosion och vattenflöde. Beskrivningen av förvarsdelen behöver vara så utförlig att SSM har möjlighet att bedöma om skillnaderna kan förväntas vara små.*

### SKB:s svar

Utformningen av BRT beskrivs i bilaga 1. Betongkonstruktionen i bergssalen för reaktortankar (BRT) har en strålskärmande funktion under driftperioden och medger säker hantering och förvaring av avfallet så att risker för aktivitetsspridning och persondoser minimeras. Efter förslutning utgör betongkonstruktionen en teknisk barriär med barriärfunktioner som har betydelse för förvarets säkerhet efter förslutning. Den tekniska barriären i BRT utformas som en lång sammanhängande armerad betongkonstruktion som förses med tvärgående mellanväggar. Mellanväggarna skapar förvarsfack för att möjliggöra etappvis kringgjutning av avfallet samt stabiliserar ytterväggarna. Konstruktionen uppförs med traditionell formsättningsmetod, och gjutning sker som konventionell betonggjutning med betongpump. Konceptet bedöms som tekniskt genomförbart, där utformningen tillgodoser både driftsäkerhet och möter de krav som ställs på förvarets säkerhet efter förslutning. Efter förslutning förhindrar och fördröjer betongen uttransport av radionuklider och tillgodoser säkerhetsfunktionen god retention.

De säkerhetsfunktioner som definierats för BRT redovisas i tabell 5-3 i *Redovisning av säkerhet efter förslutning av SFR. Huvudrapport för säkerhetsanalysen SR-PSU*. BRT tillskrivs säkerhetsfunktionerna god retention, vilket gäller korrosionshastighet i reaktortankarna, och sorption (pH, redoxpotential och tillgänglig sorptionsyta) i

betongbarriären. Däremot definieras inte säkerhetsfunktionen lågt flöde i förvarsutrymmen för BRT.

I kapitel 11 i *Huvudrapport för säkerhetsanalysen SR-PSU* står det ”Betongens funktion är att begränsa vattenflödet i och omkring reaktortankarna och att upprätthålla höga pH-förhållanden för att begränsa korrosionen av stål”. Detta har uppdaterats i *Erratablad 2017-04 SKB SR-PSU. Redovisning av säkerhet efter förslutning för SFR. Huvudrapport för säkerhetsanalysen SR-PSU* till ”Valet av betong som konstruktionsmaterial ger god sorption. Betongens funktion är också att upprätthålla höga pH-förhållanden för att begränsa korrosionen av stål.” Detta stämmer bättre överens med de säkerhetsfunktioner och säkerhetsfunktionsindikatorer som presenteras i tabell 5-3.

Ytterligare en skillnad mellan de båda versionerna är att i *Huvudrapport för säkerhetsanalysen SR-PSU* står det i kapitel 11 ”Dessa barriärsfunktioner upprätthålls under hela analysperioden, vilket diskuteras i kapitel 6”. I *Erratablad 2017-04 SKB SR-PSU* står det ”Den mekaniska funktionen upprätthålls under hela analysperioden och den kemiska funktionen antas konservativt bara upprätthållas till 22 000 e Kr”. Detta innebär att pH ska hållas på en sådan nivå att stålet passiveras och korrosionen är långsam under cirka 20 000 år. För att säkerställa ett sådant pH används betong som konstruktionsmaterial i de olika systemkomponenterna. Cementmineraler bidrar också med sorptionskapacitet eftersom radionuklider sorberar till dessa mineraler. Användandet av betong som konstruktionsmaterial kommer att begränsa vattenflödet i förvarsutrymmet, men den funktionen krävs inte med en säkerhetsfunktion.

#### **Förändring driftskede som kan påverka säkerheten efter förslutning**

Som skrivs i kapitel 5 *K:14 Övergång från hela till segmenterade reaktortankar* görs inga förändringar som påverkar säkerheten efter förslutning.

#### **Förändring avvecklingsskede som kan påverka säkerheten efter förslutning**

Som beskrivs i kapitel 6 i *K:14 Övergång från hela till segmenterade reaktortankar* förändras inte förslutningen av bergssalen. Pluggning av förvarssalen planeras att ske på samma sätt som tidigare och således förväntas ingen påverkan på säkerhet efter förslutning.

#### **Förändringar förvaringsskede som kan påverka säkerheten efter förslutning**

Enligt Odén och Öhman (2017) påverkar borttagandet av reaktortanktunneln (RTT) inte vattenflödet i förvarssalarna i nämnvärd utsträckning, se tabell 3-1 i Odén och Öhman (2017) som visar hur mycket vattenflödet i förvarssalarna ändras. Ändringen i vattenflödet i BRT har begränsad betydelse för säkerheten efter förslutning. Valet av betong som konstruktionsmaterial påverkar vattenflödet genom förvarsutrymmet (avfallet) men är inte kravställt. I verkligheten begränsas uttransporten av att betongen är mindre permeabel än omgivande material. I modellen representeras detta av den hydrauliska konduktiviteten vilken är försiktigt vald eftersom betongen inte tillskrivs någon flödesbegränsande funktion. Betongens huvudsakliga funktion, efter förslutning, är att begränsa korrosionen så att frisläppandet av inducerad aktivitet begränsas genom att korrosionen av metaller hålls låg. Cementmineralen i betongen bidrar också med sorptionskapacitet och transporten av radioaktiva ämnen fördröjs därmed också via sorption vilket tillskrivs en säkerhetsfunktion god retention i tabell 5-3 i *SFR. Huvudrapport för säkerhetsanalysen SR-PSU*.

#### **Skillnad i materialmängder (som påverkar säkerhetsfunktionerna)**

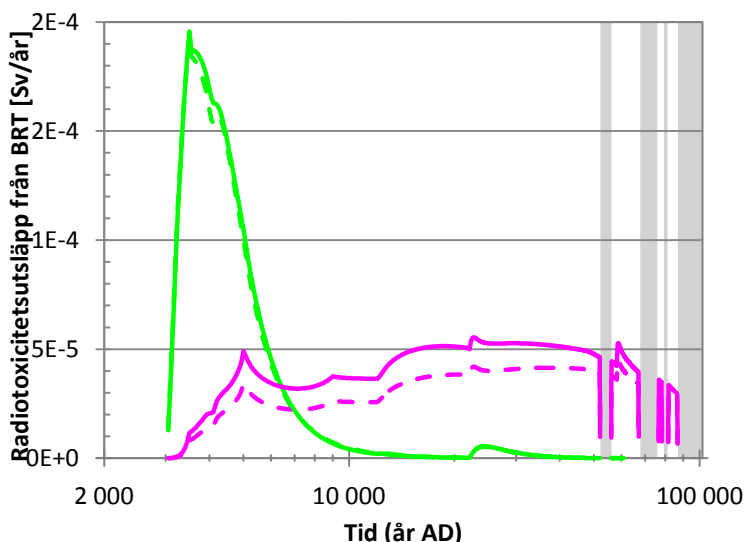
I *Initial state report for the safety report* (tabell A-10) redovisas mängden betong för BRT med hela reaktortankar till cirka 16 100 m<sup>3</sup> i betongkonstruktionerna, igjutning och kringgjutning.

Med segmenterade reaktortankar, bilaga 1, blir betongmängden cirka 13 600 m<sup>3</sup> betong, (beräknad från dimensioner i bilaga 1, kapitel 3.2). Det vill säga cirka 16 % mindre betong med segmenterade reaktortankar jämfört med hela reaktortankar. RNT-beräkningar för alternativet med hela reaktortankar, men utan igjutning har utförts. Beräkningsfallet studeras för att se hur stor betydelse sorptionen på igjutningen har på den beräknade dosen. I beräkningen har mängden betong minskats med totala innervolymer i de nio reaktortankarna (4670 m<sup>3</sup>).

Tabell 1 redovisar högsta dos för BRT och för hela SFR i beräkningsfall hel RT utan igjutning. Högsta dosen från BRT ökar från 0,37 med hel RT med igjutning till 0,39 i fallet med hel RT utan igjutning. Beräkningsfallet ger även en mycket måttlig ökning av totaldosen (7,71 µSv jämfört med 7,69 µSv i SR-PSU). Eftersom Mo-93 som dominerar dosen är mycket svagt sorberande på betong så får den minskade mängden betong ingen större betydelse, förutsatt att det finns tillräckligt med betong kvar så att ett högt pH (långsam korrosion) upprätthålls. Andra nuklider påverkas mer, till exempel Ni-59. Som man kan se i figur 1 så är den relativa ökningen av utsläpp av Mo-93 betydligt mindre än den relativa ökningen för Ni-59. Detta beror på att molybden har ett mycket lågt K<sub>d</sub>. Det låga K<sub>d</sub> värdet innebär att större delen av det totala inventariet av Mo-93 är löst i porvattnet och påverkas således inte mycket av den minskade mängden betong. Nickel har ett högre K<sub>d</sub> och utsläppet är därför starkt beroende av mängden betong att sorbera på.

**Tabell 1. Detaljer om högsta dosen från BRT för hela reaktortankar utan igjutning.**

Förvars- utrymme	Årlig dos [µSv]	Tidpunkt [år e Kr]	Biosfärs objekt	Exponerad grupp	Bidrag från radionuklid (%)
BRT	0,39	5450	157_2	DM	Mo-93 (98,5)
Totalt SFR	7,71	6500	157_2	DM	Mo-93 (57,7)



**Figur 1.** Radiotoxicitetsutsläpp av Mo-93 (gröna kurvor) och Ni-59 (lila kurvor) från BRT (från geosfären). Jämförelse mellan resultat från SR-PSU (streckade kurvor) och reaktortankar utan igjutning, i denna analys.

Den minskade mängden betong påverkar inte pH-utvecklingen i sådan grad att passiveringen av stål bryts och korrosionen ökar. Ett pH på mellan 10,5-11 behövs för att passivera järn (Pourbaix 1974). I ett beräkningsexempel har betongmängden

anpassats till att det tar 20 000 år att laka ur all portlandit (lösligheten 23 mmol/l enligt Höglund (2014)) vid ett vattenflöde på cirka 20 m<sup>3</sup>/år (Abarca et al. 2013). Med antagen mängd portlandit om 1040 mol/m<sup>3</sup> betong, enligt Höglund (2014), behövs drygt 12 000 m<sup>3</sup> betong för att portlandit ska finnas i systemet under 20 000 år vilket är mindre betong än de 13 600 m<sup>3</sup> som beräknats utifrån dimensionerna i bilaga 1, kapitel 3.2.

Även för utformningen med segmenterade reaktortankar planeras bergssalen att återfyllas med ett bergkrossmaterial, varför sorptionen av radionuklider på detta material inte kommer att skilja sig åt mellan de två olika utformningarna.

### Förändrad korrosionsyta

Korrosion antogs ske från både utsida och insida i *Huvudrapport för säkerhetsanalysen SR-PSU* (avsnitt 9.3.11). Med segmenterade reaktortankar återspeglar detta antagande bättre den situation som kommer att råda. För närvarande utreder SKB hur reaktortanksegmenten på bästa sätt ska förpackas. I och med att detta inte är fastslaget i nuläget redovisas nedan tre möjliga alternativ till förpackning och hur de skulle kunna påverka den tillgängliga korrosionsytan jämfört med hel reaktortank.

#### Alternativ 1: Hel reaktortank

Korrosionsytan för en hel reaktortank baseras på att både insidan och utsidan är exponerad för korrosion. Det innebär att varje m<sup>2</sup> av reaktortanken har en korrosionsyta motsvarande ca 2 m<sup>2</sup>.

#### Alternativ 2: Kokiller

Reaktortanken segmenteras i segment anpassade för att deponeras i kokiller. Varje segment antas då erhålla måtten 1x1 m. Tjockleken på ett segment antas vara 0,15 m. Korrosionsytan per segment blir med dessa antaganden:  $1+1+4 \cdot 1 \cdot 0,15 = 2,6 \text{ m}^2$ . Detta alternativ är det minst fördelaktiga alternativet med hänsyn till korrosionsyta. Vid segmentering av en reaktortank ökar således korrosionsytan, med ovan antaganden, med ca 30 %.

#### Alternativ 3: 2-kokiller

Reaktortanken segmenteras i segment anpassade för deponering i 2-kokiller. Varje segment antas då erhålla måtten 2·1 m. Korrosionsytan per segment blir med dessa antaganden:  $2 \cdot (2 \cdot 1) + 2 \cdot 2 \cdot 0,15 + 2 \cdot 1 \cdot 0,15 = 4,9 \text{ m}^2$ . Motsvarande korrosionsyta på en hel RT är:  $2 \cdot (2 \cdot 1) = 4 \text{ m}^2$

Vid segmentering av en reaktortank ökar således korrosionsytan, med ovan antaganden, med 22,5 %.

För de olika alternativen ökar korrosionsytan initialt som mest med 30 %. I och med att korrosionen fortlöper kommer tvärsnittsytan att minska. En ökad korrosionsyta innebär inte att dosen från BRT ökar med 30 % eftersom en viss del av aktiviteten utgörs av lös aktivitet och frisläppandet av denna är inte beroende på korrosionshastigheten. Andelen lös aktivitet är oberoende av om reaktortankarna segmenteras eller inte.

SKB:s bedömning är att övergång till segmenterade reaktortankar inte påverkar säkerheten efter förslutning i nämnvärd utsträckning. Mängden betong minskar med cirka 2500 m<sup>3</sup>. Utförda beräkningar med hela reaktortankar utan igjutning visar att detta inte påverkar dosen från förvardsdelen i någon större utsträckning. Den förändrade mängden betong påverkar inte heller pH-utvecklingen och pH hålls på en sådan nivå att passiverande förhållanden råder under den tid som redovisas i *Huvudrapport för säkerhetsanalysen SR-PSU* (avsnitt 7.4.3 figur 7-9).

**SSM:s fråga:**

2. **SSM önskar att SKB förtydligar motiven som stöder valet av segmenteringsalternativet framför heltanksalternativet. På mötet den 28 juni mellan SKB och SSM framfördes att tillståndet är tänkt att endast omfatta segmenteringsalternativet. SSM anser att motiveringen av vald utformning behöver återspeglas i argumentationen i miljökonsekvensbeskrivningen (MKB). I tidigare skrivelser har SKB, baserat på olika utredningars resultat, förordat heltanksalternativet (SKBdok 1537311). I senaste kompletteringen (SKBdok 1580501) framgår ingen tydlig motivering till på vilket sätt nytillkommen information leder till att de tidigare övervägandena nu har blivit överspelade när det gäller exempelvis argumentation kring dos till personal vid de olika hanteringsalternativen. SSM anser att detta behöver förtydligas i MKB för att avspegla SKB:s värdering av de motiv som stöder det gjorda valet. SSM noterar att SKB har valt att dokumentera för- och nackdelar av alternativa försvarsutformningar samt bedömningar kring bästa möjliga teknik av vald utformning i bilaga BAT. SSM noterar vidare att redovisningen kring BRT inte har uppdaterats i samband med kompletteringen. SSM anser därför att även bilaga BAT bör uppdateras.**

**SKB:s svar**

SKB har ansökt om tillstånd till slutförvaring av nio reaktortankar av kokvattentyp från de avvecklade kärnkraftverken. SKB har i ansökan hållit öppet för att kunna slutförvara reaktortankarna hela och av det skälet utformat anläggningen med en ny särskild transporttunnel för hela reaktortankar ned till försvarsdjup. SKB har tillsammans med ägarna fortsatt att utreda för- och nackdelar med att slutlagra reaktortankar hela respektive att segmentera reaktortankarna före slutförvaring. Tidigareläggande av de slutliga avställningarna av Ringhals 1 och 2 samt Oskarshamn 1 och 2 har medfört en fördjupad analys. Analysen har genomförts med avseende på hela hanteringskedjan; från hantering på site, transport, till slutlagring i SFR. Utifrån resultat från analysen har SKB och dess ägare beslutat att segmentera reaktortankarna före slutlagring i SFR. Båda alternativen är tekniskt genomförbara och strålsäkerheten vid hantering och efter förslutning kan tillförsäkras vid båda tillvägagångssätten, dock visar analysen på att segmentering är det mest fördelaktiga alternativet.

Den främsta grunden för att gå över till segmentering är den teknikutveckling som skett inom teknikområdet segmentering. Utvecklingen avseende segmentering har gått framåt och segmentering är en etablerad metod som genomförts inom ett flertal projekt i världen. Detta innebär att tiden då segmenteringen befinner sig på kritisk linje har minskat betydligt vilket medför mindre påverkan på genomförandetiden för rivningen än vad tidigare bedömts. Erfarenheterna från genomförda projekt under de senaste 5 åren har medfört att tiden för segmentering kunnat minskas till hälften. De kommande avvecklingsprojekten kommer inledningsvis ha en längre nedmonteringstid än vad man tidigare planerat. Under denna fas planeras genomförande av segmentering av reaktortankarna. Detta innebär tillsammans med kortare tid för segmentering att de tidsmässiga fördelarna med heltank minskat betydligt.

Segmentering ska ske på plats på kärnkraftverken, innan de transporteras och placeras i SFR. Den vanligaste metoden vid segmentering av reaktortankar är att reaktortanken först kapas i ringar som sedan lyfts över i en sidobassäng för kapning till slutlig storlek. Därefter placeras reaktortanksdelar i avsedda avfallsbehållare.

Avfallsbehållare med reaktortanksdelar igjuts med betong innan transport. Avfallsbehållare transporteras därefter i en transportbehållare (ATB) till SFR och tas ner till bergssalen för reaktortankar genom den befintliga drifttunneln på samma sätt som för annat avfall. Då avfallsbehållarna kan tas ner via den befintliga drifttunneln utgår behovet av en separat tunnel för reaktortankar med tillhörande påslag på Stora Asphällan.

Det har även konstaterats att strategiändringen leder till en riskminimering vid såväl nedmontering på kärnkraftverket, under transport, som i slutförvaret utan att några avgörande negativa sidoeffekter inträffar, detta eftersom segmentering idag är en beprövad teknik till skillnad från heltankshantering. För heltank finns ett flertal osäkerheter som behöver utredas exempelvis lyft ut ur reaktorn och specialtransport till SFR som inte finns med segmenteringsalternativet. Transport av segmenterad reaktortank kan ske med etablerat transportsystem. Detta innebär att transport sker med godkända avfallstransportbehållare och fordon anpassade för Sigrid, SFR och kraftverken. För heltank behövs en fortsatt teknikutveckling kopplat till igjutning och kringgjutning som i fallet med segmentering är betydligt mindre omfattande. Utöver detta finns ett antal betydande positiva synergieffekter med segmentering, däribland möjligheten till sortering av avfallet och den kopplade möjligheten till optimering av förvarsutnyttjandet. Även det faktum att segmentering utgör internationell *best practice* vilket innebär att såväl industri som myndigheter kommer att ha större möjlighet till kompetensstöd och internationella jämförelser vid tillståndsprövningar, projektutformning, genomförandeoptimering m.m.

Gällande skillnader i person- och kollektivdoser mellan de två alternativen har dosratsmätningar vid kärnkraftverken i Würgassen och Barsebäck påvisat en betydligt lägre strålningsnivå i reaktortanken efter primärsystemsdekontaminering än vad som ansatts i dosberäkningsmodeller fram till idag. Detta gör att såväl segmentering som heltanksdeponering idag förväntas ge dosbidrag som med god marginal understiger tidigare prognoser. Differensen i dos mellan de två hanteringsalternativen har också minskat markant.

Vid en sammanvägning av faktorer som tar hänsyn till optimering av hela hanteringskedjan, såsom kostnad, tid, risker (inklusive risker för personal och miljö), anses den internationellt betydligt mer beprövade metoden att segmentera BWR-RT idag därmed utgöra BAT.

Ansökan består av ursprungliga ansökan inklusive kompletteringar varför SKB inte ser något behov att uppdatera ursprungliga ansökansdokument.

**SSM:s fråga:**

- 3. SSM önskar att SKB klargör behov av ytterligare ändringar i underlaget till ansökan som härrör från övergången till segmenteringsalternativet. SKB redogör i kompletteringen om övergången till segmentering av reaktortankarna för en rad ändringar i förhållande till ansökan. SSM noterar att det finns ytterligare aspekter i ansökansunderlaget som berörs av övergången till segmenteringsalternativet. Exempelvis baseras beskrivningarna och analyserna i F-PSAR-drift PSU på heltanksalternativet, såsom säkerhetsklassningen (kapitel 3) eller anläggnings- och funktionsbeskrivningen (kapitel 5). SSM önskar därför att SKB klargör behovet av ytterligare ändringar av ansökansunderlaget. Ifall SKB anser att ändringar i ansökansunderlaget inte skulle vara påkallade önskar SSM att SKB redogör för när i processen ändringar är tänkta att genomföras.**

**SKB:s svar**

Segmenteringsalternativet påverkar ett flertal delar i F-PSAR. De viktigaste aspekterna har redovisats i kompletteringsbilaga *K:14 Övergång från hela till segmenterade reaktortankar*. SKB avser därför inte att uppdatera F-PSAR med de nya förutsättningarna utan kommer att i sin helhet redovisa dessa i den PSAR som kommer skickas in till SSM i samband med ansökan om byggstart.

I kapitel 8 i kompletteringsbilaga *K:14 Övergång från hela till segmenterade reaktortankar* redovisas den förändring som det innebär ur en säkerhetsmässig aspekt för driftskedet. Vid uppdateringen av händelseanalyserna inför PSAR kommer de nya förutsättningarna att detaljstuderas och redovisas i sitt sammanhang. Till följd av de förnyade händelseanalyserna kommer även säkerhetsklassningen att ses över och även kompletteras med avseende på de nya systemdelar som tillkommer, t.ex traverser och lyftdon i BRT. Bedömningen är att dessa kommer att klassas på samma sätt som de traverser och lyftdon som redovisats för 1-2BMA.

Den förändrade anläggningsutformningen av BRT och även tänkt hantering av behållare med reaktortanksdelar (dvs enligt dagens hantering av kokiller) beskrivs i kompletteringsbilaga *K:14 Övergång från hela till segmenterade reaktortankar*. SKB bedömer därför att kapitel 5 i F-PSAR ej är i behov av ändringar i ansökansunderlaget innan redovisningen i PSAR.

En större översyn kommer att göras av *Acceptanskriterier för avfall PSU (WAC)* med anledning av den nya utformningen av BRT. Även preliminära typbeskrivningar för de segmenterade tankarna kommer att tas fram. Både WAC och preliminära typbeskrivningar kommer att redovisas i samband med PSAR.

Med vänlig hälsning

**Svensk Kärnbränslehantering AB**  
Projekt SFR Utbyggnad

Peter Larsson  
Projektledare Projekt SFR Utbyggnad

## Bilagor

- 1 *Redovisning av teknisk barriär vid övergång till segmenterade reaktortankar*, SKBdoc 1604614 ver 2.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

## Referenser

**Abarca E, Idiart A, de Vries L M, Silva O, Molinero J, von Schenck H, 2013.**

Flow modelling on the repository scale for the safety assessment SR-PSU. SKB TR-13-08, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Höglund L O, 2014.** The impact of concrete degradation on the BMA barrier function. SKB R-13-40, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Odén M, Öhman J 2017.** TD16- Effect of connecting RTT to existing access tunnel, SKBdoc 1581260 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Pourbaix M, 1974.** Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, NACE Cebelcor.