

Redovisning av teknisk barriär vid övergång till segmenterade reaktortankar

Sammanfattning

Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) har tillsammans med tillståndshavarna för kärnkraftverken fortsatt att analysera konsekvenserna av att deponera hela respektive segmenterade reaktortankar i utbyggnaden av slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall (SFR). Baserat på resultat från genomförda analyser bedöms det mer fördelaktigt att segmentera reaktortankarna än att slutförvara dem hela. För att kunna ta emot segmenterade reaktortankar i utbyggd del av SFR behöver tidigare utvecklad utformning av bergssalen för reaktortankar (BRT) förändras och anpassas.

Denna rapport beskriver den konceptuella utformningen, dimensionering och uppförandet av en betongkonstruktion som efter förslutning utgör en teknisk barriär i betong för slutförvaring av segmenterade reaktortankar i bergssalen för reaktortankar (BRT).

Betongkonstruktionen 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 förvaringsfack 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. Driftsäkerheten åstadkoms genom strålskydd, tillräckliga utrymningsvägar samt teknik och system som minimerar risker för aktivitetsspridning, persondoser samt oacceptabla hälso- och olycksrisker. Efter förslutning förhindrar och fördröjer betongen uttransport av radionuklider och tillgodoser säkerhetsfunktionen god retention.

Innehåll

1	Inledning	3
2	Krav och konstruktionsstyrande förutsättningar	3
2.1	Krav	3
2.1.1	Säkerhet under driftskedet	3
2.1.2	Säkerhet efter förslutning	3
2.2	Konstruktionsstyrande förutsättningar	5
2.2.1	Avfall	5
2.2.2	Bergssalsutformning	5
2.2.3	Lastförutsättningar	6
2.2.4	Travers	6
3	Utformning av betongkonstruktionen	6
3.1	Allmänt	6
3.2	Geometrisk utformning	6
3.3	Driftperiod	7
3.4	Inför förslutning	8
4	Dimensionering och hantering av laster	8
4.1	Allmänt	8
4.2	Hantering av laster	8
4.2.1	Driftskedet	8
4.2.2	Vid och efter förslutning	8
5	Uppförande av betongkonstruktionen	9
5.1	Allmänt	9
5.2	Bottenplatta	9
5.3	Väggar	10
	Referenser	10

1 Inledning

Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) har tillsammans med tillståndshavarna för kärnkraftverken låtit utreda konsekvenserna av att deponera hela reaktortankar respektive att segmentera dessa innan transport och deponering. Baserat på analyser av bland annat tid, kostnad, miljö och teknisk genomförbarhet bedöms det i nuläget vara fördelaktigare att segmentera reaktortankar och placera avfallet i avfallsbehållare än att deponera och slutförvara hela reaktortankar i utbyggd del av slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall (SFR).

SKB har ansökt om att slutförvara reaktortankar från kokvattenreaktorer (BWR) i det utbyggda SFR, där en ny nedfartstunnel möjliggör slutförvaring av hela reaktortankar. För att kunna ta emot segmenterade reaktortankar behöver anläggningens utformning anpassas.

Denna rapport beskriver den konceptuella utformningen, dimensionering och uppförandet av en betongkonstruktion som efter förslutning utgör en teknisk barriär i betong för slutförvaring av segmenterade reaktortankar i bergssalen för reaktortankar (BRT).

Rapporten berör endast BRT och den tekniska barriären i betong för förvaring av segmenterade reaktortankar. Beskrivning sker på konceptuell nivå, vilket innebär att vidareutveckling och detaljering kommer att göras som en del i teknikutvecklingsprogrammet och i samverkan med övrig projektering och analysarbete.

2 Krav och konstruktionsstyrande förutsättningar

I följande kapitel redovisas de krav och konstruktionsstyrande förutsättningar som beaktas vid uppförandet av en betongkonstruktion för slutförvaring av segmenterade reaktortankar.

2.1 Krav

2.1.1 Säkerhet under driftskedet

Slutförvarsanläggningen ska utformas så att risker för aktivitetsspridning och persondoser minimeras under den planerade drifttiden fram till 2075. Det innebär att konstruktioner utformas så att de i sig själva upprätthåller den strålskärmande funktionen alternativt inte förhindrar att en sådan funktion kan erhållas på annat sätt.

Teknik för uppförande av konstruktionen ska inte innebära oacceptabla hälso- och olycksrisker för de som utför arbetet eller vistas i och kring anläggningen. Tillräckligt med utrymme för utrymningsvägar ska även tillgodoses i bergssalen.

Förvarsdelarna ska utformas och konstrueras så att de i samverkan med avfallskollin uppfyller önskad barriärfunktion för utrymmet i fråga. Samtliga tunnelsystem inklusive bergssalarna ska utformas så att förvaret kan förslutas utan krav på efterföljande övervakning. Bergssalarna ska även vara utformade så att det är möjligt att vid förslutning återfylla dessa i den mån som bedöms erforderligt (Berg och Andersson 2014).

2.1.2 Säkerhet efter förslutning

Krav på barriärer och deras funktioner efter förslutning återfinns i SSMFS 2008:21. Kravuppfyllnad visas genom att göra troligt att ett givet initialtillstånd kan uppnås vid tidpunkten för förslutning. Initialtillståndet betraktas som utgångspunkten för analysen av förvarets säkerhet efter förslutning och ligger till grund för referensutvecklingen som beskriver en trolig utveckling av förvaret efter förslutning. Detta föranleder att barriärkonstruktioner ska dimensioneras, konstrueras och uppföras så att de möter de krav som ställs på förvarets initialtillstånd.

Redovisning av teknisk barriär vid övergång till segmenterade reaktortankar

I Tabell 2-1 ges en sammanfattning av barriärerna som är av betydelse för förvarets säkerhet efter förslutning i BRT. Dessa är redovisade med hänsyn till både mottagning av hela respektive segmenterade reaktortankar.

Tabell 2-1. Barriärer som bidrar till säkerheten efter förslutning i BRT. Vänster kolumn motsvarar avfall i form av hel reaktortank (SKB 2015) och höger kolumn motsvarar avfall i form av segmenterade reaktortankar.

BRT (hela reaktortankar)	BRT (segmenterade reaktortankar)
Reaktortank fylld med cementbaserat bruk	Avfallsform ¹
Kringgjutning av reaktortank med betong	Betongkonstruktioner ² samt kringgjutningsbruk utanför kollin
Återfyllnadsmaterial ³	Återfyllnadsmaterial ³
Pluggar ⁴	Pluggar ⁴
Berget	Berget
Lokalisering under havet	Lokalisering under havet

¹ Igjutning med cementbaserat material

² Golv, väggar och lock

³ Omfattar bottenmaterial på vilket konstruktionen vilar samt återfyllnadsmaterial i förvarsutrymmen och tunnlar

⁴ Pluggar i anslutning till förvarsutrymmen och pluggar i tunnlar

De säkerhetsfunktioner och säkerhetsfunktionsindikatorer som har definierats för BRT redovisas i Tabell 2-2. Dessa gäller oavsett om reaktortankar förvaras segmenterade eller hela i BRT.

Barriärkonstruktionen inklusive kringgjutning ska uppföras i betong, där betongen primärt syftar till att fungera som sorptionsyta för radionuklider och till att skapa en alkalisk miljö som begränsar korrosion av stål. Betongen tillskrivs ingen flödesbegränsande funktion över tid, men genom att begränsa uppsprickning kan vattenflödet hållas lågt i och omkring avfallet. Vid förslutning återfylls bergssalen med ett återfyllnadsmaterial för att skydda barriärkonstruktionen mot fallande bergblock samt verka mekaniskt mothåll för de pluggar som installeras i bergssalsändarna.

Tabell 2-2. Säkerhetsfunktioner och säkerhetsfunktionsindikatorer för BRT (SKB 2015)

Säkerhetsfunktion	Säkerhetsfunktionsindikator	Komponent
Säkerhetsprincip: Begränsad mängd långlivade radionuklider		
Begränsad radioaktivitet	Aktiviteten av varje radionuklid i de olika förvarsutrymmena	Avfall i BRT
Säkerhetsprincip: Fördröjning av uttransport av radionuklider		
God retention	pH	Cementbaserade material i avfallskollin ¹ Betongbarriär i BRT
	Redoxpotential	Cementbaserade material i avfallskollin ¹ Betongbarriär i BRT Geosfär
	Tillgänglig sorptionsyta	Cementbaserade material i avfallskollin ¹ Betongbarriär i BRT
	Korrosionshastighet	Reaktortankar i BRT

¹ Segmenterade reaktortankar paketerat i avfallskollin igjutna med cementbaserat material. Reaktortank fylld med cementbaserat bruk motsvaras av komponent *Betongbarriär i BRT*.

2.2 Konstruktionsstyrande förutsättningar

2.2.1 Avfall

Vid segmentering av reaktortankar paketeras avfallet i behållare som är lämpligt anpassade för ändamålet. Avfallsbehållare som är anpassade för att passa in i transportsystemet (kokillenheter), som igjuts med cementbaserat material, är i nuvarande skede den konstruktionsstyrande förutsättningen för BRT. Enligt nuvarande prognos är deponeringsvolymen för segmenterade reaktortankar ca 6760 m³. Bergssalens längd enligt avsnitt 2.2.2 medger möjligheten att emotta 9000 m³.

2.2.2 Bergssalsutformning

För att möjliggöra mottagning av segmenterade reaktortankar har bergssalsutformningen för BRT förändrats, Figur 2-1. I den nya utformningen sker intransport av avfall till bergssalen via bergssalstunneln (2BST) och inte via reaktortransporttunneln (1RTT) som den i ansökan beskrivna referensutformningen för hela reaktortankar. Inlastningszonen blir således på samma sida som för resterande bergssalar i det utbyggda SFR, dvs. mot 2BST. Inlastningszonen har dessutom kompletterats med teknikutrymme med plats för elrum som möjliggör hantering av elsystem.



Figur 2-1. Illustration av nya BRT med betongkonstruktion under driftperioden. Bergssalstunneln 2BST och inlastningszonen närmast i figuren.

För att skapa tillräckligt med utrymme för den betongkonstruktion som utgör barriär efter förslutning och den fjärrmanövrerade traversen för inlastning av avfallsbehållare av typen kokillenheter, har bergssalens bredd och höjd utökats något jämfört med den ursprungliga utformningen. Bergssalen har dessutom utformats med plan botten i tvärläng eftersom traversen har en horisontell förflyttning. Vidare har bortledningen av dränagevattnet ändrats så att detta endast sker i riktning mot 2BST jämfört med tidigare utformning där inläckande vatten dränerades mot tvärtunneln (2TT).

Bergssalens bredd är 15,85 m och har således ökat med 0,85 m jämfört med tidigare utformning. Bergssalens höjd varierar med 1,3 m mellan 2TT och 2BST i den nya utformningen på grund av att bergssalssulan lutar (1:200) i riktning mot 2BST. Sett från underkant betongkonstruktion och till bergssalens hjässa har höjden ökat med 1 m – från 12,1 m till 13,1 m. Bergssalens totala längd har utökats med 15 m – från 240 m till 255 m – eftersom utrymningstunnelns (1UT) tvärsnitt och längd har anpassats gentemot resterande bergssalar i utbyggd del av SFR.

Redovisning av teknisk barriär vid övergång till segmenterade reaktortankar

2.2.3 Lastförutsättningar

Följande lastfall är relevanta för dimensioneringen av betongkonstruktionen. Dimensioneringen och hanteringen av lasterna beskrivs i kapitel 4.

Laster under driftperioden:

- Last från det deponerade avfallet
- Inre gjuttryck vid kringgjutning av avfall
- Olyckslaster
 - Oavsiktlig stöt från traverslast
 - Last av tappad kokill

Laster vid och efter förslutning:

- Yttre jordtryck från återfyllnadsmaterial
- Last av fallande block
- Yttre vattentryck

2.2.4 Travers

Den fjärrmanövrerade traversen förutsätts ej belasta betongkonstruktionen.

3 Utformning av betongkonstruktionen

3.1 Allmänt

Vid utarbetning av den konceptuella utformningen av betongkonstruktionen som efter förslutning utgör teknisk barriär har, förutom de krav och konstruktionsstyrande förutsättningar som omnämns i kapitel 2, även dimensioner, material samt produktionsmetod tagits i beaktning.

Konstruktionstjocklekarna för barriärens olika delar styrs i huvudsak av krav på strålskydd, bärförmåga och betongens värmeutveckling i tidig ålder. En konstruktionstjocklek på 500 mm är tillfredställande ur strålskyddssynpunkt. Yttre laster hanteras så att lasteffekten inte överstiger bärförmågan för tjockleken 500 mm. Risken för uppkomst av sprickor orsakade av betongens värmeutveckling efter gjutning hanteras genom begränsning av cementhalt, gjuttemperatur, formmaterial och formrivningstidpunkt. Inga kylrör eller värmekablar gjuts in i konstruktionen.

Betongkonstruktionens inre dimensioner ska möjliggöra kringgjutning av avfallet med cementbaserat material såsom självkompakterande betong. För att åstadkomma god utfyllnad av kringgjutningen med betong, placeras avfallskollina så att det blir ett fritt avstånd om minst 150 mm runt om avfallskollina. Ett sådant avstånd möjliggör även att kringgjutningen kan agera lastbärande innerväggar, se kapitel 4.

Efter förslutning ska betong uppfylla funktionen god retention, se avsnitt 2.1.2, vilket innebär att genomgående armering, genomgående formstag och gjutfogar kan tillåtas. Metod för uppförande beskrivs närmare i kapitel 5.

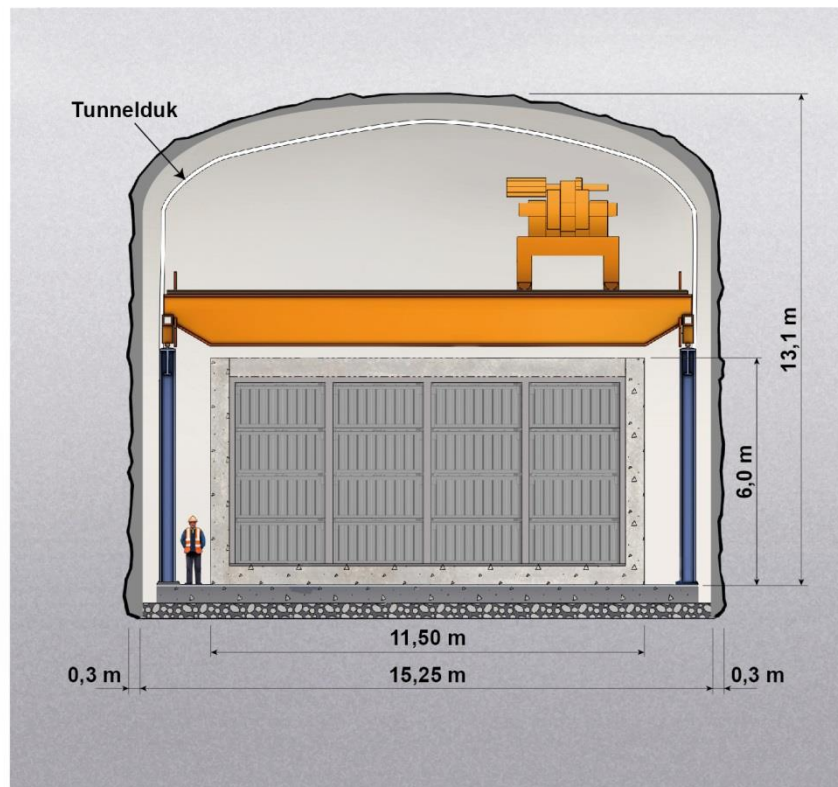
3.2 Geometrisk utformning

Betongkonstruktionen utformas som en lång sammanhängande armerad betongkonstruktion som förses med tvärgående mellanväggar som skapar förvarsfack för att möjliggöra etappvis kringgjutning av avfallet samt stabiliserar ytterväggarna. Betongkonstruktionen platsgjuts på en glidskiktstförsedd arbetsbetong som i sin tur är gjuten på en dränerande bottenbädd av packat grus. Arbetsbetongen utförs som en konstruktiv del i position för traverspelare.

Betongfackens fria innermått är 10,5 meter i både bredd- och längdriktningen och ytterväggarna respektive mellanväggarna är 5,5 meter höga mätt från överkant bottenplatta.

Redovisning av teknisk barriär vid övergång till segmenterade reaktortankar

Betongkonstruktionens längd anpassas efter bergssalens längd. Om betongkonstruktionens mellanväggar utförs lika tjocka som ytterväggarna, 500 mm, blir således konstruktionens totala längd 220,5 meter. Den totala betongvolymen har beräknats till ca 13 600 m³, vilket inkluderar betongkonstruktion, kringgjutning, avfallsform (igjutning med cementbaserat material) samt den arbetsbetong som betongkonstruktionen står på. För en illustration av konstruktionen se Figur 3-1.



Figur 3-1. Tvärsnittsbild av konstruktionen i BRT.

3.3 Driftperiod

Under driftperioden har betongkonstruktionen funktion som strålskärm samt för att underlätta säker hantering och förvaring av avfall. Bergssalen är försedd med en travers för avlockning av avfallstransportbehållare (ATB) i inlastningszonen och en travers för deponering av avfall i förvarsdelen. Avlockning och deponering kommer att ske fjärrmanövrerat och styrs då från en driftbyggnad. Traverserna kommer att vara upplagda på ett fristående pelarsystem där service och underhåll av det tekniska systemet kan ske utan att personer utsätts för oacceptabla persondoser. Inlastningszonen har dessutom kompletterats med teknikutrymme med plats för elrum som möjliggör hantering av elsystem.

När avfall har deponerats i betongkonstruktionen läggs tillfälliga prefabricerade betongelement ut över avfallet för att möjliggöra arbete ovan konstruktionen. Avfallet kommer även att kringgjutas, där kringgjutning antingen genomförs successivt under drift eller i samband med förslutning.

Längsmed hela bergssalens längd, mellan betongkonstruktionen och bergvägg, tillgodoses utrymningsvägar.

3.4 Inför förslutning

Efter avslutad deponering och kringgjutning av avfall i BRT kommer förberedelser inför förslutning att genomföras. Lock kommer att gjutas på deponerat och kringgjutet avfall, varpå bergssalen återfylls med ett genomsläppligt återfyllnadsmaterial för att skydda barriärkonstruktionen mot fallande bergblock efter förslutning samt verka mekaniskt mothåll för de pluggar som installeras i bergssalsändarna.

4 Dimensionering och hantering av laster

4.1 Allmänt

De lastfall som är av relevans för dimensionering av betongbarriären i BRT omnämns i avsnitt 2.2.3. För bedömning av vilka tvärsnitt och armeringar som kan vara rimliga för aktuella förutsättningar har överslagsmässiga beräkningar utförts.

4.2 Hantering av laster

Betongkonstruktionen utformas och dimensioneras för att kunna motstå de belastningar som den kommer att utsättas för under driftperioden och efter förslutning. Lastbärande funktion hos armeringen krediteras under driftperioden och i samband med förslutning.

4.2.1 Driftskedet

Last från deponerat avfall

Betongkonstruktionens bottenplatta dimensioneras för egenvikten av avfallet samt ojämn fördelning av laster från avfallet. Grundläggningen utgörs av en bädd av packat grus och kompletteras med en arbetsbetong för att öka styvheten och underlätta uppförande av konstruktionen. Konservativt tillgodoräknas inte arbetsbetongens inverkan.

Inre gjuttryck från kringgjutning

Vid kringgjutning av avfall uppstår ett inre gjuttryck som verkar på konstruktionens samtliga väggar. Gjuttrycket bestäms av gjuthöjder och betongrecept, där trycket kan reduceras genom att begränsa gjuthöjd.

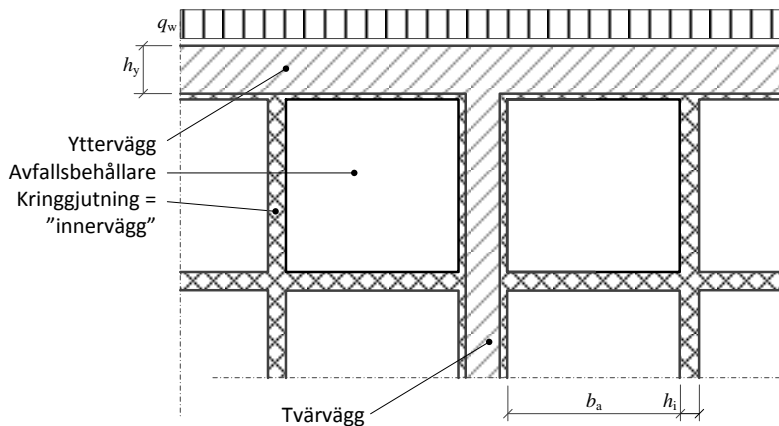
Olyckslaster

Möjliga olyckslaster såsom tapp av kokill och oavsiktlig stöt av kokill måste förhindras. Överstyrka i travers och lyftanordning förhindrar tapp av kokill. Oavsiktlig stöt förhindras genom en säkerställd programmering av deponeringstraversens styrsystem. Avståndet mellan avfallskollin och konstruktionens väggar kommer att vara väl tilltagna.

4.2.2 Vid och efter förslutning

Kringgjutningen av avfallet genomförs med betong i syfte att agera lastbärande för yttre laster vid och efter förslutningen. Det innebär att betongkonstruktionens yttreväggar med stöd av mellanväggar och kringgjutning tar upp last. Ingen bärande samverkan med avfallsbehållare krävs, vilket innebär att avfallet inte behöver ta last. Figur 4-1 visar ett horisontellt snitt av betongkonstruktionen.

Redovisning av teknisk barriär vid övergång till segmenterade reaktortankar



Figur 4-1. Horizontalsnitt av betongkonstruktionen i BRT som visar del av två fack och avgränsande mellanvägg mellan facken. Ytterväggens tjocklek, $h_y = 0,5$ m. Avfallsbehållarens bredd, $b_a = 2,4$ m. Innerväggarnas tjocklek, $h_i = 0,2$ m.

Yttre jordtryck från återfyllnadsmaterial

I samband med förslutning återfylls bergssalen med ett återfyllnadsmaterial som verkar direkt mot konstruktionens väggar och lock, men även bottenplatta då lasten förs ner genom väggarna. Betongkonstruktionen dimensioneras för denna återfyllnadslast.

Last från fallande bergblock

Återfyllnadsmaterialet som installeras i bergssalen i samband med förslutning har till funktion att skydda betongkonstruktionen mot den impulslast som kan uppstå vid ett eventuellt bergutfall. Lasten hanteras genom att installera återfyllnadsmaterialet med en sådan mäktighet att fallhöjd och därmed lasten reduceras.

Yttre vattentryck

Det utvändiga ensidiga vattentryck som uppkommer då bergssalen vattenfylls är en dimensionerande belastning för betongkonstruktionens bottenplatta, väggar och lock. Lasten som kan uppgå till 150 m vattenpelare är i sammanhanget kortvarig och verkar till dess att betongkonstruktionen och dess innanmäte vattenmättats. Betongkonstruktionen dimensioneras för denna vattenlast.

5 Uppförande av betongkonstruktionen

5.1 Allmänt

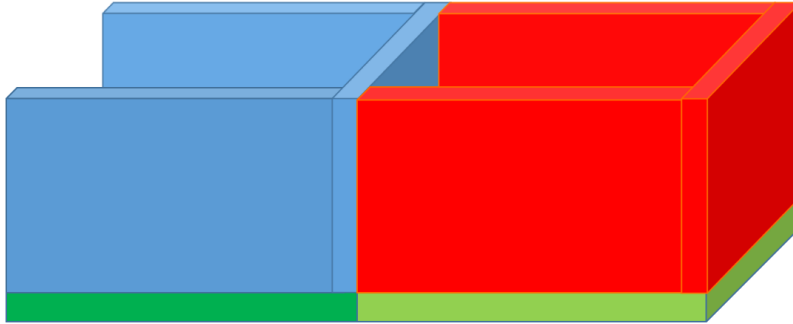
Betongkonstruktionen kommer att platsgutas med traditionell formsättningsmetod och gjutningen genomförs som konventionell betonggjutning med betongpump. Metoden för uppförandet av betongkonstruktionen förutsätter gjutfogar, och mellan gjutetapper utförs gjutfogar med genomgående armering och förses med redundant fogtätning. Med hänsyn till säkerheten efter förslutning kan användning av fogband utförda i koppar övervägas. Det kan även vara önskvärt att behandla fogytan för att erhålla en viss råhet i fogytan som förbättrar tätheten. Lämplig metod bestäms då genom förprovning.

5.2 Bottenplatta

Bottenplattan platsgjuts på en glidskikt-försedd arbetsbetong som i sin tur är gjuten på en dränerande bottenbädd av packat grus. Bottenplattan utförs som en kontinuerlig armerad platta med uppstickande armering för väggarna. Gjutetappslängderna ansätts till 11 m, vilket motsvarar ett fack exklusive en tvärgående vägg. I lägena för traverspelare utförs arbetsbetongen som en konstruktiv del för kraftupptagning för traverslast. Skulle arbetsbetongen gjutas över hela ytan i bergssalen förses denna med håltagning för dränagevatten på lämpligt avstånd intill bergvägg och längsmed hela bergssalens längd.

5.3 Väggar

Väggarna, både ytterväggar och mellanväggar, armeras och platsgjuts etappvis enligt Figur 5-1. Traditionell formsättning med formstag försedda med tätbricka tillämpas, där formsättningssekvenserna lämpligen omfattar två ytterväggar och en mellanvägg för att sedan upprepas tills samtliga väggar är gjutna. Gjutetappsindelningen görs lämpligen med hela väggsidor utan gjutskarv. Stabilitet i form för ytterväggar kan åstadkommas genom att staga mot bergvägg om så bedöms nödvändigt.



Figur 5-1. Illustration över formsättningssekvens och gjutetappsindelning för betongkonstruktionen i BRT. Färgerna representerar gjutetappsindelningen, där övergången till ny färg visar på placering av gjutfog.

Referenser

Berg P, Andersson M, 2014. F-PSAR SFR – Allmän del 1 kapitel 3 – Konstruktionsregler. SKBdoc 1220377 version 2.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2015. Redovisning av säkerhet efter förslutning för SFR. Huvudrapport för säkerhetsanalysen SR-PSU. SKB TR-14-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.