

# Ansökan om tillstånd enligt kärntekniklagen

## Toppdokument

Ansökan om tillstånd enligt Kärntekniklagen för utbyggnad och fortsatt drift av SFR

## Bilaga Begrepp och definitioner

Begrepp och definitioner för ansökan om utbyggnad och fortsatt drift av SFR

## Bilaga F-PSAR SFR

Första preliminär säkerhetsredovisning för ett utbyggt SFR

## Bilaga AV PSU

Avvecklingsplan för ett utbyggt SFR  
Slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall

## Bilaga VOLS-Ansökan PSU

Verksamhet, organisation, ledning och styrning för utbyggnad av SFR –  
Ansökans- och systemhandlingskedje

## Bilaga VOLS-Bygg PSU

Verksamhet, organisation, ledning och styrning för utbyggnad av SFR – Tillståndsprövnings- och detaljprojekteringskedjet samt byggskedet.

## Bilaga MKB PSU

Miljökonsekvensbeskrivning för utbyggnad och fortsatt drift av SFR

## Bilaga BAT

Utbyggnad av SFR ur ett BAT-perspektiv

## Allmän del 1

Anläggningsutformning och drift

## Allmän del 2

Säkerhet efter förslutning

## Typbeskrivningar

- Preliminär typbeskrivning för hela BWR reaktortankar exklusive interndelar.
- Preliminär typbeskrivning för skrot i fyrkokill
- Preliminär typbeskrivning för hårdkomponenter i stältankar

## Kapitel 1

Inledning

## Kapitel 2

Förläggningsplats

## Kapitel 3

Konstruktionsregler

- Tolkning och tillämpning av krav i SSMFS
- Principer och metodik för säkerhetsklassning – Projekt SFR utbyggnad
- Säkerhetsklassning för projekt SFR-utbyggnad
- Acceptanskriterier för avfall, PSU

## Kapitel 4

Anläggningens drift

## Kapitel 5

Anläggnings- och funktionsbeskrivning

- Preliminär plan för fysiskt skydd för utbyggt SFR
- **SFR Förslutningsplan**
- Metod och strategi för informations- och IT-säkerhet, PSU

## Kapitel 6

Radioaktiva ämnen

- Radionuclide inventory for application of extension of the SFR repository - Treatment of uncertainties.
- Låg- och medelaktivt avfall i SFR.  
Referensinventarium för avfall 2013

## Kapitel 7

Strålskydd

- Dosprognos vid drift av utbyggt SFR

## Kapitel 8

Säkerhetsanalys för driftskedet

- SFR – Säkerhetsanalys för driftskedet

## Kapitel 9

Mellanlagring av långlivat avfall

- Ansökansinventarium för mellanlagring av långlivat avfall i SFR

## Main report

Safety analysis for SFR. Long-term safety. Main report for the safety assessment.

### FHA report

Handling of future human actions in the safety assessment

### FEP report

FEP report for the safety assessment

### Waste process report

Waste process report for the safety assessment

### Geosphere process report

Geosphere process report for the safety assessment

### Barrier process report

Engineered barrier process report for the safety assessment

### Biosphere synthesis report

Biosphere synthesis report for the safety assessment

### Climate report

Climate and climate related issues for the safety assessment

### Model summary report

Model summary report for the safety assessment

### Data report

Data report for the for the safety assessment

### Input data report

Input data report for the safety assessment

### Initial state report

Initial state report for the safety assessment

### Radionuclide transport report

Radionuclide transport and dose calculations for the safety assessment

### SDM-PSU Forsmark

Site description of the SFR area at Forsmark on completion of the site investigation

Samrådsredogörelse

Konsekvensbedömning av vattenmiljöer vid utbyggnad av SFR

Naturmiljöutredning inför utbyggnad av SFR, Forsmark, Östhammar kommun.



Öppen

Teknisk rapport

DokumentID 1358612	Version 1.0	Status Godkänt	Reg nr	Sida 1 (73)
Författare David Luterkort Björn Nyblad Hans Wimelius Anna Pettersson Behnaz Aghili			Datum 2014-04-22	
Kvalitetssäkrad av Lars-Göran Dahlgren (KG)			Kvalitetssäkrad datum 2014-04-25	
Godkänd av Peter Larsson			Godkänd datum 2014-04-28	
Kommentar Granskning har skett enligt granskningsprotokoll SKBdoc 1411611				

## SFR förslutningsplan

**Svensk Kärnbränslehantering AB**

Box 250, 101 24 Stockholm  
Besöksadress Blekholmstorget 30  
Telefon 08-459 84 00 Fax 08-579 386 10  
www.skb.se  
556175-2014 Säte Stockholm

## Sammanfattning

I slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall (SFR) i Forsmark slutförvaras det kortlivade låg- och medelaktiva driftavfallet från de svenska kärntekniska anläggningarna. Det finns behov av att slutförvara även rivningsavfall vilket har aktualiserats av att reaktorerna i Barsebäck har stängts. Det planeras och projekteras därför för en utbyggd del av SFR för att kunna omhänderta både drift- och rivningsavfall. En utbyggd del av SFR innebär att förvarskapaciteten utökas med en ny bergrumsanläggning som tillsammans med den befintliga anläggningen ska drivas och slutligen förslutas.

När beslut om slutlig avställning tagits, påbörjas avvecklingen av slutförvaret och fortsätter till dess att anläggningen slutligen har förslutits. En genomarbetad avvecklingsplan, som utgår ifrån förslutningssekvensen, upprättas i god tid innan förslutningsarbeten påbörjas. Rivning och nedmontering av befintliga system anpassas sedan till genomförandet av förslutningen. Efter avveckling och förslutning utgör anläggningen ett passivt förvar som kan lämnas utan att ytterligare åtgärder behöver vidtas för att upprätthålla förvarets funktion.

Syftet med förslutningsplanen är att ge en sammanhållen beskrivning av möjlig utformning och installation av förslutningskomponenter med hänsyn tagen till konstruktionsstyrande antaganden och förutsättningar. Förslutningsplanen ska även ge en sammanhållen beskrivning av förvarets barriärfunktioner vid förslutning. Som en del av förslutningsplanen beskrivs även kringgjutning av avfall i respektive förvarsutrymme, vilket utgör förberedelser/underlag för kommande förslutning.

Kringgjutning av avfall utförs med betong eller cementbaserat bruk och har till syfte att bland annat minimera både fritt vattenflöde kring avfallskollin och läckage av radioaktiva ämnen. Utformning och applicering av kringgjutning tar hänsyn till uppförda och planerade barriärkonstruktioner innehållande avfall, vilket innebär att kringgjutningen skiljer sig mellan olika förvarsutrymmen.

Efter avslutad kringgjutning tar arbeten med förslutning vid. Förslutningen innefattar installation av återfyllnadsmaterial och pluggar på utvalda platser i underjordsanläggningen. Syftet är att minska vattenflödet genom avfallet samt försvåra intrång. Förvarsutrymmena återfylls med makadam och pluggar installeras. Vidare installeras pluggar i nedfartstunnlarna och samtliga tunnelsystem återfylls med makadam.

Tidsplanen för när slutförvaret kan förslutas kopplas till när det sista avfallet deponeras samt när tillstånd om slutlig förslutning erhålls. I och med att förslutning med möjlig utformning och installation är framtagen med dagens teknik, finns behov av att utveckla och utvärdera presenterad utformning för förslutning framöver.

## Summary

The Final Repository for Short-Lived Radioactive Waste (SFR) is located in Forsmark, Sweden, and is currently being used for final disposal of short-lived low-and intermediate-level operational waste from Swedish nuclear facilities. Today SKB (the Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company) has started to work on a permit application to extend the repository to also host waste from decommissioning of the nuclear power plants. The planned extension will be directly adjoining the existing SFR, which means that the repository capacity will be enlarged with a new underground facility. When the SFR extension is completed, it will be fully incorporated with all systems in the existing facility.

The decommissioning phase begins after decision of final shutdown of SFR is taken, and continues until the repository has been completely sealed. Demolition and dismantling of existing systems is based on the closure sequence and is beforehand documented in a thorough decommissioning plan. After complete sealing and closure, the underground facility will function as an inactive repository without any further actions needed.

The purpose of this closure plan is to present a coherent description of possible design options and methods for installation of the sealing components based on requirements, assumptions and other design bases that have governed the design at this stage. As part of the closure plan, methods for grouting of waste packages are also presented.

The composition of the grout and method used for grouting of waste will differ between different repository parts due to the differences in barrier design. For that reason different grout solutions are presented in this report.

When grouting of waste packages has been completed, sealing and closure will begin. The closure includes installation of backfill and plugs with the intention to reduce water flow around waste packages and mitigate access to the facility. Rock vaults and silo will be backfilled with macadam. Plugs will be installed in access tunnels and the remaining tunnel system backfilled with macadam.

When sealing and closure of SFR will occur depends on when the final waste will be deposited and when permission of final closure is obtained. The design and installation presented in this report considers today's technology, which means that there is a need to develop and evaluate closure design with regard to expected technology development in the near future.

# Innehåll

<b>Sammanfattning .....</b>	<b>2</b>
<b>Summary .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Inledning.....</b>	<b>7</b>
1.1 Bakgrund .....	7
1.2 Syfte.....	9
1.3 Avgränsningar .....	9
1.4 Definitioner, begrepp och förkortningar.....	9
<b>2 Allmänna konstruktionsförutsättningar .....</b>	<b>13</b>
2.1 Lagar och föreskrifter .....	13
2.2 Konstruktionsstyrande antaganden.....	13
<b>3 Kringgjutning av avfall.....</b>	<b>15</b>
3.1 Konstruktionsstyrande antaganden och förutsättningar.....	15
3.1.1 Konstruktionsstyrande antaganden .....	15
3.1.2 Förutsättningar .....	15
3.2 Kringgjutning av avfall i 1BMA .....	16
3.2.1 Förvarets tillstånd inför kringgjutning .....	16
3.2.2 Kringgjutning .....	18
3.3 Kringgjutning av avfall i Silo .....	19
3.3.1 Förvarets tillstånd inför kringgjutning .....	19
3.3.2 Kringgjutning .....	19
3.4 Kringgjutning av avfall i 1BTF .....	20
3.4.1 Förvarets tillstånd inför kringgjutning .....	20
3.4.2 Kringgjutning .....	21
3.5 Kringgjutning av avfall i 2BTF .....	22
3.5.1 Förvarets tillstånd inför kringgjutning .....	22
3.5.2 Kringgjutning .....	23
3.6 Kringgjutning av avfall i 2BMA .....	23
3.6.1 Förvarets tillstånd inför kringgjutning .....	23
3.6.2 Kringgjutning .....	24
3.7 Kringgjutning av avfall i 1BRT .....	25
3.7.1 Förvarets tillstånd inför kringgjutning .....	25
3.7.2 Kringgjutning .....	25
<b>4 Förslutning av SFR.....</b>	<b>27</b>
4.1 Konstruktionsförutsättningar .....	27
4.1.1 Antaganden baserade på utvärdering av långsiktig säkerhet.....	27
4.1.2 Vatteninflöden och dess påverkan på utformning.....	28
4.1.3 Skadad zon .....	29
4.1.4 Fasta driftinstallationer.....	29
4.1.5 Befintliga konstruktioner.....	29
4.1.6 Arbetsmiljö.....	29
4.1.7 Strålningsrisker .....	29
4.1.8 Logistik .....	29
4.2 Konceptuell utformning av förslutning SFR .....	30
4.2.1 Översikt försluten anläggning.....	30
4.2.2 Övergripande förslutningssekvens .....	30
4.2.3 Hantering av inflödande vatten vid förslutningsarbeten .....	32
4.3 Motiv till konceptuell utformning .....	33

4.3.1	Motiv till utformning av pluggar i anslutning till bergssalar, silo samt nedfartstunnlar	33
4.3.2	Motiv till utformning av återfyllnadsmaterial i bergssalar	33
4.3.3	Motiv till att återfylla tunnelsystem och nedfartstunnlar	34
4.3.4	Motiv till borrhålsförslutning	34
4.4	Förslutning av bergssalar	35
4.4.1	Referensutformning	35
4.5	Förslutning av silo	43
4.5.1	Referensutformning	43
4.6	Förslutning av nedfartstunnlar och tunnelsystem	45
4.6.1	Referensutformning	45
4.7	Toppförslutning	46
4.8	Förslutning av borrhål	47
4.8.1	Referensutformning	47
4.9	Förslutningskomponenter	48
4.9.1	Återfyllnadsmaterialet makadam	48
4.9.2	Betongplugg	48
4.9.3	Övergångsmaterial i jorddammsplugg	50
4.9.4	Bentonit i hydrauliskt täta sektioner	51
4.9.5	Komponent som utgör borrhålsförslutning	52
<b>5</b>	<b>Krav på andra system</b>	<b>53</b>
5.1	Kringgjutning av avfall	53
5.2	Förslutning av SFR	53
<b>6</b>	<b>Fortsatt teknikutveckling och verifiering</b>	<b>54</b>
6.1	Kringgjutning av avfall	54
6.2	Förslutning av SFR	54
6.2.1	Konceptuell utformning av förslutning	54
6.2.2	Återfyllnadsmaterial i bergssalar	54
6.2.3	Återfyllning och pluggning av silo	54
6.2.4	Betongpluggar	55
6.2.5	Övergångsmaterial i jorddammsplugg	55
6.2.6	Material i hydrauliskt täta sektioner	55
6.2.7	Berguttag i hydrauliskt täta sektioner	55
6.2.8	Förslutning av borrhål	55
<b>7</b>	<b>Referenser</b>	<b>56</b>
<b>Bilaga 1</b>		<b>58</b>
<b>A. Bergssalar</b>		<b>58</b>
A.1	Installation av återfyllnadsmaterial	58
A.2	Installation av pluggar	60
<b>B. Silo</b>		<b>65</b>
B.1	Installation av återfyllnadsmaterial i silotopp	65
B.2	Installation av pluggar vid silon	65
<b>C. Nedfartstunnlar och tunnelsystem</b>		<b>69</b>
C.1	Installation av återfyllnadsmaterial	69
C.2	Installation av pluggar i förbindelseschakt	70
C.3	Installation av pluggar i nedfartstunnel	70
<b>D. Toppförslutning</b>		<b>70</b>
D.1	Installation av toppförslutning	70
<b>E. Borrhål</b>		<b>71</b>

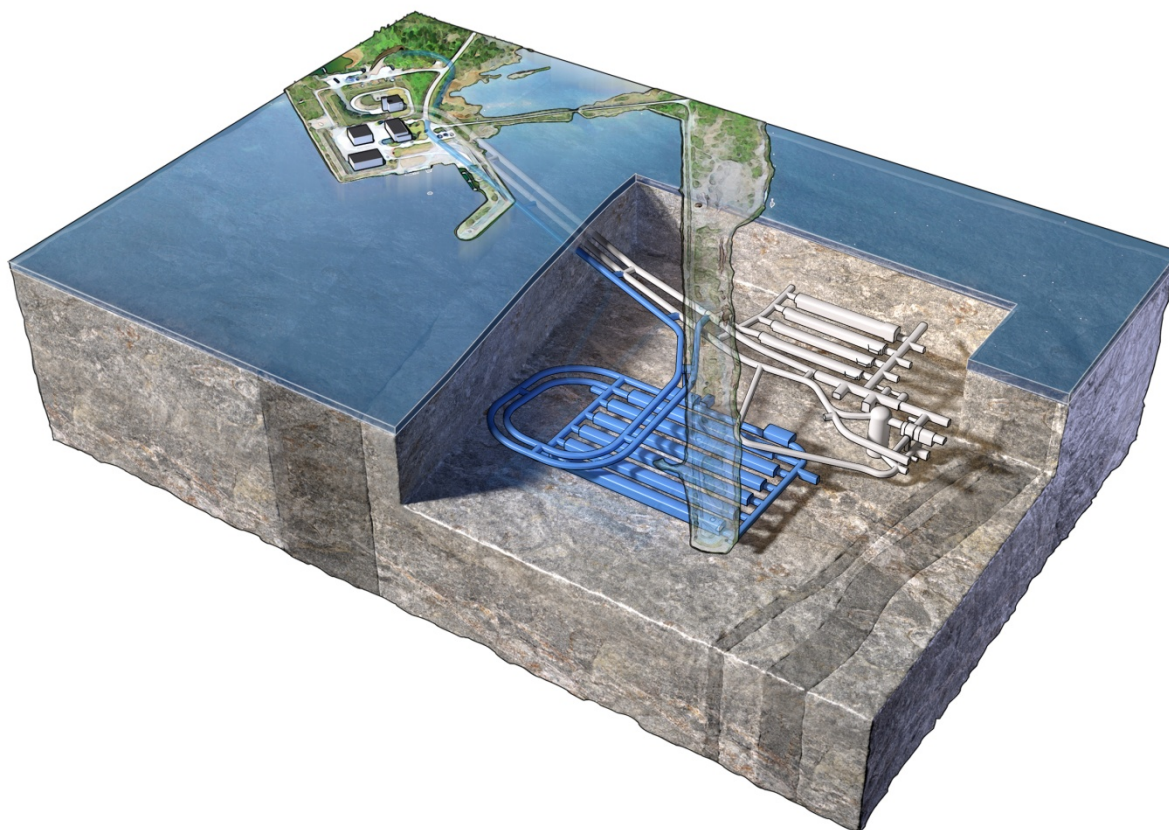
E.1	Installation .....	71
<b>F.</b>	<b>Lagerhållning och logistik.....</b>	<b>72</b>
F.1	Transport av makadam .....	73
F.2	Transport av bentonit.....	73
F.3	Transport av övriga material.....	73

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

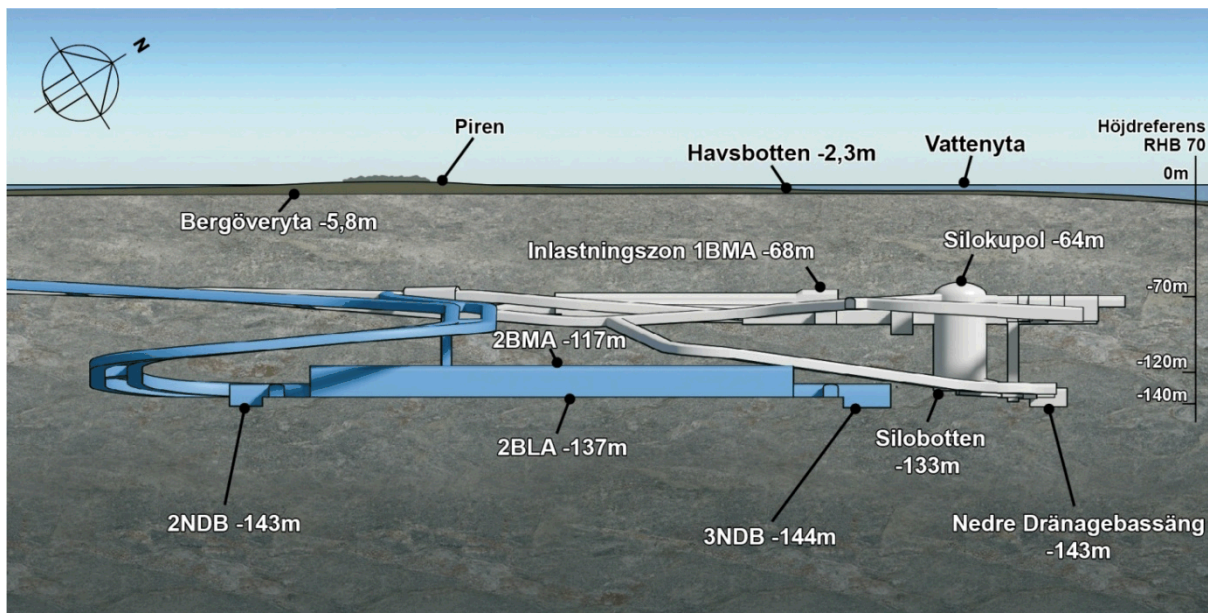
I slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall (SFR) i Forsmark slutförvaras kortlivat låg- och medelaktivt driftavfall från de svenska kärntekniska anläggningarna. Anläggningen ägs av SKB och har varit i drift sedan 1988. En utbyggnad av SFR behövs för att anläggningen ska kunna ta emot även kortlivat låg- och medelaktivt rivningsavfall från de kärntekniska anläggningarna, eftersom befintlig anläggning varken har utrymme eller tillstånd att ta emot rivningsavfall, Figur 1-1 och Figur 1-2. Behovet har aktualiserats av att de båda reaktorerna i Barsebäck har stängts. För att reaktorerna ska kunna rivras måste det finnas kapacitet att ta emot och slutförvara rivningsavfallet. På grund av att kärnkraftverkens drifttider har förlängts har SFR inte heller utrymme att ta emot allt kortlivat låg- och medelaktivt driftavfall. En mindre del av detta kommer därför också att slutförvaras i utbyggnaden.

Det finns även ett behov av att mellanlagra långlivat låg- och medelaktivt avfall i väntan på slutförvaring. Avsikten är att mellanlagra detta avfall i en bergssal i det utbyggda SFR till dess att ett slutförvar för långlivat avfall står färdigt.



**Figur 1-1.** Översikt av SFR. Vit del är befintligt SFR och blå del är planerad utbyggnad av SFR.

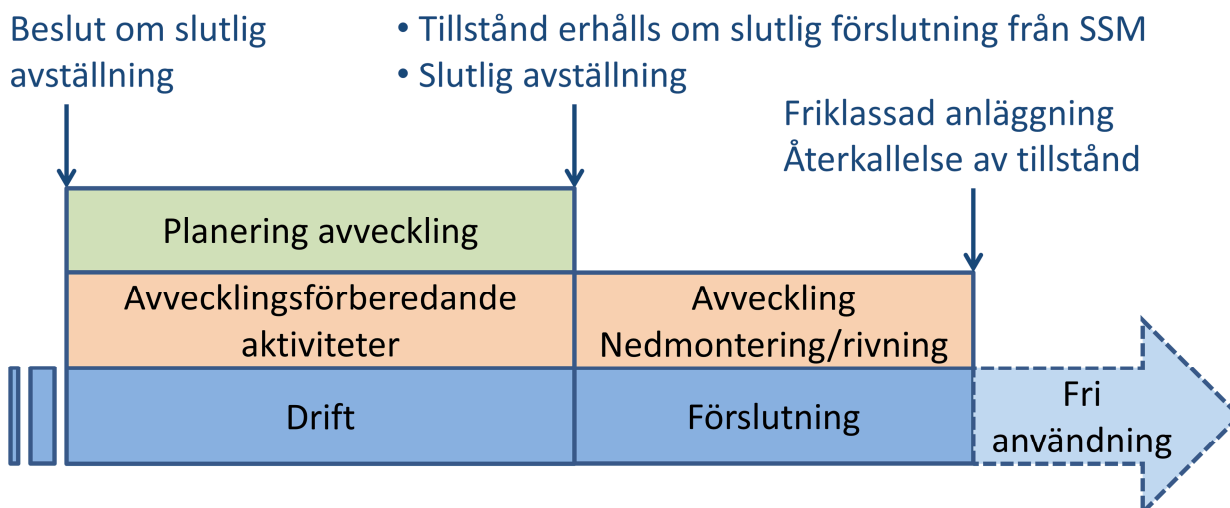




**Figur 1-2.** Vy av SFR i profil. Vit del är befintligt SFR och blå del är planerad utbyggnad av SFR.

SFR är dimensionerat för att ta emot låg- och medelaktivt radioaktivt avfall, där försvardsdelen är utformad som en berggrumsanläggning under havet vilken nås via nedfartstunnlar från en anläggningsdel ovan jord. SFR består alltså av en underjordsdel förlagd i berg och en ovanjordsdel.

När beslut om slutlig avställning tagits, påbörjas avvecklingen av slutförvaret och fortsätter till dess att anläggningen slutligen har förslutits, Figur 1-3. En genomarbetad avvecklingsplan, som utgår ifrån förslutningssekvensen, upprättas i god tid innan förslutningsarbeten påbörjas. Rivning och nedmontering av befintliga system anpassas sedan till genomförandet av förslutningen. Efter avveckling och förslutning utgör anläggningen ett passivt förvar som kan lämnas utan att ytterligare åtgärder behöver vidtas för att upprätthålla förvarets funktion.



**Figur 1-3.** Slutsekvensen av slutförvarsanläggningens livslängd.

## 1.2 Syfte

Förslutningsplanen ska ge en sammanhållen beskrivning av möjlig utformning och installation av förslutningens samtliga delar av underjordsanläggningen baserat på konstruktionsstyrande antaganden och förutsättningar. Förslutningsplanen ska även ge en sammanhållen beskrivning av förvarets barriärfunktioner vid förslutning. Som en del av förslutningsplanen behandlas även kringgjutning av avfall i respektive förvarsutrymme. Förslutningsplanen utgör även underlag till delprojekt projektering och långsiktig säkerhet.

## 1.3 Avgränsningar

Förslutningsplanen behandlar både kringgjutning och förslutning genom återfyllning, pluggning, toppförslutning och borrhålsförslutning. Andra möjliga förslutningsstrategier behandlas ej. Anläggningsdelar som ska rivs och som har en påverkan på förslutningsarbeten nämns kortfattat i förslutningsplanen. Utöver det behandlas ej avvecklingsarbeten. Systemens långsiktiga degradering efter förslutning beaktas ej i förslutningsplanen. Denna rapport beskriver inte utformningen av fordon som kommer att användas vid transporter av förslutningsmaterial.

## 1.4 Definitioner, begrepp och förkortningar

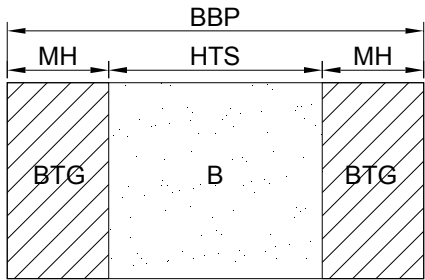
I Tabell 1-1 definieras de förkortningar som används för tunnlar och bergssalar. I Tabell 1-2 definieras ett urval begrepp och förkortningar som används i rapporten.

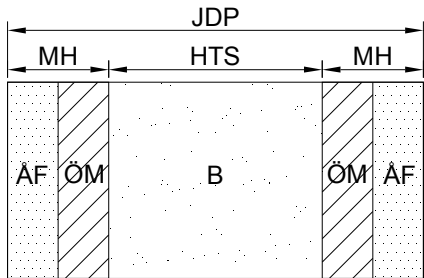
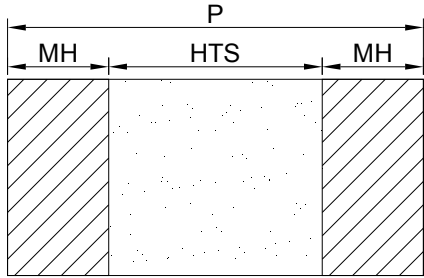
**Tabell 1-1.** Förkortningar för tunnlar och bergsrum. Vid angivelse av förkortning med ett nummerprefix anger det ett löpnummer. Detta visas ej i tabellen.

BLA	Bergssal för lågaktivt avfall	IB	Inlastningsbyggnad
BMA	Bergssal för medelaktivt avfall	NBT	Nedre byggtunnel
BRT	Bergssal för reaktortankar	RTT	Reaktortankstransporttunnel
BST	Bergssalstunnel	S	Silo
BT	Byggtunnel	SBT	Silobottentunnel
BTF	Bergssal för betongtankar	SDT	Silodränagetunnel
CT	Centraltunnel	ST	Silotunnel
DT	Drifttunnel	STT	Silotaktunnel
FS	Förbindelseschakt	TIT	Teknikinstallationstunnel
GS	Genomstick	TT	Tvårtunnel
		VB	Ventilationsbyggnad

**Tabell 1-2.** Begrepps- och definitionslista

Avveckling	Åtgärder som vidtas av tillståndshavaren efter slutlig avställning av en anläggning för att på ett säkert sätt nedmontera och riva anläggningen samt hantera det kärnämne och det kärnavfall som finns på anläggningsplatsen.
Barriär (drift)	Fysiskt hinder mot spridning av radioaktiva ämnen.

Barriär (efter förslutning)	Har till funktion att på ett eller flera sätt medverka till att innesluta, förhindra eller fördröja spridning av radioaktiva ämnen, antingen direkt, eller indirekt genom att skydda andra barriärer i barriärsystemet.
Barriärfunktion	Barriärers olika sätt att fungera och som också avser en barriärs förmåga att skydda och bevara funktionen hos andra barriärer.
Bentonit	En stark vattenuptagande och svällande naturlig vulkanisk lera med låg vattengenomsläpplighet.
Bentonit-betongplugg	<p>Plugg sammansatt av hydrauliskt tät sektion av bentonit och betongpluggar (mekaniska mothåll av betong).</p>  <p><i>Princip för bentonit-betongplugg. Förklaring:</i></p> <p>BBP = bentonit-betongplugg  HTS = hydrauliskt tät sektion  MH = mekaniskt mothåll  BTG = betong  B = bentonit.</p>
Bergssal	Se försvarsutrymme.
Betongplugg	Avser i detta dokument ett mekaniskt mothåll av betong.
Detaljprojektering	Aktiviteter som möjliggör upphandling av entreprenader för utförande.
Driftförslutning	Tillslutning, under driftskedet, av en del av ett försvarsutrymme som fyllts med avfall.
Driftskede	<p>Perioden efter att strålsäkerhetsmyndigheten meddelat tillstånd för provdrift, vilket senare ersätts av tillstånd för rutinmässig drift, fram till start avveckling.</p> <p>För SFR definieras tre driftlägen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deponering av avfall</li> <li>• Transport av avfall</li> <li>• Stationärt läge</li> </ul>
Friktionsmaterial	Jordmaterial eller produkt av krossat berg som ur hållfasthetsaspekt inte beter sig kohesivt. Materialets enda hållfasthetsparameter är dess inre friktionsvinkel. Exempel på friktionsmaterial är sand. Exempel på kohesionsmaterial är lera.
Förslutning	Tillslutning av bergrum och tunnelsystem med återfyllnadsmaterial och pluggar
Försvarsutrymme	Ett utrymme i slutförvaret i vilket avfall placeras för slutlig förvaring t.ex. BLA och BMA
Hydrauliskt tät sektion	Tunnelsektion som genom låg hydraulisk konduktivitet begränsar vattenflödet genom sektionen. Detta åstadkoms genom installation av material med låg hydraulisk konduktivitet. Benämns även kort ”tät sektion” eller ”täta sektioner”.
Initialtillstånd	Tillstånd som råder i SFR och dess omgivning direkt efter förslutning. Initialtillståndet bygger på kontrollerade och dokumenterade egenskaper hos försvarssystem och dess omgivning samt bedömning av utvecklingen under tiden fram till och med förslutning.

Jorddammsplugg	<p>Plugg sammansatt av hydrauliskt tät sektion av bentonit och mekaniska mothåll av övergångsmaterial och återfyllnadsmaterial.</p>  <p><i>Princip för jorddammsplugg. Förklaring:</i></p> <p>JDP = jorddammsplugg HTS = hydrauliskt tät sektion MH = mekaniskt mothåll ÖM = övergångsmaterial ÅF = återfyllnadsmaterial B = bentonit</p>
Kanalbildning	Bildandet av partikel- och vattenförande kanaler i material. Kan bildas vid erosion med strömmande vatten.
Kringgjutning	Omslutning av avfallspaket med cementbaserat bruk eller betong.
Krossat berg	Avser produkter av krossat kristallint berg generellt.
Layout	De ingående delarnas rumsliga disposition, storlek och geometri.
Makadam	Krossat kristallint berg siktat i fraktioner 2-65 mm. Makadam har inget eller mycket lite fint material (kornstorlek < 2mm). Fraktionen anges som intervall tex innebär "Makadam 4-8" krossat berg i fraktionen 4-8 mm.
Mekaniskt mothåll	Avser i detta dokument den del i pluggar som utformas för att motstå mekaniska laster av framför allt bentonitens svälltryck. Dess uppgift är att hålla bentoniten på plats.
Morän	Naturligt jordmaterial som bildats i anslutning till den senaste istiden. Morän är ett månggraderat material med kornstorlekar som spänner från lerpartiklar till stora block med flera meters diameter. Morän är ett jordmaterial med relativt hög hållfasthet och relativt låg hydraulisk konduktivitet.
NSP	Nedre siloplugg.
PIBST	Plugg i 1BST.
P1BTF	Plugg i 1BTF.
P1TT	Plugg i 1TT.
P2BST	Plugg i 2BST.
P2TT	Plugg i 2TT.
Plugg	<p>Konstruktion som motstår mekaniska laster samt minskar vattenströmning förbi pluggposition. Denna kan bestå av en mekanisk plugg och en hydrauliskt tät sektion eller en sammansatt konstruktion som både motstår mekaniska laster och minskar vattenflödet förbi pluggen.</p>  <p><i>Exempel på princip för plugg. Förklaring:</i></p> <p>HTS = hydrauliskt tät sektion MH = mekaniskt mothåll (av betong eller övergångsmaterial tillsammans med återfyllnadsmaterial).</p>

Referensutformning	Utformning som är giltig från en definierad tidpunkt till dess annat beslutats. Fastställd referensutformning ska användas som förutsättning för teknikutveckling, projektering och analyser av säkerhet, strålskydd och miljöpåverkan. Referensutformning kan vara generell eller platspecifik.
RHB70	En beteckning för höjder med ursprung i RH 70 (Rikets höjdsystem 1970). I gällande höjdsystem RHB70 motsvaras nollnivån i princip av havsytans nivå.
Samkross	Krossat berg med fraktioner innehållande finmaterial. Exempel på fraktion är 0-63 eller 0-90 mm.
SFR	Slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall.  <i>Anm. Består av anläggningsdelarna befintligt SFR (SFR1) och utbyggd del av SFR (SFR3) samt ovanjordsanläggning.</i>
Silo	Cylindriskt förvarsutrymme för medelaktivt avfall. I silon förvaras huvuddelen av all aktivitet som kommer till SFR.  Se även förvarsutrymme.
Skadad zon (EDZ)	Excavation Damaged Zone. Det berg runt ett berguttag där irreversibla förändringar ägt rum.  <i>Anm. Används i denna rapport för att beskriva den zon i berget nära tunneln som på grund av berguttag med konventionell borrhning och sprängning fått en ökad transmissivitet.</i>
Slutförvar	Förvar för slutligt omhändertagande av radioaktivt avfall, som efter att avfallet deponerats kan förslutas och sedan överges utan att ytterligare åtgärder erfordras.  <i>Anm. I denna ansökan avses Slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall. Se även SFR.</i>
STP	Silotakplugg.
Tekniska barriärer	Barriärer i ett slutförvar som är tillverkade av människan.
Toppförslutning	Avser förslutning av övre del av nedfartstunnlar. Syftar till att försvåra intrång.
Utformning	Principiell utformning, placering och längd av pluggar samt typ av återfyllnadsmaterial i tunnlar.
Återfyllnadsmaterial	Material som används för att fylla tunnlar och bergssalar.
Återfyllning	Processen att fylla tunnlar och bergsrum med återfyllnadsmaterial.
ÖSP	Övre siloplugg.
Övergångsmaterial	Vidarebefordrar lasten från bentonitens svällning till bakomliggande återfyllnadsmaterial samt säkerställer att bentoniten från den hydrauliskt täta sektionen inte transporteras ut i återfyllningen i bergssalar eller transporttunnlar i en omfattning som menligt påverkar den tätande sektionens funktion.

## 2 Allmänna konstruktionsförutsättningar

Antagna krav som påverkar utformningen av kringgjutningen och förslutningen kommer från svenska lagar och föreskrifter samt från olika intressenter såsom SKB:s ägare och SKB:s interna beställare. För att identifiera antagna krav genomfördes en inventering där relevanta krav från olika tänkbara intressenter identifierades. Med utgång från denna inventering formulerades en antagna kravbild som styr teknikutveckling och utformning av kringgjutning och förslutning. Den antagna kravbilden är en tolkning av vilka funktioner och egenskaper som de olika utformningarna för kringgjutning och förslutning ska ha för att motsvara intressenternas krav.

### 2.1 Lagar och föreskrifter

De lagar och föreskrifter som i huvudsak styr utformningen, uppförande och fortsatt drift av anläggningen redovisas nedan. Utöver lagar och föreskrifter tillämpas även regelverk, normer, guider samt standarder. Sammantaget utgör dessa externa krav för SFR. En mer utförlig beskrivning presenteras i ”F-PSAR SFR – Allmän del 1 kapitel 3 – konstruktionsregler” (SKBdoc 1220377).

- Lagen om kärnteknisk verksamhet, KTL (SFS 1984:3)
- Strålskyddslagen, SSL (SFS 1988:220)
- Miljöbalken, MB (SFS 1998:808)
- Plan- och bygglagen, PBL (SFS 2010:900)
- Arbetsmiljölagen, AML (SFS 1977: 1160)

### 2.2 Konstruktionsstyrande antaganden

Kringgjutning av avfall sker antingen successivt vartefter avfall deponeras eller när allt avfall har deponerats i förvarsutrymmena. Driften av anläggningen förutsätts vara avslutad när förslutning påbörjas. Det är sedan möjligt att arbeten med kringgjutning kan pågå parallellt med förslutningen om det är logistiskt fördelaktigt. Det antas dock i detta skede att kringgjutningen är utförd när förslutningen påbörjas.

Som utgångspunkt för utformningen av kringgjutning och förslutning görs ett antal initiala antaganden om vilka egenskaper som kan tänkas vara fördelaktiga för den långsiktiga säkerheten och som samtidigt är rimliga ur andra aspekter, se avsnitt 3 och avsnitt 4.1.

En av de mest betydelsefulla aspekterna vid framtagning av en utformning är dess bidrag och påverkan på anläggningens långsiktiga säkerhet, det vill säga barriärernas förmåga att efter förslutning förhindra eller fördröja utsläpp av radioaktiva ämnen. Utformningen av förslutningen är sammankopplad med analys av den långsiktiga säkerheten och därmed en del av en iterativ process. Först efter en omfattande analys kan en styrande kravbild för den aktuella utformningen fastställas med avseende på säkerhet efter förslutning. Därför baseras vissa antaganden om krav på tidigare säkerhetsanalys, vilka utvärderas och sammanfattas i ”Plan för förslutning av SFR1 utifrån antaganden i SAR-08” (SKBdoc 1240154).

**Tabell 2-1.** Relevanta antagna krav som blir konstruktionsstyrande.

Antagna krav
Varje teknisk lösning ska vara genomförbar.
Tekniska barriärers egenskaper skall vara möjliga att analysera, det vill säga det ska vara möjligt att fastställa barriärernas initialtillstånd och att kunna förutsäga barriärernas framtida utveckling.
Metoder för beredning av material och installation ska så långt möjligt vara baserade på erfarenheter och etablerad praxis från liknande tillämpningar.

Om erfarenheter saknas eller ej är tillräckliga ska metoder för beredning av material och installation utprövas och demonstreras.

Barriärerna ska utformas så att installation kan genomföras med hög tillförlitlighet.

### 3 Kringgjutning av avfall

I detta kapitel behandlas kringgjutning av avfall i befintliga och planerade förvarsutrymmen. Kringgjutning utgör förberedelse/underlag för den kommande förslutningen, vilket innebär att det ingår i referensutformningen för förslutning av bergssalarna och silon, se vidare kapitel 4 för referensutformning.

#### 3.1 Konstruktionsstyrande antaganden och förutsättningar

Kringgjutning av avfall kan antingen utföras under drift vartefter avfall deponeras alternativt efter avslutad deponering och i samband med förslutning. Den tillslutning av förvarsutrymmen som sker redan under drifttiden benämns vidare driftförslutning. Driftförslutning ska därmed inte förväxlas med den förslutning som genomförs när allt avfall har deponerats och tillstånd om slutlig förslutning erhållits.

##### 3.1.1 Konstruktionsstyrande antaganden

Kringgjutningens syfte är främst förstärkning av skyddet mot brand och strålning, stabilisering av avfallskollin mot tippning samt att utgöra förberedelser/underlag för förslutning av förvarsutrymmen efter avslutad drift. Utöver detta ska kringgjutningen även förhindra att inläckande vatten kommer i direktkontakt med avfallskollin.

Oavsett när i tiden kringgjutning utförs ska den:

- Fylla hålrum mellan avfallskollin och minimera fritt vattenflöde kring dessa
- Fördröja lakningsprocessen och minimera läckage av radioaktiva ämnen
- Inte skada befintliga barriärer/konstruktioner eller avfallskollin under och/eller efter applicering
- Medge avledning av den gas som bildas vid korrosion och nedbrytning av avfall för att minimera risken för tryckuppbyggnad och förträngning av kontaminerat vatten från förvaret
- Begränsa mikrobiell aktivitet genom att bidra till en kemisk miljö med högt pH

Det återstår att ta fram en detaljerad kravspecifikation för kringgjutning avseende kvantitativa och kvalitativa materialkrav samt krav på den tekniska genomförbarheten för förvarsutrymmen i den utbyggda delen av SFR, det vill säga 2BMA och 1BRT. Gällande de befintliga förvarsutrymmena, 1BMA, silo och 1-2BTF, behöver även en översyn av redan framtagna krav utföras med hänsyn tagen till ny utförd teknikutveckling.

##### 3.1.2 Förutsättningar

I förvarsutrymmena 1BMA, 2BMA, silo samt 1-2BTF förutsätts driftförslutning utföras. Detta innebär att följande förutsätts utföras stegvis under drifttiden vartefter avfall deponeras:

**1BMA:** Placering av 400 mm tjocka strålskärmande prefabricerade betongelement över respektive fack med en efterföljande tunn pågjutning i betong på cirka 50 mm.

**2BMA:** Kringgjutning av avfallskollin samt gjutning av 500 mm tjocka oarmerade betonglock på respektive kassun.

**Silo:** Kringgjutning av avfallskollin

**1BTF:** Kringgjutning av plåtfat samt placering av 400 mm tjocka strålskärmande prefabricerade betongelement ovanpå avfallskollin.



**2BTF:** Placering av 400 mm tjocka strålskärmande prefabricerade betongelement ovanpå avfallskollin.

I de fall där kringgjutning av avfallskollin inte görs under drift förutsätts det utföras efter avslutad drift och inför förslutning.

Kringgjutning av avfallskollin förutsätts utföras med cementbaserat bruk eller betong. I befintliga förvarsutrymmen har betongkonstruktionerna redan uppförts, vilket betyder att vid konstruktionernas uppförande beaktades material och applicering för kringgjutning med dåtidens kunskap. I och med teknikutveckling och ny kunskap inom området anpassas kringgjutningsbruk och appliceringsteknik till de rådande förhållandena och med dagens teknik. I de förvarsutrymmen där betongkonstruktion ännu ej uppförts har kringgjutning beaktats i samband med framtagning av den konceptuella utformningen, vilken förutsätter att tillräckligt med utrymme finns för att en tillfredställande kringgjutning ska åstadkommas.

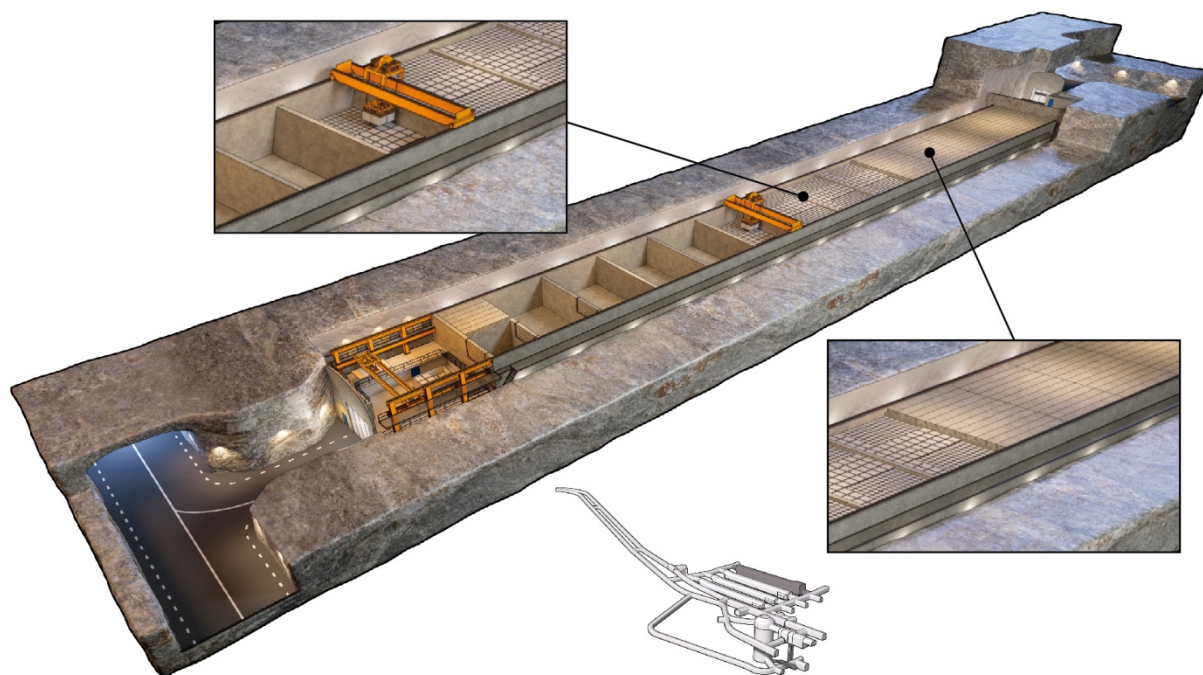
Ett omfattande undersökningsprogram innefattande statusbedömningar har utförts på betongkonstruktionens aktuella tillstånd i 1BMA. Under detta arbete har olika typer av skador noterats på betongkonstruktionerna, exempelvis sprickbildning och armeringskorrosion. De påvisade skadorna som har upptäckts på betongkonstruktionen och som befaras påverka den dagliga driften åtgärdas under drifttiden. Resterande skador förutsätts åtgärdas i samband med förslutning. Kringgjutning av avfall i 1BMA förutsätts utföras i samband med de åtgärder som vidtas i samband med förslutningen eller när samtliga delar av betongkonstruktionen har åtgärdats.

## **3.2 Kringgjutning av avfall i 1BMA**

### **3.2.1 Förvarets tillstånd inför kringgjutning**

I 1BMA finns en cirka 140 m lång armerad betongkonstruktion som är indelad i 13 stycken stora respektive två mindre fack. I varje fack deponeras avfallskollin av typen betongkokiller, plåtkokiller och plåtfat, Figur 3-1. Detta sker löpande med en fjärrstyrd travers vartefter avfallet anländer till SFR, där kokiller staplas i sex lager och fat staplas i åtta lager. Vartefter facken fylls driftförsluts de med strålskärmande prefabricerade betongelement varpå ett tunt betongskikt gjuts på.

Betongkonstruktionens långsida är försedd med sex igjutningshål per sida och fack, placerade i par, avsedda för applicering av kringgjutningsbruk kring avfallskollin.



**Figur 3-1.** Bergssal för medelaktivt avfall, 1BMA, i befintligt SFR under drifttiden

### **Statusbedömningar**

Betongkonstruktionen i 1BMA utformades vid uppförandet för en planerad drifttid på 30 år baserat på tidigare beslut att förslutning skulle ske cirka år 2010. I och med avfallsoptimering och nya beslut gällande förlängd drifttid av de svenska kärnkraftverken har anläggningens förslutning senarelagts. Därför har ett omfattande undersökningsprogram innefattande statusbedömningar av betongkonstruktionens aktuella tillstånd utförts. Detta för att säkerställa att ställda krav på driftsäkerhet liksom att ställda krav på säkerhet efter förslutning uppfylls.

### **Bedömning av åtgärdsbehov**

De utförda statusbedömningarna har påvisat att betongkonstruktionen i 1BMA har skador och brister som befaras äventyra betongkonstruktionens förmåga att uppnå ställda säkerhetskrav, kortsiktigt såväl som långsiktigt. Inspektionerna visar främst på sprickbildning och armeringskorrosion, vilka kan härledas till projekteringskedet, byggskedet, driftskedet eller en kombination av två eller samtliga skeden. Genomgripande reparations- och förstärkningsåtgärder måste därför vidtas för att säkerställa den dagliga driften samt för att uppnå det antagna initialtillståndet vid förslutning.

Armeringskorrosionen har störst effekt på den dagliga driften eftersom delaminering av betongens täcksikt, skapad av korrosion, har lett till försämrat strålskydd och reducerad lastkapacitet för traversen. Det bedöms därför vara nödvändigt att vidta åtgärder under drifttiden. Effekten av genomgående sprickor under drifttiden är marginell, medan de efter förslutning kan försämra betongkonstruktionens motståndsförmåga mot vattengenomströmning. Bedömningen är därför att genomgående sprickor måste åtgärdas. Rekommendationen är att utföra det i samband med förslutning för att säkerställa att det antagna initialtillståndet uppnås.

I förslutningsplanen behandlas fortsättningsvis endast de reparations- och förstärkningsåtgärder som förutsätts vidtas i samband med förslutning.

### **Injektering av genomgående sprickor**

De genomgående sprickorna som har identifierats i betongkonstruktionen sammanfaller ofta med gjutfogar som återfinns i både betongkonstruktionens ytterväggar och bottenplatta. För att åtgärda de genomgående sprickorna kan exempelvis injektering med ett cementbaserat bruk användas, vilket ger en lagning med egenskaper likt omkringliggande betong. Metoden återställer därmed konstruktionen till dess prestanda vid uppförandet, förutsatt att betongkonstruktionens armeringskorrosion har omhändertagits och kloridinfekterad betong har avlägsnats. För att erhålla eftersökt resultat på injekteringen förväntas injekteringsbruket ha god beständighet, flytförmåga samt goda inträngningsegenskaper. Möjligheterna för efterkontroll kan tillgodoses, men är begränsad för bottenplattan.

### **Förstärkning genom pågjutning**

För att ytterligare förstärka betongkonstruktionen finns möjlighet att utföra en pågjutning med betong på betongkonstruktionens befintliga ytterväggar. Denna förstärkning säkerställer konstruktionens förmåga att motstå belastningar som uppkommer vid återfyllning av den fria bergvolymen utanför förvarskonstruktionen. Den kan även ses som en tätning av de befintliga ytterväggarna.

För att pågjutningen ska kunna utgöra en förstärkning av betongkonstruktionen behövs antingen fullständig vidhäftning eller delvis vidhäftning mellan befintlig och ny yta. Fullständig vidhäftning innebär att en samverkanskonstruktion erhålls, vilket betyder att befintliga laster som konstruktionen utsätts för överförs till den nya pågjutningen. Detta åstadkoms genom preparering av motgjutningsytan genom vattenbilning som ger en ren motgjutningsyta, fri från mikrosprickor. Delvis vidhäftning innebär att vidhäftningen är osäker och risk finns då för uppkomsten av lokala bompartier. För en konstruktion som saknar vidhäftning eller där vidhäftning inte kan säkerställas, dimensioneras hela tvärsnittet för att uppta laster.

### **3.2.2 Kringgjutning**

Inför förslutning och efter avslutad drift kringgjutts avfallskollin fackvis med ett särskilt kringgjutningsbruk. Kringgjutningen kan antingen utföras i samband med de reparations- och förstärkningsåtgärder som sker inför förslutning alternativt efter att dessa är utförda. I och med att åtgärder vidtas för att säkerställa barriärens integritet långsiktigt, kommer befintliga igjutningshål att förseglas. Kringgjutning utförs således inte som det ursprungligen var tänkt genom användning av igjutningshålen. Behov finns därför av att utreda en ny appliceringsteknik. I dagsläget ses det nödvändigt att fördela kringgjutningen på två till tre gjutningar per fack för att minimera de påfrestningar på förvarets ytterväggar och mellanväggar som gjuttrycket utgör.

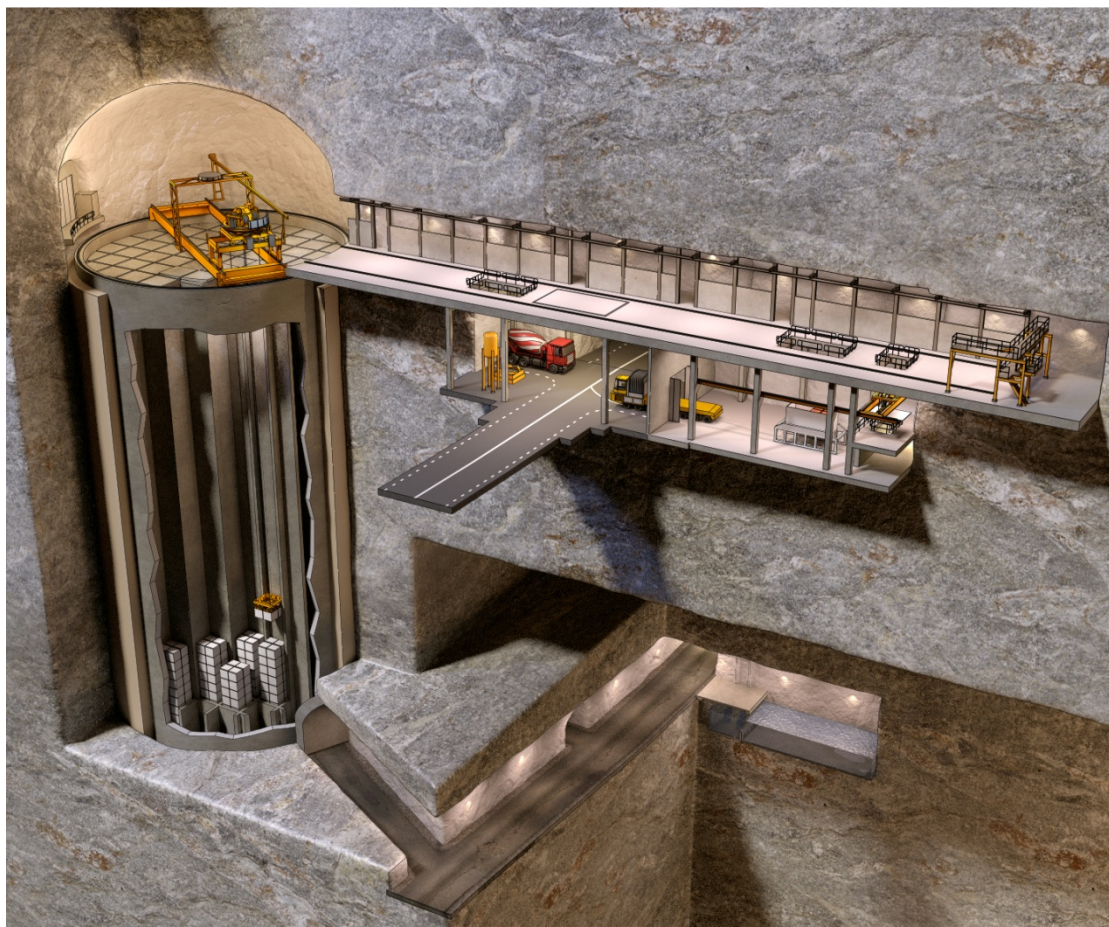
En tidigare utförd studie rörande kringgjutning i 1BMA med ett kringgjutningsbruk framtaget för användning i betongsilon med spalter på cirka 70 mm, visar på att detta kringgjutningsbruk inte är lämpligt för användning i 1BMA (Pettersson och Thunberg 2012). Ett nytt kringgjutningsbruk måste därför utvecklas där hänsyn tas till de rådande förhållandena i 1BMA, det vill säga mängden bruksvägar och de begränsade utrymmena mellan varje fyrkokill vilka kan vara mindre än 5 mm. En fullgod kringgjutning kan erhållas med ett bruk som uppnår tillräcklig flytförmåga och med en ballast vars maximala kornstorlek anpassas till utrymmet mellan avfallskollina. Egenskapskraven hos kringgjutningsbruket måste även anpassas till appliceringstekniken, vilken kan ställa krav på brukets pumpbarhet. För att uppnå de övergripande kraven på kringgjutning sätts även kvantitativa gränser på brukets gasgenomsläpplighet samt tryckhållfasthet.

Avfallskollin som innehåller bitumeningjutet avfall behöver svällmån, vilket betyder att effekten av att kringgjuta de fack som innehåller bitumeningjutet avfall och vilka konsekvenser en sådan kringgjutning i så fall skulle medföra behöver utredas. En möjlig risk finns att befintliga barriärer/konstruktioner och/eller avfallskollin skadas om kringgjutning utförs i sådana fack.

### 3.3 Kringgjutning av avfall i Silo

#### 3.3.1 Förvarets tillstånd inför kringgjutning

Silon omfattas av ett vertikalt cylindriskt förvarsutrymme som inryms av en fristående cylinder uppförd i armerad betong, Figur 3-2. I betongcylindern deponeras betong- och plåtkokiller samt plåtfat, främst bestående av betong- eller bitumeningjuten jonbytarmassa. Kollina placeras i så kallade schakt vilka avskiljs med innerväggar uppförda i betong. Det finns 57 stycken stora schakt, 12 stycken halvschakt samt ett antal mindre schakt i varierande storlek. Silons centrum är avsett att användas för deponering av bitumeningjutet avfall, med undantag av tre nivåer där betongkokiller med betongingjutet avfall placeras.



**Figur 3-2.** Siloförvaret i befintligt SFR under drifttiden

#### 3.3.2 Kringgjutning

Under drift och vartefter avfall deponeras i silon kringgjuts dessa med ett för ändamålet utvecklat kringgjutningsbruk. Detta innebär att viss tillslutning av förvarsutrymmet sker redan under drifttiden vilken benämns driftförslutning.

Kringgjutningsbruket är anpassat efter de rådande förhållandena i silon, och egenskaper såsom tryckhållfasthet, gasgenomsläpplighet samt utfyllnadsförmåga ska därför tillgodoses för att kringgjutningen ska upprätthålla sin funktion. Silokonstruktionen och de cirka 50 meter höga pelare som bildas av avfallskollin stabiliseras genom att avfallskollina kringgjuts. I schakt där plåtfat deponeras kommer kringgjutningsbruket även att vara lastupptagande för att hindra att faten kollapsar

till följd av ovanliggande laster. Detta medför att kringgjutningsbruket ska vara tillräckligt lättflytande för att fylla ut spalterna kring avfallskollina och på så sätt skapa en homogen kropp med tillfredställande tryckhållfasthet. Bruket ska även medge avledning av den gas som kan uppstå vid nedbrytning av avfall för att minimera risken för att ett invändigt tryck byggs upp i silon.

Kringgjutningsbruket tillreds idag på plats i en blandningsstation placerad i underjordsanläggningen och i närhet till silon. Det färdigblandade bruket transporteras sedan i en så kallad betongbasker till det schakt som ska kringgjutas. Tömning sker sedan med hjälp av en travers som för ner betongbaskern i avsett siloschakt så att bruket inte tillåts falla fritt mer än 6 meter. En för hög fallhöjd kan medföra en risk att bruksmassan separerar. Det är även viktigt att kringgjutningsbruket behåller goda flytegenskaper under den tid som åtgår från blandning till dess det är placerat i Silon, eftersom bruket ska kunna fylla ut spalterna och omsluta kollina väl i schakten för att skapa en homogen kropp.

När silon är fylld med avfallskollin och kringgjutning utförd, övergjuts hela silon med ett lager betong. Detta lock förses med genomföringar fyllda med ett poröst material, för avledning av den gas som eventuellt kan bildas inne i silon.

### **Aktuell status på kringgjutning**

Under 2010 upptäcktes att vatten ansamlats i ett antal siloschakt, vilket resulterat i att kringgjutning och deponering i de aktuella schakten sedan dess varit stoppad. Sedan upptäckten har ett antal experimentella undersökningar genomförts rörande vilka effekter närvaro av vatten i schakten vid kringgjutning skulle kunna ha på kringgjutningsbrukets tryckhållfasthet och hydrauliska konduktivitet samt vilka konsekvenser detta skulle kunna medföra. Utöver detta har utredningar gjorts rörande vid vilka tidpunkter som vatten kan ha förekommit i silon samt vilka korrigerande åtgärder som skulle kunna vara möjliga för att åtgärda en felaktigt genomförd kringgjutning och risker förknippade med detta arbete. Slutligen har en utvärdering av olika metoder för mätning av hydraulisk konduktivitet genomförts.

Vid mätning av den hydrauliska konduktiviteten för det kringgjutningsbruk som används vid kringgjutning av avfallskollin i silon har under de senaste åren noterats att bruket vid ett antal tillfällen inte uppfyllt kravnivån. Detta har observerats både vid mätningar på bruk från skarpa kringgjutningar i silon, men även vid mätningar kopplade till försök utförda hos leverantör. På grund av att den hydrauliska konduktiviteten i prover från skarpa gjutningar låg under toleransgränsen stoppades all vidare kringgjutning i silon till dess att orsaken till detta utretts.

Genomförda utredningar har visat att kringgjutningsbrukets egenskaper och struktur påverkas betydligt av att det finns vatten i spalterna vid kringgjutning. Det har därför bedömts nödvändigt att arbeta vidare med kvarstående frågor innan det är möjligt att återuppta kringgjutning i de olika schakten i silon.

## **3.4 Kringgjutning av avfall i 1BTF**

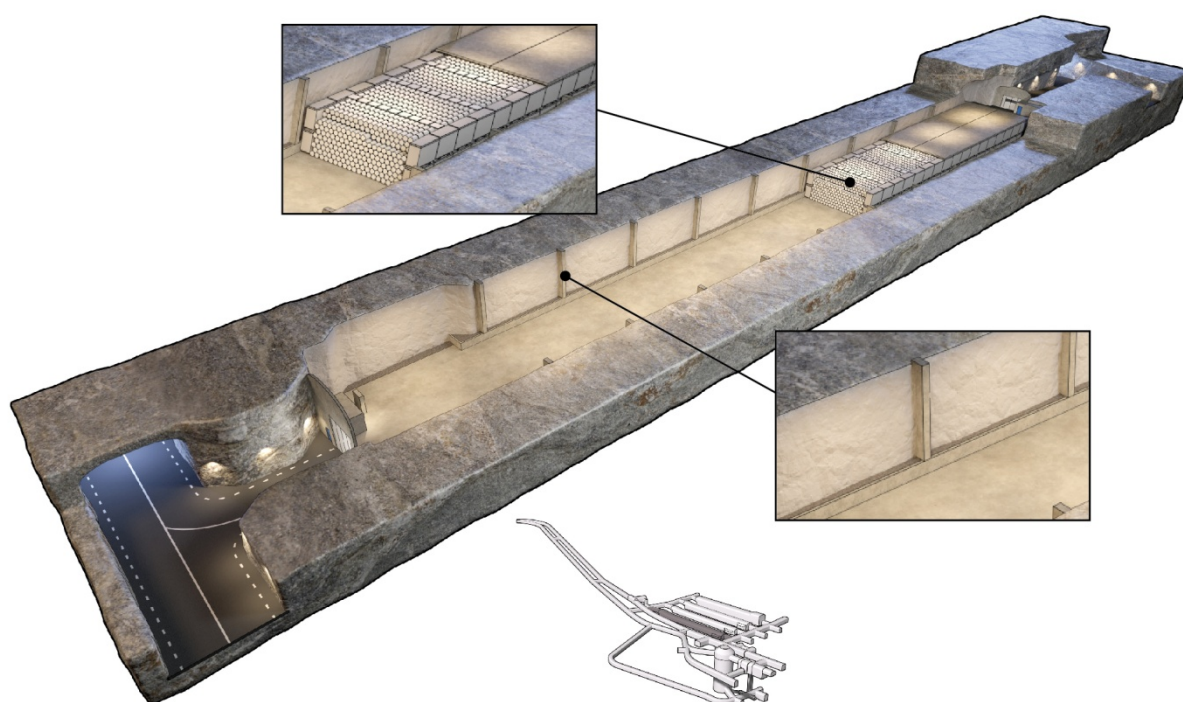
### **3.4.1 Förvarets tillstånd inför kringgjutning**

Betongtankförvaret 1BTF är avsett för förvaring av betongtankar innehållande avvattnad jonbytarmassa. Förutom betongtankar förvaras även plåtfat med aska från förbränning av lågaktivt sopavfall. För att ge stöd åt faten och förhindra att de rullar mot bergväggen, placeras före fatdeponeringen, betongtankar diktan mot varandra i bergssalens längdriktning på vardera sidan av förvarsutrymmet, Figur 3-3. Efter deponering av sex fatrader byggs även en tvärgående stödvägg av lågaktiva betongkokiller mellan betongtanksväggarna och framför plåtfaten. Stödväggen utgörs av nio stycken kokiller i bredd och fyra stycken i höjdd. Den spalt på ca 400 mm som uppstår mellan betongkokill och betongtank täcks med prefabricerad plåt med bredden 380 mm och med samma höjd som betongkokillen. Höjdskillnaden mellan betongkokill och betongtank avhjälpas även med prefabricerade plåtar. Alternativet till att använda betongkokiller som tvärgående stödvägg är att

istället uppföra en betongvägg. När alla fat är deponerade fylls resterande tillgängliga utrymme i salen med betongtankar.

Vartefter 1BTF fylls med avfall täcks både betongtanksväggarna och betongkokillerna med plastduk av polypropen för att tätas mot läckage vid kringgjutning av faten. Formsättning mot berg är inte aktuellt då formsättningsarbetet medför hög dosbelastning på personalen. Strålskärmande prefabricerade betongelement placeras däremot ut över avfallskollina vartefter avfall deponerats. Som förberedelse för kringgjutning av avfall borras hål i de prefabricerade betongelementen.

I 1BTF finns även längsgående betongklackar och avgränsande stödmurar ut till berget (se detalj i Figur 3-3). Stödmurarnas uppgift är att fungera som avgränsning vid kringgjutning av spalten mot berg. Utrymmena som ska kringgjutas är begränsade, framförallt utrymmet mellan betongklack och betongtank vilka uppskattas vara 0-50 mm breda för 1BTF.



**Figur 3-3.** Bergssal för betongtankar, 1BTF, i befintligt SFR under drifttiden.

### 3.4.2 Kringgjutning

I 1BTF, där både fat och betongtankar placeras, sker kringgjutning av askfaten succesivt under drift och kringgjutning av utrymme mot berg, betongtankar samt betongkokiller efter avslutad drift och inför förslutning.

#### **Under drifttiden**

Kringgjutning av askfat genomförs sektionvis, där en sektion motsvarar sex fatrader och stödvägg av betongkokiller. Kringgjutningen görs främst för att stabilisera faten mot tippling samt förhindra att inläckande vatten orsakar korrosion av faten.

Kringgjutningen av askfaten utförs med ett särskilt lättflytande kringgjutningsbruk genom de förborrade hålen i de prefabricerade betongelementen som placerats över avfallet. Det går att borra flera hål i betonglocken om behov föreligger. För att förhindra uppflyt av askfaten vid gjutning delas kringgjutningen upp i två gjutetapper. Första gjutetappen motsvarar 2.5 meters höjd och

nästkommande gjutetapp 2.3 meters höjd. Resterande utrymme mellan översta kringgjutningen och de prefabricerade betongelementen fylls med betong.

#### **Efter avslutad drift**

Kringgjutningen av utrymmet mellan betongtankar och bergvägg förbereds genom att exempelvis stenullsmattor (50 mm) installeras mot bergväggen som dränerande deformationszon. I utrymmet mellan avfallskollin och befintlig nedre längsgående betongklack och tvärgående betongvägg monteras stenullsmattor där så är möjligt, med tanke på det trånga utrymmet. För att begränsa och fördela krympsprickor under betongens härdning installeras en enklare armering innan gjutning. Armeringen har ingen statisk verkan och har tjänat ut sin roll efter det att betongen har härdat färdigt. Stenullsmattorna kommer att följa bergkonturen bra genom att de pressas ut av betongen under gjutning. Stenullsmattorna bidrar då till att skapa en hydraulisk kontrast runt avfallet. Dessutom tar stenullsmattorna upp rörelserna från berget. För att begränsa krympsprickor vid gjutning föreslås att förutom att installera en enklare sprickbredds begränsande armering också eftersträva ett bruk med liten krympning och värmeutveckling vid härdning. Vid gjutning av utrymmet mellan berget och avfallskollin väljs förslagsvis ett bruk med relativt låg cementhalt. Betongrecept för ändamålet bör utvecklas och provas i större volymer.

Efter att den yttre gjutningen mot berg har utförts, fylls utrymmen mellan betongtankar. Detta görs med hjälp av borrarade hål i de prefabricerade betonglocken. Det går att borra fler hål i betonglocken om behov föreligger. Förslagsvis används samma kringgjutningsbruk som för kringgjutning av fat som har utförts under drifttiden alternativt används en stenfri betong som anpassas och utprovas för ändamålet.

Salen är inte helt fylld med avfall ännu, vilket ger möjlighet att påverka hur avfallskollin placeras in i bergssalen och därmed förbättra förutsättningarna för kringgjutningen. Verifiering av kringgjutningsresultatet bedöms ändå vara svårt med dagens kunskapsnivå då avstånden mellan betongtankarna är varierande och relativt små i vissa fall. Kringgjutningen av utrymmet mellan berg och betongtankar bidrar ändå med sorption av radionukliderna och med att begränsa grundvattenflödet till avfallskollin.

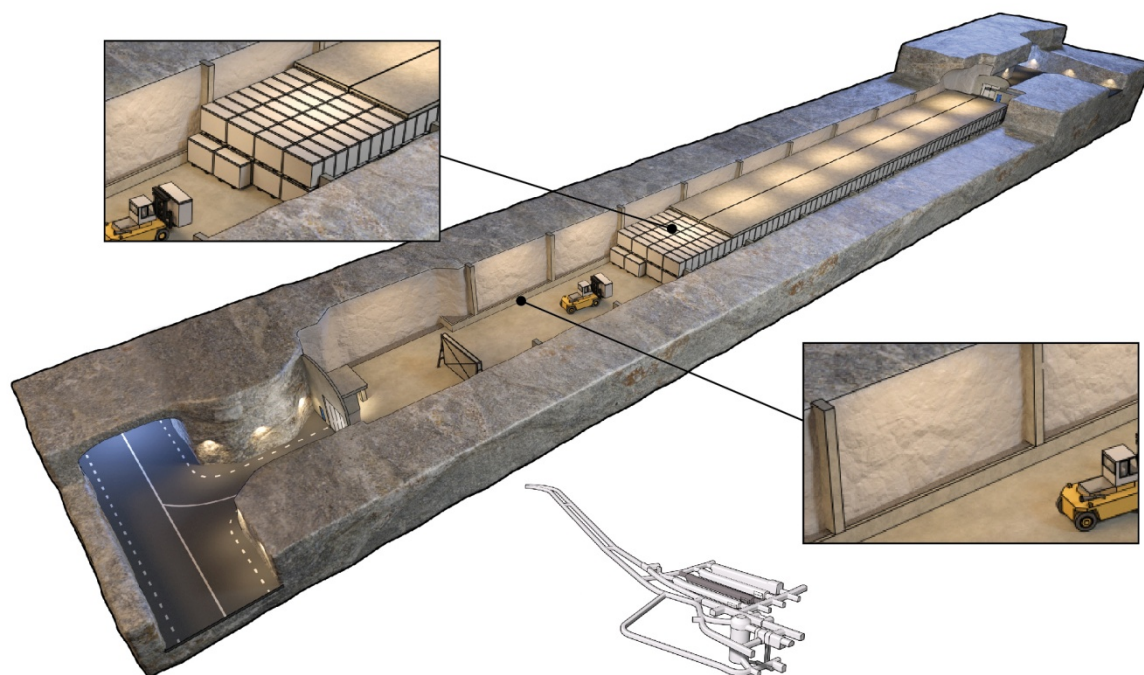
Efter genomförd kringgjutning gjuts en betongplatta ovanpå de prefabricerade betonglocken. Betongplattans tjocklek anpassas så att konstruktionen kan bära lasten av återfyllnadsmaterial som ska fylla resterande tomrum ovanpå avfallskollin upp till salens tak. Betongplattan planeras att gjas med konventionell armerad anläggningsbetong.

## **3.5 Kringgjutning av avfall i 2BTF**

### **3.5.1 Förvarets tillstånd inför kringgjutning**

Betongtankförvaret 2BTF är avsett för förvaring av betongtankar innehållande avvattnad jonbyttarmassa. Betongtankarna placeras fyra stycken i bredd och två stycken i höjdlid, se Figur 3-4. Likt 1BTF är formsättning mot berg inte aktuellt då formsättningsarbetet medför hög dosbelastning på personalen. Strålskärmande prefabricerade betongelement placeras däremot ut över betongtankarna vartefter avfall deponerats. Som förberedelse för kringgjutning av betongtankar borrar hål i de prefabricerade betongelementen.

I 2BTF finns även längsgående betongklackar och avgränsande stödmurar ut till berget (se detalj i Figur 3-4). Stödmurarnas uppgift är att fungera som avgränsning vid kringgjutning av spalten mot berg. Utrymmena som ska kringgjas är begränsade, framförallt utrymmet mellan betongklack och betongtank vilka uppskattas vara 0-50 mm breda för 2BTF.



**Figur 3-4.** Bergssal för betongtankar, 2BTF, i befintligt SFR under drifttiden.

### 3.5.2 Kringgjutning

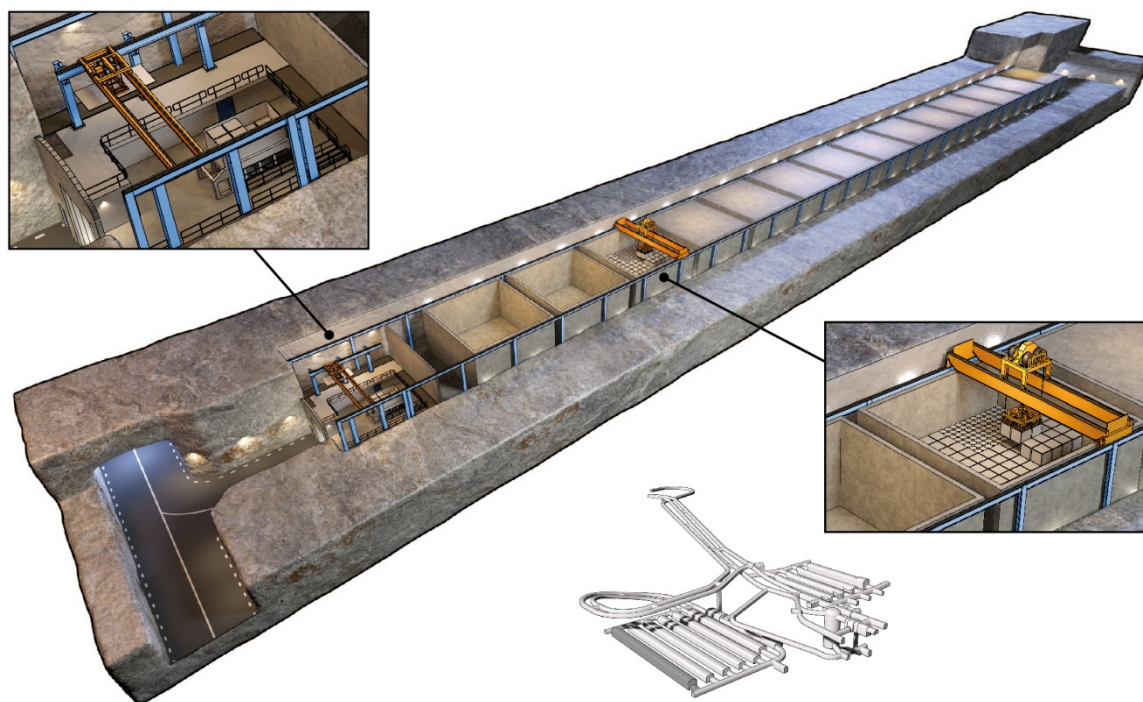
I 2BTF förvaras enbart betongtankar, vilka ska kringgjutas i samband med förslutning via de förborrade hålen i de prefabricerade betongelementen. Kringgjutningen genomförs i enlighet med 1BTF metodbeskrivning, avsnitt 3.4.2 .

## 3.6 Kringgjutning av avfall i 2BMA

### 3.6.1 Förvarets tillstånd inför kringgjutning

I 2BMA planeras fristående armeringsfria betongkonstruktioner, kassuner, att uppföras. I varje kassun ska avfallskollin i form av stål- och betongkokiller deponeras med en fjärrstyrd travers som är fristående från kassunerna, Figur 3-5. Med erfarenhet från 1BMA har ett antal förbättringsmöjligheter identifierats avseende kringgjutning av avfallskollin i 2BMA. Storleken på respektive kassun är anpassad för att ge ett avstånd mellan varje fyrkokill på cirka 100 mm för att säkerställa kringgjutningens utfyllnadsförmåga. Detta medför att kringgjutningen även ger ett bidrag till kassunens totala bärförmåga.





**Figur 3-5.** Bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA, i utbyggd del av SFR under drifttiden.

### 3.6.2 Kringgjutning

Under drift och vartefter avfallskollin deponeras i 2BMA kringgjuts dessa, vilket innebär att viss tillslutning av förvarsutrymmet sker redan under drifttiden. Då kringgjutning sker successivt kan visstids fri exponering av avfallskollin förekomma och ifall detta sker kan tillfälliga strålskyddslock placeras ut över kassunerna.

Kringgjutning ska tillsammans med kassunerna och avfallskollina utgöra lastupptagande underlag med hänsyn till utvändigt vattentryck och last från återfyllnadsmaterial, vilket innebär att samtliga kassuner måste kringgjutas. Kringgjutningen ska även minimera det advektiva vattenflödet kring avfallskollina samt stabilisera avfallskollina i höjdlid. Sorptionskapaciteten av radionuklider förbättras även genom kringgjutning.

För att oarmerade betongkassuner ska klara gjuttrycket från en kringgjutning fordras någon form av utvändig förstärkning eller stöttning. Det är nödvändigt att utföra kringgjutningen i flera etapper för att minimera påfrestning på kassunens väggar och mellan varje gjutetapp ska tidigare gjutning härdat så att det inte längre utövar något tryck. Vid första gjutetappen tillförs bruket i nivå med bottenplattan varpå efterföljande kringgjutning sker från nivå med tidigare gjutetapp. Kringgjutningen avslutas sedan vid avfallskollinas överkant. Förstärkning eller stöttning av kassunerna kan åstadkommas genom att använda en utvändig spännanordning med linor alternativt genom att stötta mot berg och tidigare gjutna kassuner. Vid kringgjutningsförfarandet kan den första gjutetappen utföras utan spännanordning upp till en gjuthöjd av 2,4 m, eftersom väggen då är inspänd i bottenplattan. I efterföljande gjutetapper flyttas spännanordningen till lämplig höjd, där maximal gjuthöjd är 3,1 m. Fullständig kringgjutning i respektive kassun görs till en nivå cirka 150 mm över det översta lagret avfallskollin. Därefter gjuts ett 500 mm tjockt oarmerat betonglock över kringgjutningen för samtliga kassuner.

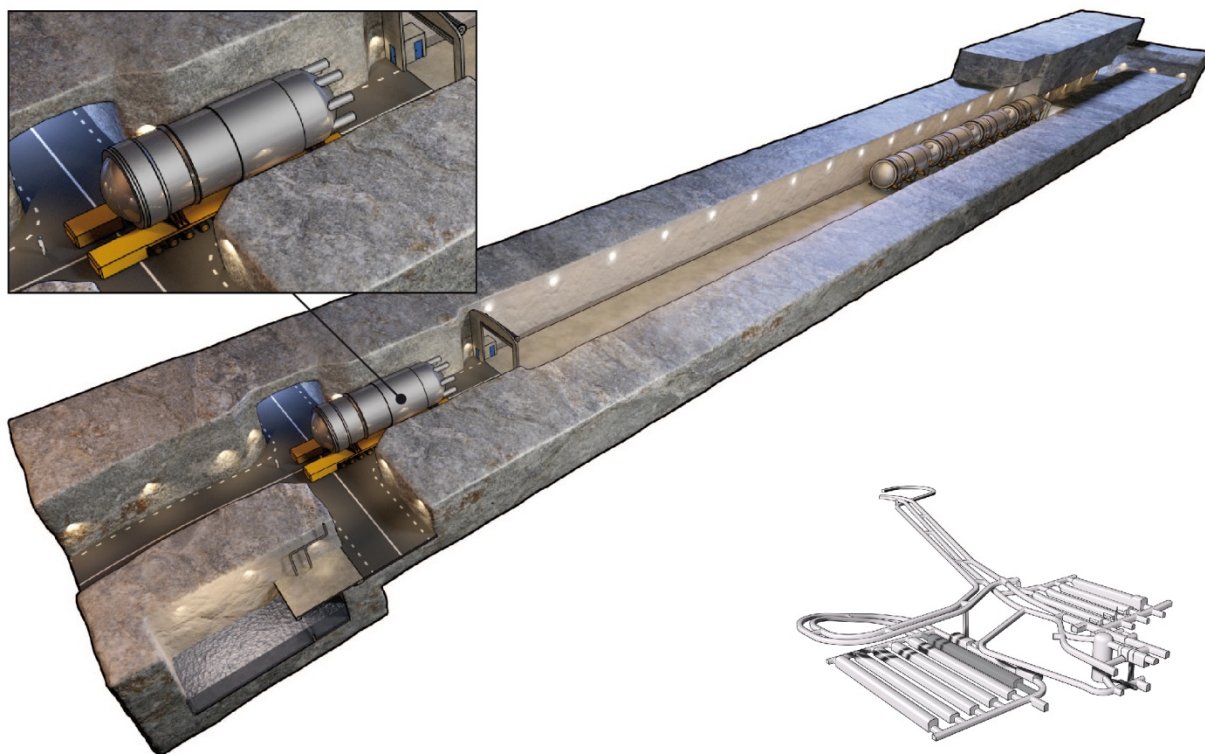
Kringgjutningsbruket framtaget för användning i silon har bruksegenskaper som är önskvärda även i 2BMA, vilka är bland annat gasgenomsläpplighet och utfyllnadsförmåga. En möjlig risk är dock att kringgjutningsbruket för silon separerar om applicering utförs genom pumpning. Att ett bruk är

separationsbenäget medför även en minskning i tryckhållfasthet, vilket inte är önskvärt i 2BMA eftersom kringgjutningen ska ge ett bidrag till kassunens bärförmåga. Detta innebär att befintligt silobruk och appliceringsteknik behöver utvecklas och justeras efter förhållandena i 2BMA för att en fullgod kringgjutning ska kunna åstadkommas.

### 3.7 Kringgjutning av avfall i 1BRT

#### 3.7.1 Förvarets tillstånd inför kringgjutning

I 1BRT förvaras reaktortankar, närmare bestämt kokvattenreaktorer från avvecklade kärnkraftverk. Totalt nio stycken reaktortankar planeras att placeras i rad i 1BRT. Tankarna placeras så att tillräckligt med fritt utrymme åstadkoms kring tankarna med hänsyn tagen till strålning och möjlighet att under drift vistas i bergssalen. Tankarna är tillverkade av kolstål med ett inre ytskikt av rostfritt stål och förvaras hela i bergssalen, Figur 3-6. En reaktortanks längd varierar mellan 18–22 m och utvärdig diameter mellan 5.8–7.2 m (flänsar inräknade). Utformning bestäms därmed av den reaktortank som har störst dimensioner och vikt.



**Figur 3-6.** Bergssal för reaktortankar, 1BRT, i utbyggd del av SFR under drifttiden

#### 3.7.2 Kringgjutning

Inför förslutning och efter avslutad drift kringgjuts reaktortankarna placerade i 1BRT. Kringgjutningens primära funktion är att fördröja lakningsprocessen och minimera läckage av radioaktiva ämnen genom att hämma korrosionen av reaktortankarna. Kringgjutningen bidrar alltså till en pH-höjande miljö som minskar korrosionshastigheten. Sorptionskapaciteten av radionuklider förbättras även genom kringgjutning.

I dagsläget utreds kringgjutningens genomförbarhet med hänsyn till stråldos och tillgängligt utrymme kring tankarna. Kringgjutningen kan utföras med betong eller cementbaserat bruk, där möjlighet finns att uppföra gjutform av antingen betong eller stål kring tankarna. Då risk finns att tankarna flyter upp om kringgjutningen görs i en etapp, planeras kringgjutningen ske i flera etapper alternativt kan tankarna förankras i berget. En alternativ metod till kringgjutning som även har utretts är att klä reaktortankarna med sprutbetong, men då vidhäftning mellan reaktortank och sprutbetong inte kan säkerställas har denna metod förkastats.

För att ytterligare skapa korrosionsskydd av reaktortankarna samt minimera tomrumsvolymen i förvaret ska varje enskild reaktortank även igjutas med betong eller cementbaserat bruk. Igjutningen minimerar även risk för reaktortanskollaps. Utförs igjutning innan kringgjutning minimeras även risk för uppflyt av reaktortankarna om reaktortankarna kringgjuts i en etapp.

## 4 Förslutning av SFR

### 4.1 Konstruktionsförutsättningar

#### 4.1.1 Antaganden baserade på utvärdering av långsiktig säkerhet

Konstruktionsförutsättningarna för förslutningen av SFR bygger på de antaganden som gjordes i tidigare säkerhetsanalys. Dessa antaganden diskuteras och sammanfattas i "Plan för förslutning av SFR1 utifrån antaganden i SAR-08" (SKBdoc 1240154) och utgjorde svar på SSM:s föreläggande att senast den 30 april 2010 inkomma med en entydig och sammanhållen plan för de åtgärder som, i enlighet med gällande strålsäkerhetsvillkor, behöver vidtas vid förslutningen av anläggningen. Förutom antagandet om att det är en fördel att återfyllnadsmaterialet är så permeabelt som är praktiskt rimligt så är texten i detta avsnitt baserad på "Plan för förslutning av SFR1 utifrån antaganden i SAR-08" (SKBdoc 1240154).

#### **Förslutning av bergssalar och siloförvaret**

Gällande återfyllning av bergssalar och silo antas följande konstruktionsförutsättningar gälla:

- 1BTF, 2BTF och BMA ska toppfyllas och vidare bör tomrum i förvarsdelarnas in- och omlastningsområden återfyllas. BLA behöver inte återfyllas.
- Återfyllnadsmaterialet i bergssalar och siloförvaret ska ha en konduktivitet  $> 10^{-5}$  m/s.

Vidare antas att det är en fördel att återfyllnaden är så permeabel som är praktiskt rimligt.

Gällande pluggar till bergssalar och silo antas följande konstruktionsförutsättningar gälla:

- Pluggarnas resistans är  $> 2 \cdot 10^9$  s. Resistansen fås genom  $R=d/K$ , där  $d$  är tjockleken (m) på pluggen och  $K$  är den hydrauliska konduktiviteten (m/s).
- Pluggarna placeras i båda ändarna av bergssalarna och i alla tunnlar som ansluter till silon.

#### **Förslutning av nedfartstunnlar och tunnelsystem**

Nedfartstunnlar och tunnelsystem avser de delar av underjordsanläggningen som inte omfattas av bergssalar med tillhörande pluggar samt silon med tillhörande pluggar. Följande konstruktionsförutsättning antas gälla för återfyllnad i nedfartstunnlar och tunnelsystem:

- Återfyllnadsmaterialet i tunnelsystemet ska ha en konduktivitet  $> 10^{-5}$  m/s.

Vidare antas att det är en fördel att återfyllnadsmaterialet är så permeabel som är praktiskt rimligt.

Gällande pluggar i nedfartstunnlar antas följande konstruktionsförutsättningar gälla:

- Pluggarnas resistans är  $> 2 \cdot 10^9$  s. Resistansen fås genom  $R=d/K$ , där  $d$  är tjockleken (m) på pluggen och  $K$  är den hydrauliska konduktiviteten (m/s).
- Pluggarna placeras vid de två lägen som ges av Figur 4-1 där positionen för de övre pluggarna överensstämmer med (den beräknade) grundvattendelarens position vid år 5 000.

#### **Förslutning av borrhål**

Följande konstruktionsförutsättning antas gälla för borrhål:

- Borrhål har hydrauliska egenskaper så att vattenflödet i geosfären ej påverkas av dessa.

#### 4.1.2 Vatteninflöden och dess påverkan på utformning

I detta avsnitt ges en översiktlig beskrivning av uppskattade vattenflöden i underjordsanläggningen.

##### **Uppskattning av vattenflöden i planerade täta sektioner av bentonit**

De sektioner som ska återfyllas med bentonit är mer känsliga för vatteninflöden och då i synnerhet större punktinflöden. Detta kan orsaka praktiska problem vid installation av de täta sektionerna vilket i förlängningen kan leda till att initialtillståndet inte kan garanteras.

De största vattenflödena i sprängda tunnlar är i regel relaterade till sulan. Vattnet flödar både på sulan och i det uppspruckna berget. Påverkan på återfyllningsprocessen beror på flera faktorer; omfattningen av sprickor i skadezon, bentonitens utformning (t.ex. pellets eller block) samt återfyllningstakt. Sulans skadezon bedöms vara relativt omfattande, vilket medför att de sektioner där skadad zon tas bort resulterar i lågpunkter där vattnet samlas och kan dräneras ut. Vatten som rinner ner längs sidorna i återfyllda sektioner kommer att rinna fram mot installationsfronten genom pelletfyllnaden mellan bergsidor och block. Installationsfronten syftar på den position där återfyllnad pågår. Detta är inget problem så länge inte bädden för blocken vid fronten påverkas.

I de fall det förekommer större punktinflöden injekteras dessa områden innan återfyllningsprocessen påbörjas. För de tunnlar som ska återfyllas med bentonit krävs kartläggning av inflöden sektionvis samt lokalisering av punktinflöden.

Beräknade inflöden i tunnelsystem redovisas i Tabell 4-1. Värden för inflöden till tunneldelarna 1RTT övre, 1BT övre och 1DT övre påverkas av den hydrogeologiska modellens beskrivning av Singözonen såsom en bred zon med relativt homogen vattenföring. I de karterade befintliga nedfartstunnlarna består Singözonen av en hög frekvens med diskreta kraftigt vattenförande sprickor. Pluggarnas position ska anpassas till uppmätt inflöde. Nedan redovisas resultat från modellering.

**Tabell 4-1.** Uppskattade inflöden till tunnelsystem vid planerade lägen av pluggar för befintligt SFR och utbyggd del av SFR. Tunnelsystems geometri och benämning redovisas i Figur 4-1.

Tunneldel	Beräknat inläckage [l/min]	Tunneldel	Beräknat inläckage [l/min]
1BST	15,8	1RTT övre	20,7
1TT	5,2	1RTT nedre	2,0
1TT (del av rampen)	0,1	1BT övre	14,3
2TT	5,0	1BT nedre	2,2
2BST	16,6	1DT övre	14
1UT	0,5	1DT nedre	5,4
Silotaktunnel (STT)	0,4		
Silotunnel (ST) och inlastningsbyggnad (IB)	10,3		
Nedre byggtunnel (NBT)	24,1		

Beräkningar av inflöden har skett för de tunneldelar där det planeras att installeras pluggar. Resultaten redovisar beräknade inflöden för de specifika tunneldelarna men det ska noteras att resultaten baseras på en statistisk realisering av vattenförande sprickor. Med en ”statistisk realisering” menas att vattenförande sprickors placering och egenskaper i beräkningsmodellen är slumpmässigt genererade från matematiska funktioner vilka i sin tur baseras på observationer av verkliga sprickor. Den aktuella realiseringen är därför relevant avseende statistisk information men representerar inte faktiska inflöden till en tunneldel som redan idag existerar. Varje enskilt resultat bör betraktas som del av en statistisk

mängd och att det höga värdet kan därmed återfinnas i en annan tunneldel i verkligheten. Variationsbredden på de beräknade värdena är emellertid att betrakta som realistiska.

Den bakomliggande statistiken baseras på det hydrogeologiska basfallet redovisat i Odén et al. (2012).

#### **4.1.3 Skadad zon**

När tunnlar byggs med konventionell teknik kan det skapas en hydraulisk zon i berget närmast tunneln som är mer hydrauliskt konduktiv än det intakta berget. En förutsättning för att de föreslagna pluggarna ska fungera är att den skadade zonen i berget runt den tätande sektionen tas ut med skonsamma metoder för att minimera sprängskadezonen. För befintligt SFR har hänsyn inte tagits till detta vid berguttag där täta sektioner planeras. Utformningen av de planerade pluggarna kommer att ta höjd för detta genom att ta bort skadad zon i läget för hydrauliska täta sektioner med exempelvis vajersågning så att pluggen får direktkontakt med intakt berg.

#### **4.1.4 Fasta driftinstallationer**

Förslutningen av SFR kommer att ställa krav på behov av ventilation, elkraft och belysning samt tappvatten. En genomarbetad avvecklingsplan av befintliga system som utgår ifrån förslutningssekvensen upprättas i god tid innan arbeten påbörjas. Utgångspunkten är att försöka använda befintliga system så långt det går och riva efter hand. I de fall återfyllningssekvensen kortsluter de fasta installationerna arrangeras temporära installationer.

#### **4.1.5 Befintliga konstruktioner**

I SFR finns många temporära konstruktioner som byggnader, betongväggar, kulvertar, portomfattningar, bassänger, ledningssystem, självfallsledningar, dränering, vägar samt bergförstärkningar. Som för övriga system krävs en genomarbetad avvecklingsplan. Flera konstruktioner lämnas med fördel orörda och en del konstruktioner kan kompletteras för att underlätta återfyllningen. Befintliga självfallsledningar och dräneringar måste mätas in och kartläggas för behov av rivning eller förslutning. Befintliga vägar inklusive asfaltsbeläggning bedöms kunna ligga kvar i de sektioner som ska fyllas med makadam. Bergförstärkningarna ska vara intakta och ej rivas med undantag av de sektioner där skadad zon ska avlägsnas. Tunnelarna som ska fyllas med bentonit behöver sektionsvis kortsluta den skadade zonen, vid dessa sektioner rivs sprutbetong och bergbultar kapas dikt bergytan när berguttag utförs.

#### **4.1.6 Arbetsmiljö**

Arbetsmiljöfrågan är inte lätt att prediktera för framtiden. Man kan dock förutsätta att det ska finnas tillgång till kontroll och möjlighet till manuella insatser på förvarsdjup. Detta medför att det under förslutningsprocessen ska vara en godkänd arbetsmiljö underjord. Idag finns AML (Arbetsmiljölagen) och underliggande föreskrifter (AFS; Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling) som styr vilka krav och regler som ska följas och detta dokument förutsätter att de är gällande då arbeten med kringgjutning och förslutning utförs.

#### **4.1.7 Strålningsrisker**

En förutsättning vid förslutning är att betongkonstruktionerna som omger avfallet tillsammans med utförd driftförslutning och kringgjutning minskar strålnivåerna till en nivå så att den inte behöver beaktas vid förslutningsarbete under jord.

#### **4.1.8 Logistik**

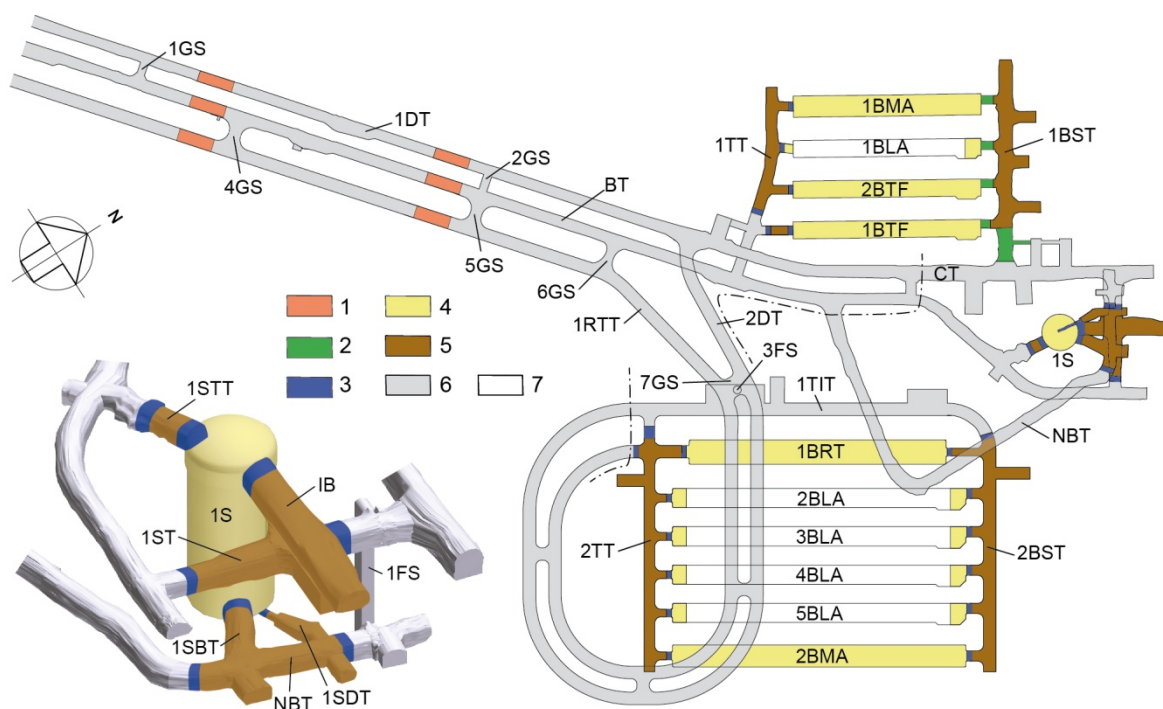
Förslutningssekvensen styr materialbehov och transportvägar. Planeringen av förslutningssekvensen bygger på ett kontinuerligt flöde för både bentonit och makadam. Förslutningssekvensen utgår ifrån att 1DT används för nedfart samt 1BT för uppfart. Lagerhållning av stora mängder bentonit eller makadam ska inte vara nödvändigt på förvarsdjup. För mer information om lagerhållning och logistik hänvisas till Bilaga 1.

## 4.2 Konceptuell utformning av förslutning SFR

### 4.2.1 Översikt försluten anläggning

Förslutning av SFR utförs enligt Figur 4-1 vilken presenterar en översiktlig bild av den förslutna underjordsanläggningen. Pluggarna utgörs av hydrauliskt täta sektioner som fixeras med mekaniska mothåll. De mekaniska mothållen tillverkas av betong (betongplugg) där berget har erforderlig hållfasthet. Där berget inte tillåter betongplugg ska istället ett mekaniskt mothåll av återfyllnads- och övergångsmaterial installeras. Återfyllnadsmaterialet utgörs av makadam och övergångsmaterialet av 30/70 bentonit/krossat berg. Mekaniskt mothåll av återfyllnads- och övergångsmaterial tillsammans med tät sektion av bentonit benämns som jorddammsplugg.

Undersökningsborrhål försluts så att de får samma hydrauliska konduktivitet som omgivande berg.



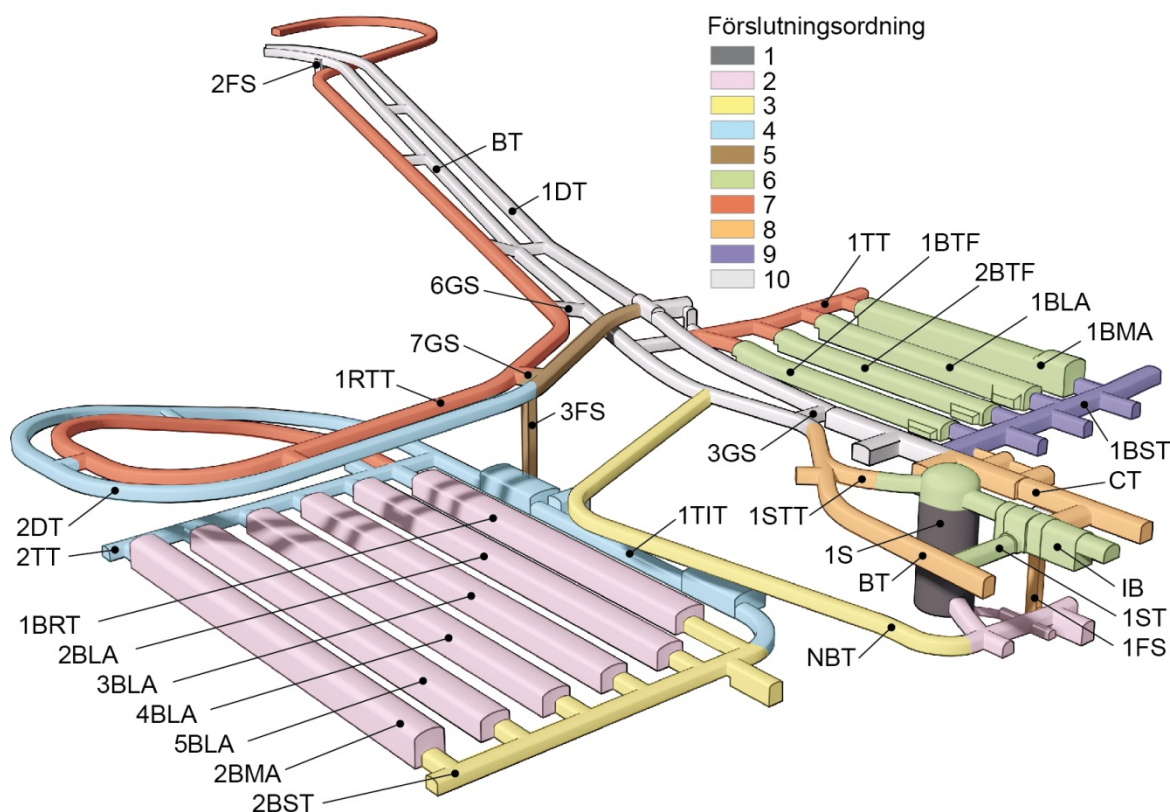
**Figur 4-1.** Schematisk plan över befintligt och utbyggd del av SFR med detaljvy över silon. Förklaring: 1) Pluggar i nedfartstunnlar. 2) Övergångsmaterial. 3) Mekaniskt mothåll av betong. 4) Återfyllnadsmaterial av makadam. 5) Hydrauliskt tät sektion av bentonit eller bentonitblandning. 6) Återfyllnadsmaterial i nedfartstunnlar och tunnelsystem. 7) Ej återfyllda utrymnen. Övrigt: Gräns mellan nedfartstunnlar och tunnelsystem som används i Förslutningsplanen markeraras med punktstreckad linje.

### 4.2.2 Övergripande förslutningssekvens

I detta avsnitt illustreras en möjlig förslutningssekvens baserat på förvarsdjup, tillträde, lämpliga metoder samt material. Innan förslutningen påbörjas är berguttag för pluggar, tätande sektioner i möjligaste mån utförda. Eventuellt behov av bergförstärkningar hanteras ej i detta skede.

#### Förslutningsordning

Silons botten och den utbyggda delen av SFR:s botten kommer att ligga på samma djup, enligt Figur 1-2. Detta gör att dessa områden kan börja återfyllas samtidigt. Då båda områdena försluts med betongpluggar är inte återfyllningen mot pluggarna i anslutande tunnelsystem tidskritiska. Med hänsyn till logistik och resurser samt totalt tidsperspektiv är det väsentligt att beakta vilka aktiviteter som kan drivas parallellt. Vidare beskrivs installation av förslutningskomponenter i Bilaga 1.



**Figur 4-2.** Översiktlig förslutningsordning för SFR. Färgerna representerar inbördes arbetsordning och inte gränser för olika material.

Nedan beskrivs förslutningsordningen som illustreras i Figur 4-2:

- 1) De delar av 1S som är markerade med svart färg är redan kringfylld upp till locket och ingår ej i förslutningsarbetena.
- 2) De delar av bergssalarna i den utbyggda delen av SFR som ska återfyllas enligt Figur 4-1 återfylls först med makadam. Makadamen avslutas med en mothållande vägg en bit in i infarterna. Mekaniska pluggar av betong installeras i infarterna till bergssalarna. Parallellt med att bergssalarna återfylls kan nedre plan av 1S återfyllas med bentonit och makadam samt därefter pluggas.
- 3) 2BST med tillhörande infarter och nischer återfylls med bentonit (avslutas med mothållande vägg). Därefter installeras mekanisk plugg av betong i mynning mot 1TIT. Parallellt med återfyllning av 2BST återfylls NBT till nedre plan av 1S med makadam.
- 4) 1TIT återfylls med makadam. 2TT med tillhörande infarter och nischer återfylls med bentonit. Därefter installeras mekanisk plugg av betong i mynning mot 1TIT. Efter återfyllning av 2TT med bentonit återfylls 2DT med makadam upp till 7GS. Installation av den mekaniska pluggen mot 2DT och 1TIT kan utföras innan bentonitfyllningen av 2TT, för tillgång till 2TT för återfyllning används 1RTT.



- 5) Mekaniskt mothåll av betong i 3FS installeras vid schaktets anslutning till 1TIT. Schaktet återfylls med bentonit och avslutas med mekaniskt mothåll av betong nära 7GS. Därefter återfylls resterande delar av 2DT.
- 6) De delar av bergssalarna i befintligt SFR som ska återfyllas enligt Figur 4-1 återfylls först med makadam från infart 1BST. Därefter installeras en mothållande vägg. Återfyllnaden av det befintliga SFR:s bergssalar utförs därefter från 1TT och pluggas efterhand. Parallellt med återfyllnaden av bergssalar kan den övre delen av 1S återfyllas tillsammans med IB och 1ST.
- 7) 1TT med tillhörande infarter och nischer återfylls med bentonit och dess mynning pluggas. Parallellt med återfyllning av 1TT återfylls 1RTT i sin helhet med pluggar enligt avsnitt 4.6.1.
- 8) Den innersta delen av BT fram till 3GS återfylls med makadam. Parallellt med BT återfylls 1FS och CT fram till mynning 1BST med makadam.
- 9) 1BST återfylls med bentonit och mekaniska pluggar av övergångsmaterial installeras efterhand som återfyllnaden av 1BST med bentonit framskrider mot CT.
- 10) CT och 1DT återfylls parallellt med BT upp till markytan med avbrott för installation av pluggar.

### 4.2.3 Hantering av inflödande vatten vid förslutningsarbeten

#### **Täta sektioner av bentonit**

För deponeringstunnlarna i slutförvaret för använt kärnbränsle så accepteras ett totalt inflöde lägre än 10 l/minut. Detta kan användas som en grov uppskattning för inflöden som kan hanteras per tunnel utan särskilda insatser. De inflöden som beskrivs i avsnitt 4.1.2 kommer förmodligen minska under tiden fram till förslutning. Detta baseras på uppmätt minskning av inflöde med tiden på SFR, Äspölaboratoriet och andra anläggningar i berg. Det finns även möjlighet att minska inflödena med hjälp av efterinjektering. Som en del av fortsatt teknikutveckling, detaljutformning och projektering av förslutningen så behöver uppskattningar av hur mycket inläckande vatten som kan hanteras under standardmässig installation av bentonit för de olika täta sektionerna göras. Mängden vatten som kan hanteras beror av återfyllningshastigheter och bentonittätningens utformning, främst hur stor andel som utgörs av pellets samt dess förmåga att absorbera vatten. Tunneldelar där installationen av bentonit kan vara utmanande är främst 1BST och 2BST. Inflödet till den nedre silotunneln är högt, det mesta av inflödet uppskattas dock vara till utrymmet bakom den täta sektionen. Som en del av det fortsatta arbetet ska en bättre uppskattning för inflödet till den tunneldelen göras. Metoder för att hantera inflödande vatten utvecklas som en del av teknikutvecklingen för återfyllningen av deponeringstunnlarna i slutförvaret för använt kärnbränsle. Resultatet av denna utveckling kommer att användas för att detaljutforma de täta sektionerna samt installationsprocessen.

#### **Bergssalar**

För återfyllning av bergssalar förväntas inte vattenflöden orsaka störningar. Materialen som används är dränerande och vid behov är det enkelt att länshålla.

#### **Övriga tunnelsystem**

De övriga tunnelsystemen ska återfyllas med makadam. Ur installationssynpunkt är inte vatteninflöden i aktuella sektioner ett problem, dock måste eventuellt tillrinnande vatten från ovanliggande sektioner däckas upp och länshållas. I dränageplanen ska det framgå var vallar ska byggas och hur vatten ska pumpas. Vallar byggs i god tid innan förslutningen.

### **Sektioner för betongpluggar**

Plugginstallationen är känslig för punktinflöden. Om sektionen för plugginstallationen har punktinflöden ska dessa avhjälpas med ridåinjektering eller annan lämplig åtgärd. Plugginstallationen är också känslig för flöden ifrån bakomvarande installerade sektioner. Det finns kunskap och erfarenheter för att leda förbi tillrinnande vatten mot pluggar (Malm 2012). Vattentryck mot ej härdad betong kan medföra kanalbildning och vid större flöden försvagning av konstruktionen.

### **Sektioner för övergångsmaterial**

På samma sätt som betongpluggen så är övergångsmaterialet känsligt för punktinflöden och samma typ av åtgärder som för betongpluggarna ska utföras.

## **4.3 Motiv till konceptuell utformning**

Den redovisade utformningen av förslutningen bygger på antagandet att flödet genom bergssalarna minskas genom att pluggar som försluter bergssalarna har låg hydraulisk konduktivitet och återfyllningen i centraltunneln har relativt hög konduktivitet. Det innebär att flödet genom tunnelsystemet inte leds genom bergssalarna utan istället flödar genom centraltunneln, se Figur 4-1. Detta gör att återfyllnaden i centraltunneln och resten av tunnelsystemet bör ha väsentligt högre hydraulisk konduktivitet än berg och pluggar för att säkerställa att det huvudsakliga flödet går denna väg. Det relativt låga flöde i förvarsutrymmena som orsakas av vattenflöde i de mindre sprickor som korsar bergssalarna ska flöda runt betongbarriärer och det inneslutna avfallet. Detta leder till att återfyllnaden i bergssalarna behöver ha väsentligt högre hydraulisk konduktivitet än betongbarriärerna.

### **4.3.1 Motiv till utformning av pluggar i anslutning till bergssalar, silo samt nedfartstunnlar**

I denna förslutningsplan har pluggpositionerna som redovisades i SKB (2008) utökats till att sträcka sig över hela 1TT och 1BST. Detta gäller även täta sektioner för de utbyggda bergssalarna (2TT och 2BST). För silons del så har utbredningen av dessa täta sektioner utökats på samma sätt som vid bergssalarna. Motiven till utformningen av pluggar anges nedan:

- Det bedöms mycket utmanande att installera täta pluggar som får plats i tillfarterna till bergssalarna i befintligt SFR enligt den utformning som användes i *"Preliminary design for plugging and closure of SFR"* (SKBdoc 1231287) och i SKB (2008). Geometri och lokala egenskaper hos berget gör det svårt att hitta två lämpliga lägen för mekaniska mothåll för de täta sektionerna av bentonit. Genom att utöka de täta sektionerna till att omfatta hela 1TT och 1BST på det sätt som beskrivs i denna förslutningsplan behövs endast en mekanisk plugg i varje tillfart till bergssalarna. Detta gör det, i flesta fall, möjligt att hitta en bra position. Även för utbyggd del av SFR bedöms de föreslagna pluggarna ge en bra lösning både för utformning av bergssalar och för förslutningen.
- Med större mängd bentonit fås en säkerhetsmarginal mot eventuell förlust eller degradering av bentonit.

### **4.3.2 Motiv till utformning av återfyllnadsmaterial i bergssalar**

Det finns tre huvudanledningar till att återfylla bergssalarna

- Skydda betongbarriärer från mekanisk åverkan av nedfallande bergblock
- Medverka till att stabilisera bergssalarna
- Verka som mekaniskt mothåll mot: 1) betongpluggar och 2) övergångsmaterial i jorddammspluggen.

### **Skydd för betongbarriärer**

För 2BMA med betongbarriär så har en utredning av behov av skydd för betongbarriärerna mot nedfallande block utförts i ”Olyckslaster under drift och efter förslutning, kassun 2BMA” (SKBdoc 1418589). Slutsatsen var att det krävs minst 6 m återfyllnad av krossat berg eller makadam ovan betongbarriären för att hindra nedfallande block från att skada betongbarriären och att det är en fördel att återfylla hela vägen upp till taket. Detta gäller för en sal med 8,2 m utrymme mellan överkant barriär och tunneltak. Det innebär också att ett teoretiskt block (med bedömd rimlig storlek och massa) ej får er hålla mer energi än vad som ges av ett fall på cirka 2 m. Slutsatserna gäller för 2BMA med en ej degraderad betongbarriär och utan att bergssalen är fylld med vatten. Vidare har det även gjorts studier kring långtidsstabiliteten hos bergssalarna i befintligt SFR (Mas Ivars et.al, 2014), där slutsatserna stödjer antagandet i avsnitt 4.1.1 att det är en fördel att fylla upp mot taket även för 1BMA, 1BTF, 2BTF och 1BRT.

En maximal spalt vid taket på 1 m är rimlig att åstadkomma i praktiken under förutsättningarna som gäller i SFR utan att göra återfyllningen för komplicerad och tidskrävande. En spalt på 1 m vid taket gäller i referensutförning för de bergssalar som återfylls.

### **Mekaniskt mothåll för betongplugg**

Pluggarna ställer krav på återfyllnaden i bergssalarna. För att övergångsmaterialet i jorddammspluggen ska hållas på plats så behövs ett mothåll från återfyllnaden i bergssalarna. I Luterkort och Bertilsson (2012) genomfördes analytiska överslagsberäkningar som visar att den axiella spänningsökningen till följd av bentonitens svälltryck går mot noll 2–4,5 m in i makadamen i en återfylld bergssal vid ett svälltryck av 2-4 MPa. Om 10 m av bergssalens längd intill pluggen återfylls så ger det en rimlig marginal till de 2-4,5 m som krävs för att spänningsökningen från bentonitens svälltryck ska vara noll.

Då de hydrauliska gradienterna över övergångsmaterialet kommer att vara mycket låga efter vattenmättnad så ställs inga krav på återfyllnadsmaterialens kornstorleksfördelning för att förhindra transport av finpartiklar.

Betongpluggarna behöver inget stöd från återfyllningen under den tid som betongen är intakt. När betongpluggarna gradvis degraderar ska bakomvarande återfyllnadsmaterial verka som mekaniskt mothåll mot bentonitens svälltryck. I detta skede blir den degraderande betongen motsvarigheten till jorddammspluggens övergångsmaterial.

#### **4.3.3 Motiv till att återfylla tunnelsystem och nedfartstunnlar**

Det som motiverar installation av återfyllnadsmaterial i tunnelsystem och nedfartstunnlar är enligt punktlistan nedan:

- Lokalt verka som mekaniska mothåll för pluggar under perioden då deras mekaniska mothåll degraderar.
- Försvåra intrång.

#### **4.3.4 Motiv till borrhålsförslutning**

Det finns två huvudorsaker till behov av borrhålsförslutning:

1. Borrhålen har bedömts utgöra en strömningsväg för vatten och därmed också en potentiell spridningsväg för nuklider.
2. Borrhålen har i hydrogeologiska simuleringar antagits ha samma egenskaper som det omgivande berget, det vill säga borrhålen medverkade inte i nämnda simulering. För att simuleringen ska vara giltig behöver alltså borrhålen förslutas så de får samma hydrauliska konduktivitet som omgivande berg.

## 4.4 Förslutning av bergssalar

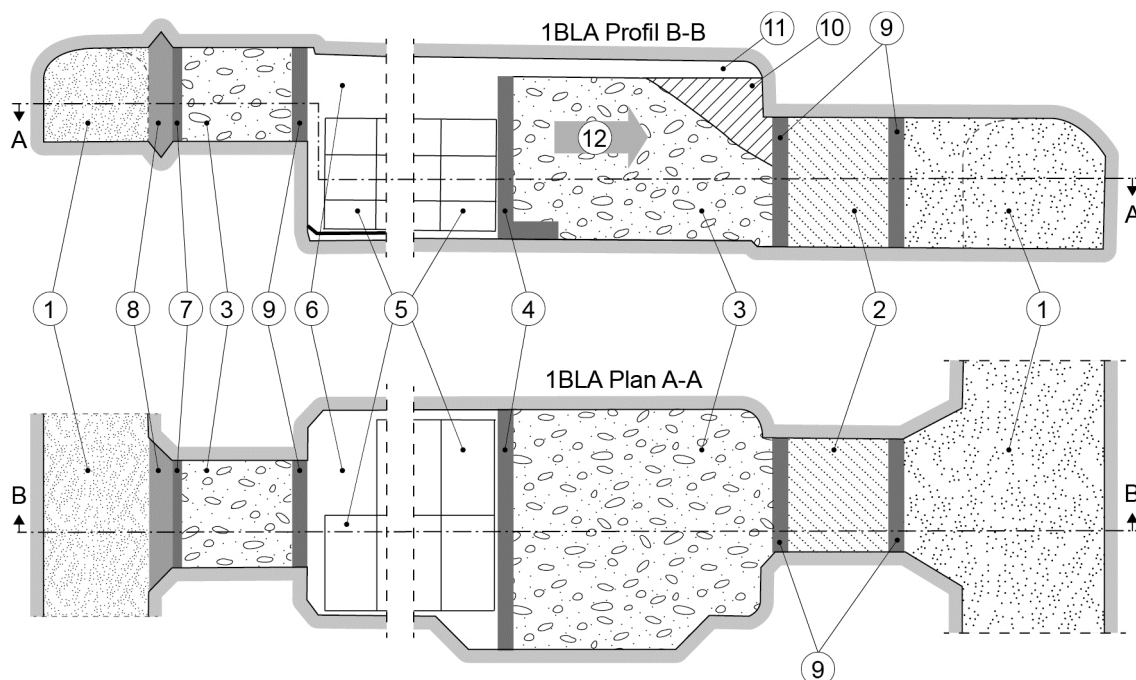
### 4.4.1 Referensutformning

I följande avsnitt redovisas kortfattat bergssalarnas referensutformning. Närmare beskrivning av förslutningskomponenterna återfinns i avsnitt 4.9.

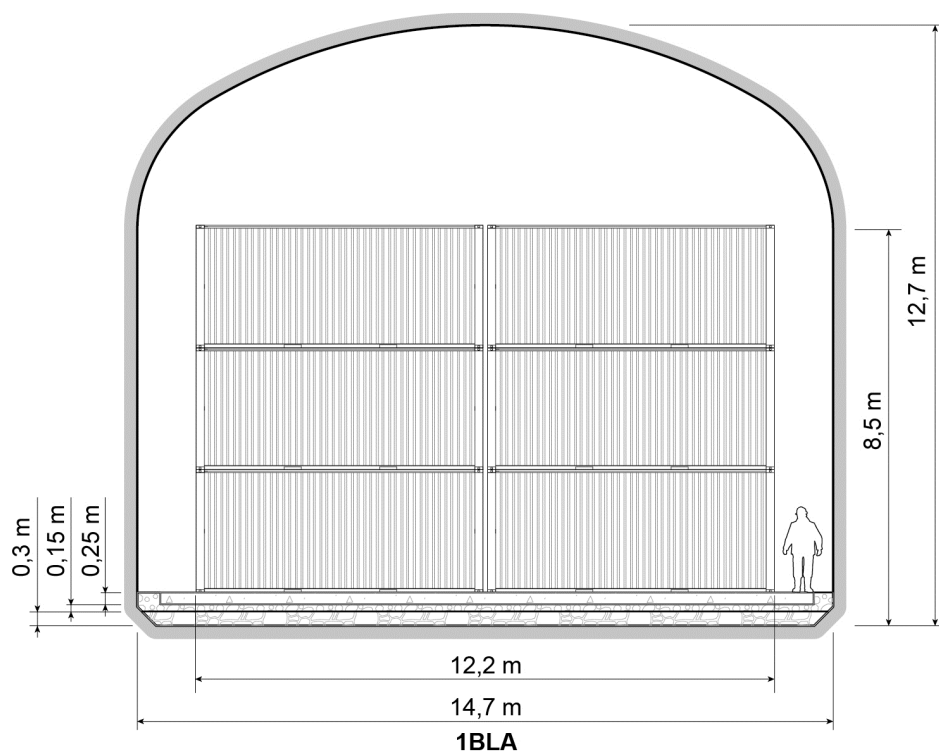
#### 1BLA

Referensutformning för 1BLA illustreras i Figur 4-3 och en schematisk tvärsektion av 1BLA visas i Figur 4-4. I området mot 1BST behövs ett mekaniskt mothåll bestående av återfyllnadsmaterial för att övergångsmaterialet i jorddammspluggen ska hållas på plats. Mothållet åstadkoms genom att återfylla 10 m av bergssalen med makadam och mot en stödmur i betong. Betongpluggen mot 1TT (1) har även den mekaniskt stöd av återfyllnad i bergssalen.

I Figur 4-3 visas betong (10) som syftar till att förbättra mothållet mot jorddammspluggen genom att fylla utrymmet ovan återfyllnaden och ovan nivån för de anslutande tunnlarna.



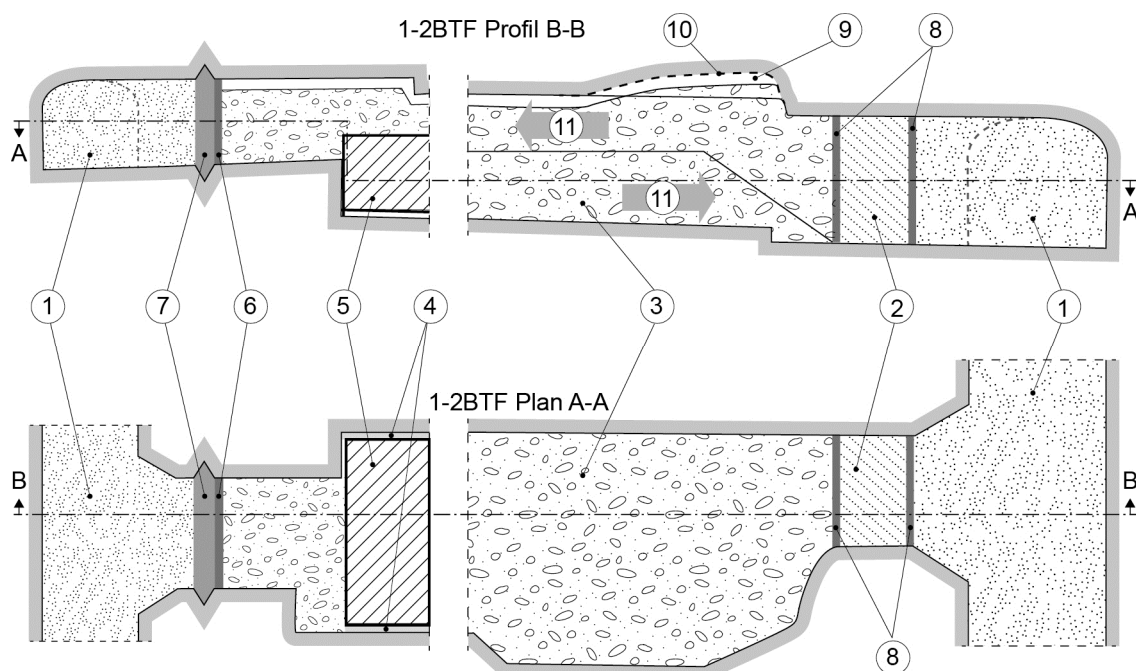
**Figur 4-3.** Schematisk plan och profil för förslutning av 1BLA. Förklaring: 1) Bentonit. 2) Övergångsmaterial. 3) Makadam. 4) Stödmur. 5) Avfall. 6) Öppen bergssal. 7) Mothållande vägg och gjutform. 8) Betongplugg. 9) Mothållande vägg. 10) Betong. 11) Spalt vid tak. 12) Arbetsriktning för återfyllning mot bergssalstunnel.



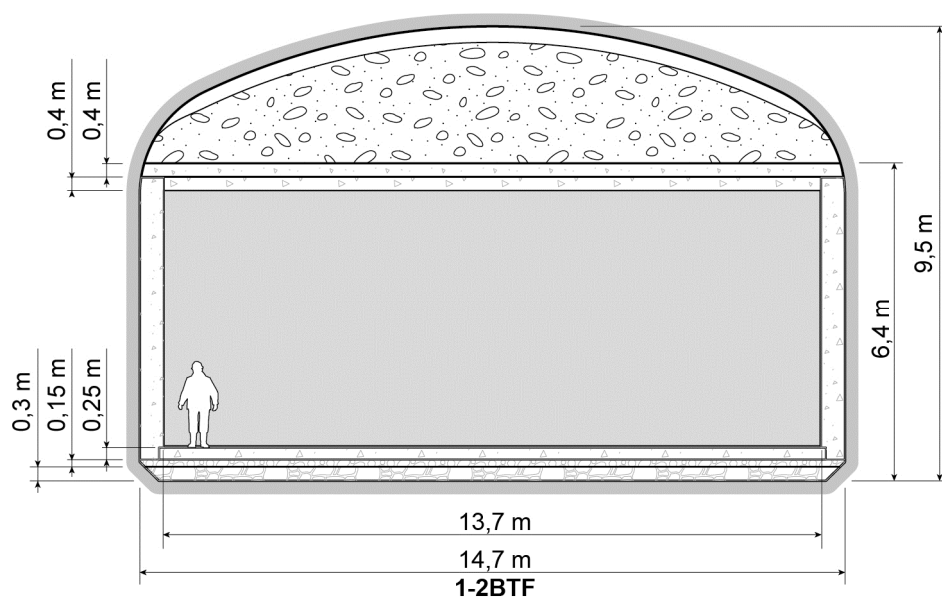
**Figur 4-4.** Schematisk tvärsnitt för 1BLA. Tvärsnittsytan är 173 m<sup>2</sup>.

### 1BTF och 2BTF

Referensutförning för 1-2BTF illustreras i Figur 4-5 och en schematisk sektion av 1-2BTF visas i Figur 4-6. Den nya bergprofilen (10) syftar till att förbättra mothållet genom en utökad ytkontakt mellan makadam och berg så att övergångsmaterialet i jorddammspluggen hålls på plats.



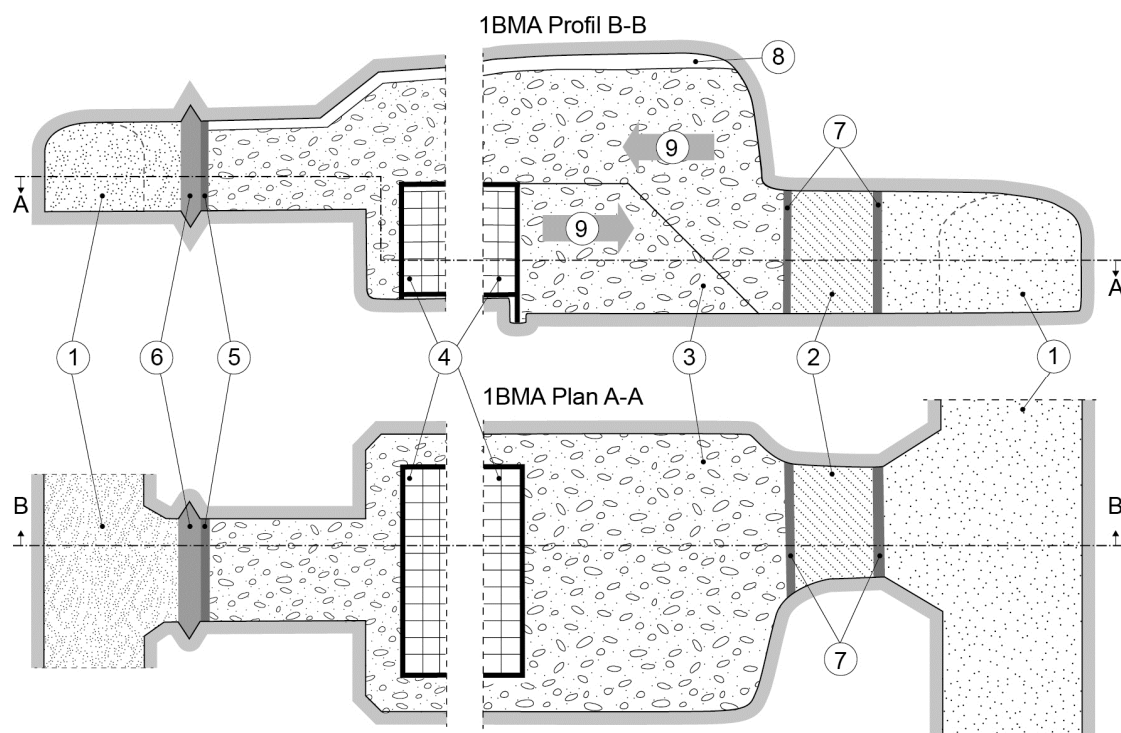
**Figur 4-5.** Schematisk plan och profil för förslutning av 1BTF och 2BTF. Förklaring: 1) Bentonit. 2) Övergångsmaterial. 3) Makadam. 4) Betong mellan avfall och bergvägg. 5) Kringgjutna avfallskollin. 6) Mothållande vägg och gjutform. 7) Betongplugg. 8) Mothållande vägg. 9) Öppen spalt mellan överyta makadam och tunneltak. 10) Ny bergprofil. 11) Arbetsriktning för återfyllning av bergssal.



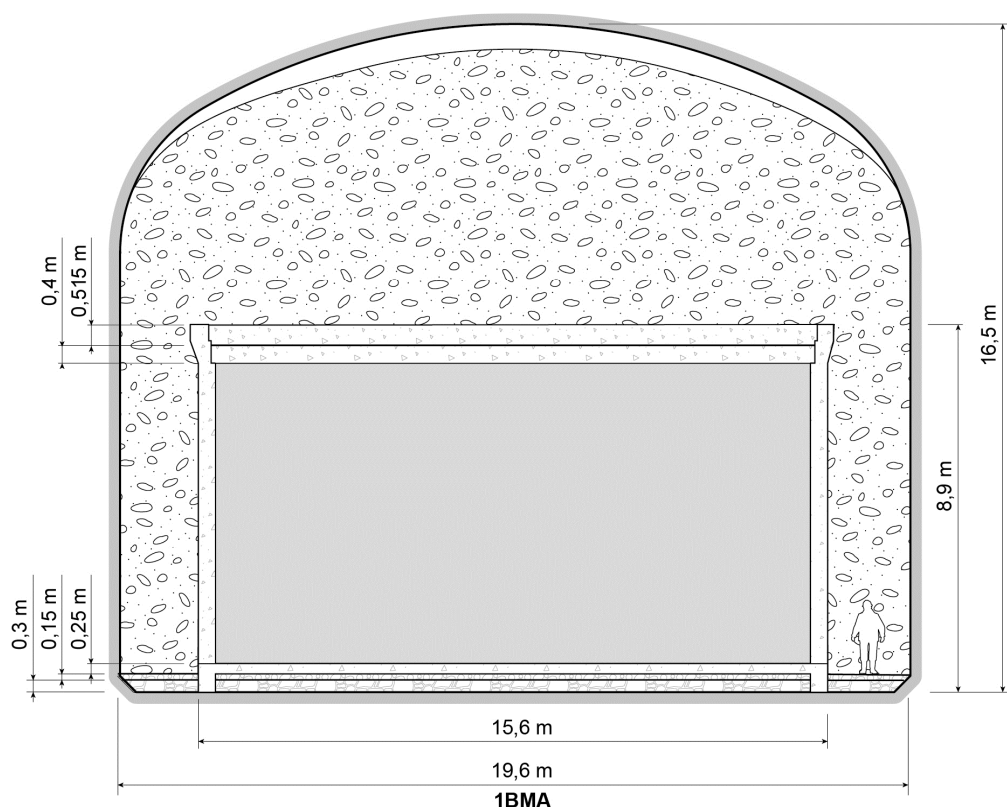
**Figur 4-6.** Schematisk tvärsnitt för 1BTF och 2BTF med återfyllnad. Tvärsnittsytan är 129 m<sup>2</sup>.

### 1BMA

Referensutförning för 1BMA illustreras i Figur 4-7 och en schematisk tvärsnitt visas i Figur 4-8.



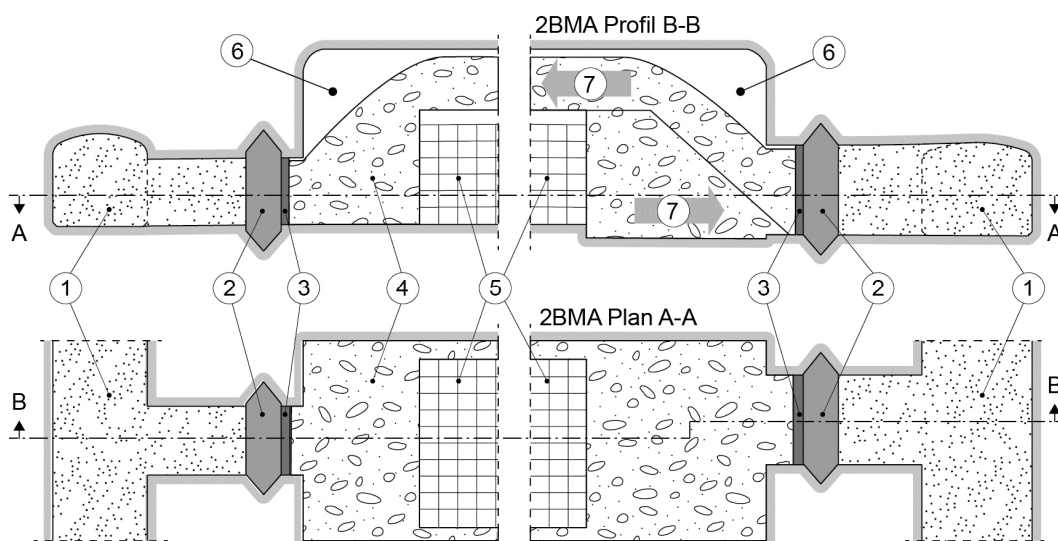
**Figur 4-7.** Schematisk bild för återfyllnaden i 1BMA. Förklaring: 1) Bentonit. 2) Övergångsmaterial. 3) Makadam. 4) Kringgjutna avfallskollin. 5) Mothållande vägg och gjutform. 6) Betongplugg. 7) Mothållande vägg. 8) Öppen spalt mellan överyta makadam och tunneltak. 9) Arbetsriktning för återfyllning av bergssal.



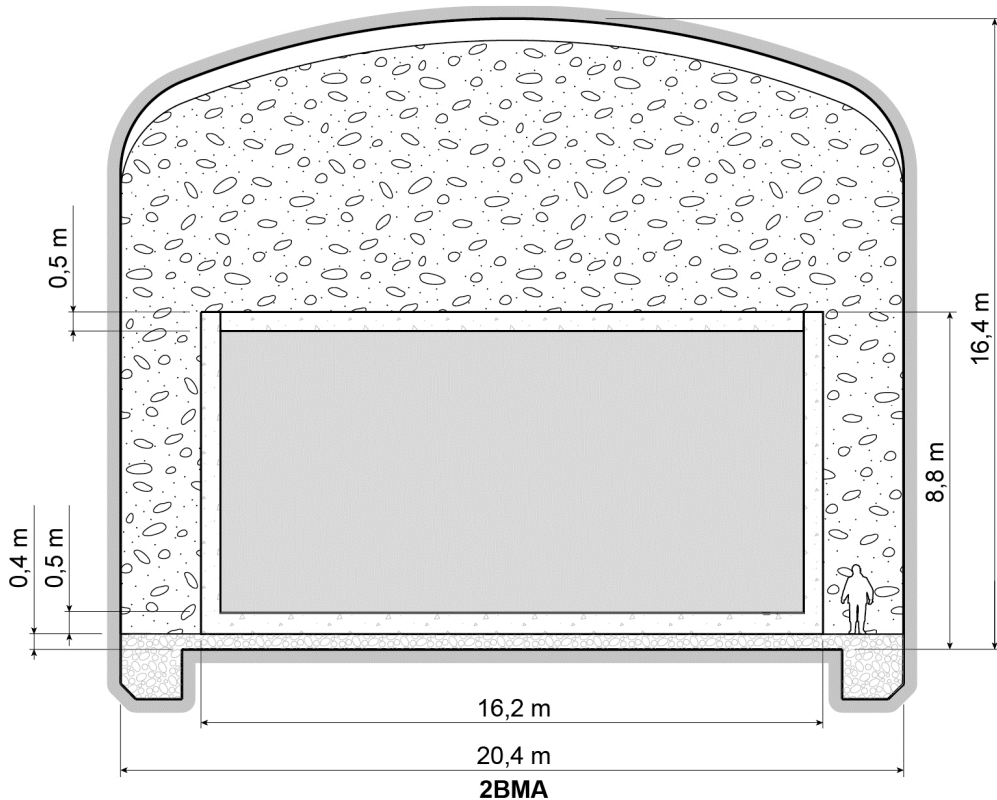
**Figur 4-8.** Schematisk tvärsnitt för 1BMA med återfyllnad. Tvärsnittsytan är 300 m<sup>2</sup>.

## 2BMA

Referensutförning för 1BMA illustreras i Figur 4-9 och en schematisk tvärsnitt visas i Figur 4-10.



**Figur 4-9.** Schematisk bild för återfyllnaden i 2BMA. Förklaring: 1) Bentonit. 2) Mekanisk plugg av betong. 3) Mothållande vägg och gjutform. 4) Makadam. 5) Kringgjutna avfallskollin. 6) Öppen spalt mellan överyta makadam och tunneltak. 7) Arbetsriktning för återfyllning av bergssal.

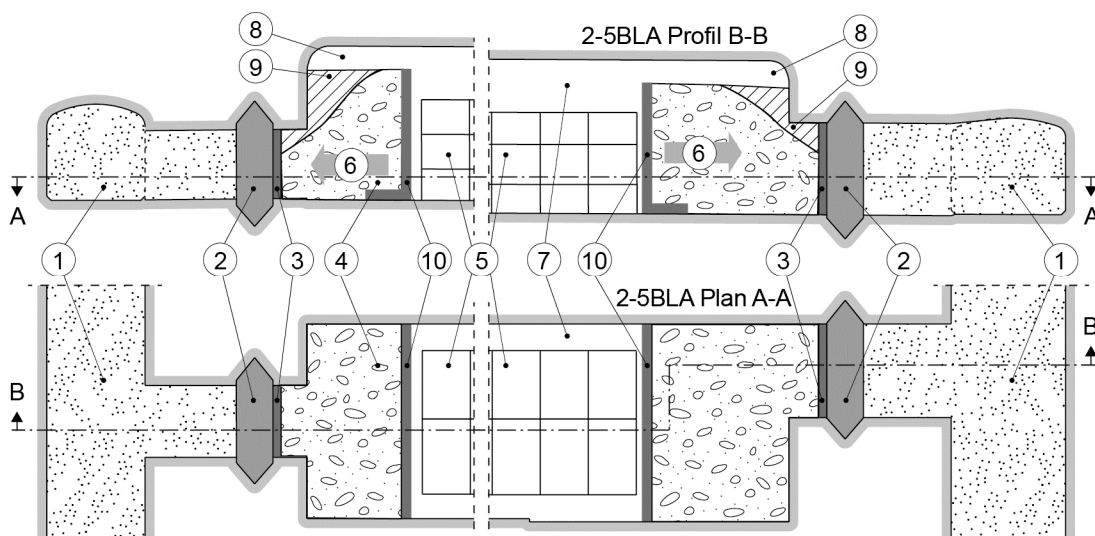


**Figur 4-10.** Schematisk tvärsnitt för 2BMA med återfyllnad.

### 2-5BLA

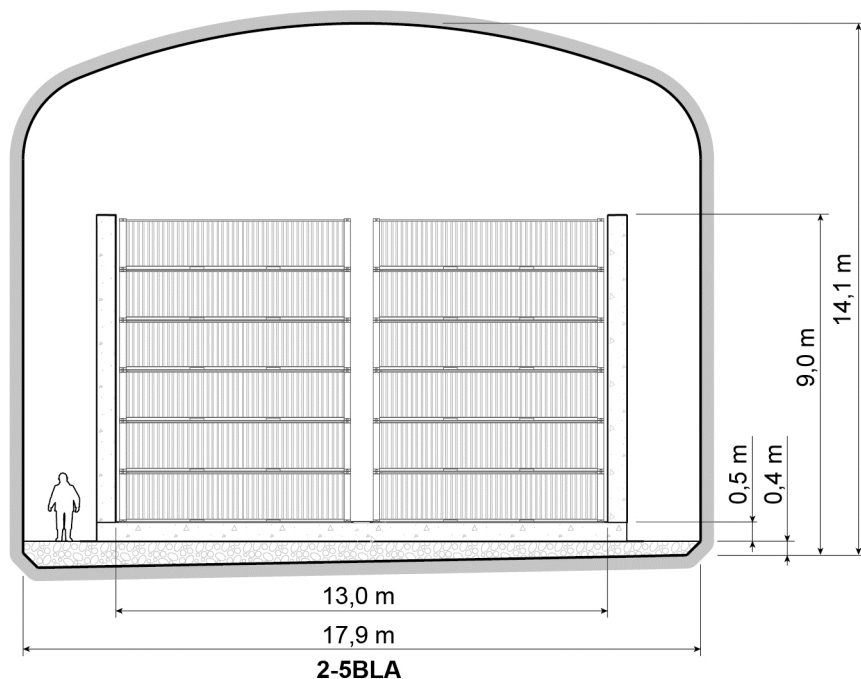
Referensutförning för 2-5BLA illustreras i Figur 4-11 och en schematisk sektion visas i Figur 4-12. I området mot 2TT och 2BST uppförs ett mekaniskt mothåll bestående av återfyllnadsmaterial vilken fungerar som stöd när betongpluggen inte längre är intakt. Mothåll åstadkoms genom att återfylla 10 m av bergssalen med makadam i varje ände och mot en stödmur i betong.

I Figur 4-11 visas betong (9) som syftar till att förbättra mothållet mot betongpluggarna genom att fylla utrymmet ovan återfyllnaden och ovan nivån för de anslutande tunnlar.





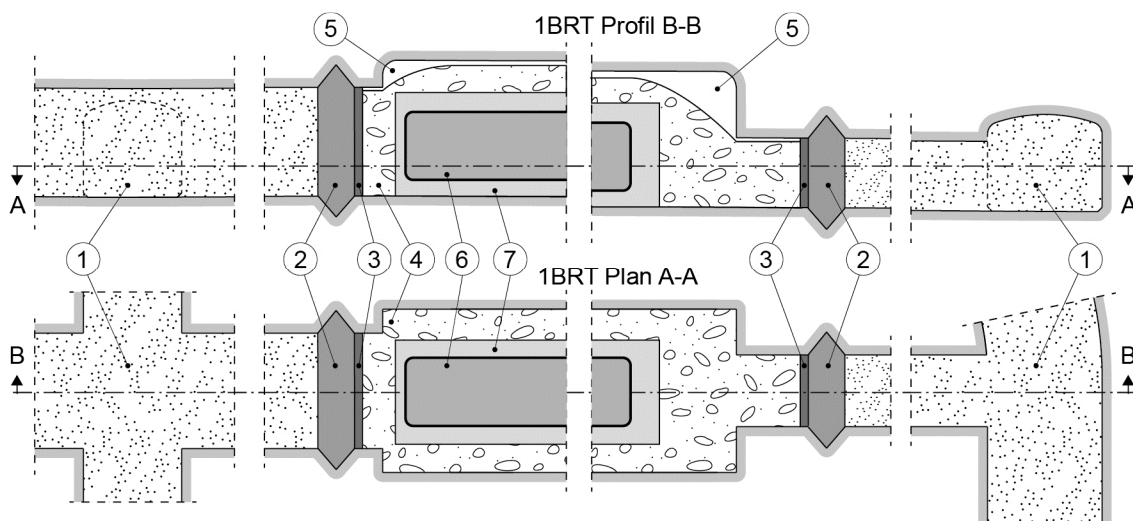
**Figur 4-11.** Schematisk bild för återfyllnaden i 2-5BLA. Förklaring: 1) Bentonit. 2) Mekanisk plugg av betong. 3) Mothållande vägg och gjutform. 4) Makadam. 5) Avfall. 6) Arbetsriktning. 7) Öppen sal. 8) Spalt i tak. 9) Betong. 10) Stödmur.



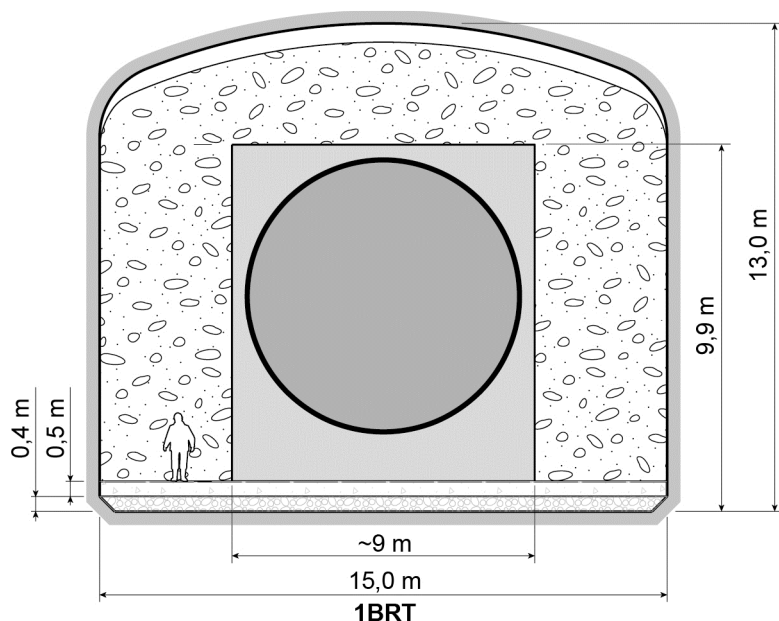
**Figur 4-12.** Schematisk tvärsnitt för 2-5BLA.

### 1BRT

Referensutförning för 1BRT illustreras i Figur 4-13 och en schematisk sektion visas i Figur 4-14. Innan bergssalen återfylls ska reaktortankarna igjutas och kringgjutas med betong.



**Figur 4-13.** Schematisk bild för återfyllnaden i 1BRT. Förklaring: 1) Bentonit. 2) Mekanisk plugg av betong. 3) Mothållande vägg och gjutform. 4) Makadam. 5) Spalt mellan överytta makadam och tunneltak. 6) Igjutna reaktortankar. 7) Kringgjutning



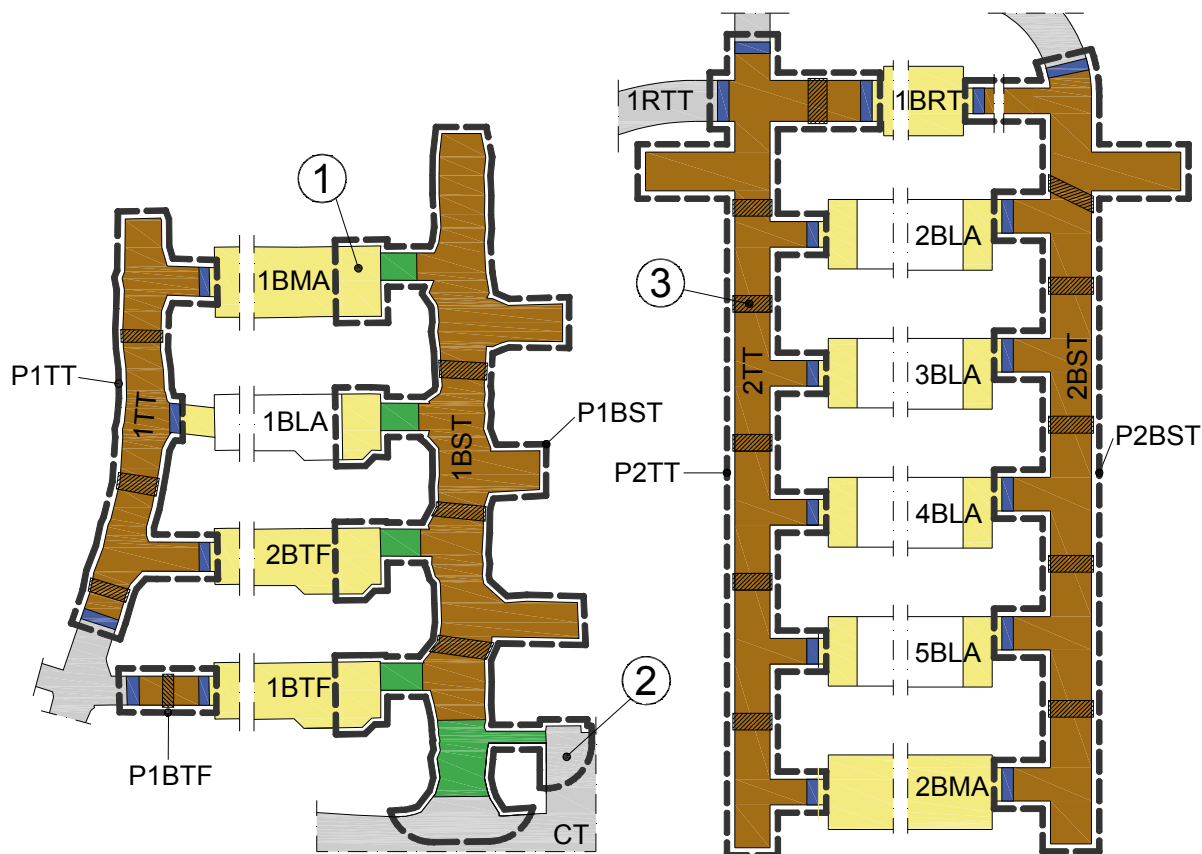
**Figur 4-14.** Schematisk tvärsnitt för 1BRT med kringgjutning och återfyllnad.

### **Pluggar till bergssalar**

En översikt över pluggarnas placering ges av Figur 4-1. Totalt fem olika pluggar används för att försegla bergssalarna. Pluggarna P1TT, P1BST och P1BTF förseglar bergssalarna i befintligt SFR. Pluggarna P2TT och P2BST förseglar bergssalarna i den utbyggda delen av SFR, Figur 4-15.

Samtliga pluggar består av en hydrauliskt tät sektion och mekaniska mothåll som håller denna på plats. I alla pluggar utom P1BST så utgörs de mekaniska mothållen av betong (betongplugg). Då tunnelarnas geometri och bergkvalitet gör det olämpligt att installera mekaniska pluggar av betong för att innesluta den täta sektionen i P1BST så används istället mekaniska pluggar av mothållande makadam och övergångsmaterial. För att de hydrauliskt täta sektionerna ska fungera behöver den skadade zonen tas ut i ett antal sektioner. Dessa sektioner identifieras i Figur 4-15 position 3.

För P2TT och P2BST har tillräckligt lång tillfartstunnel för att montera betongplugg planerats. Därför bedöms jorrdammspluggar i utbyggnaden inte behövas.



**Figur 4-15.** Pluggar i anslutning till bergssalar är markerade med streckad linje. Förklaring: 1) Gul färg inom gränslinje för plugg visar delar av återfyllnad i bergssalar som är verksamma delar av jorddammspluggen. 2) Grå färg inom gränslinje för plugg visar delar av återfyllnad i tunnelsystem som är verksamma delar av jorddammspluggen. 3) Skrafferade områden markerad där skadad zon ska tas ut med skonsamma metoder.

## 4.5 Förslutning av silo

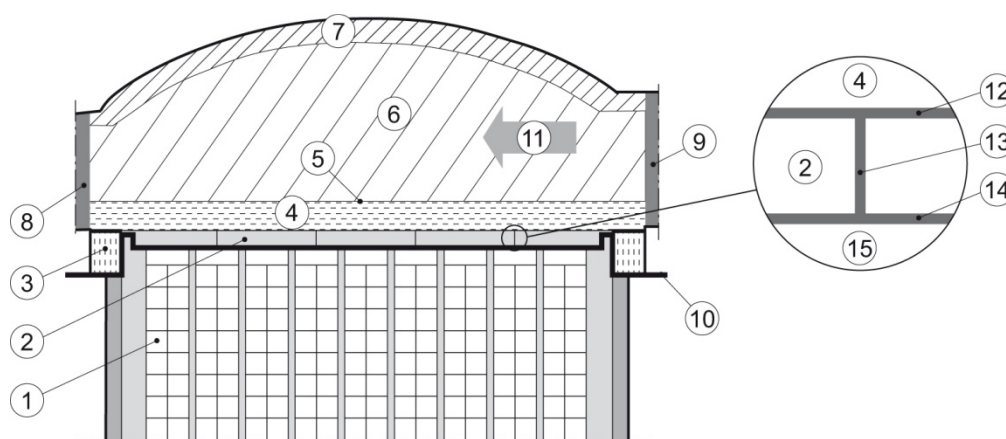
### 4.5.1 Referensutformning

I följande avsnitt redovisas kortfattat silons referensutformning.

#### Återfyllnadsmaterial i silotopp

Återfyllnadsmaterialet som avses användas i silotopp presenteras i Figur 4-16 där materialval återfinns i SKB (2008). Förväntad hydraulisk konduktivitet hos bentonitblandning (10/90, bentonit/sand) är  $< 10^{-9}$  m/s, där lägsta konduktivitet uppskattas till  $10^{-10}$  m/s med hänsyn till förhållandena som kommer att råda i SFR (Pusch 1985). Bentonitblandning (30/70, bentonit/sand) har en hydraulisk konduktivitet  $< 10^{-9}$  m/s (Johannesson et al. 1999).

Återfyllnaden av silo är konstruerad för att avleda gas, varför gasdräneringsrör tillsammans med sandlager installeras i silotoppen. Gasen avleds för att förhindra tryckuppbyggnad i silo.



**Figur 4-16.** Återfyllnadsmaterial i silotoppen. Förklaring: 1) Kringgjutet avfall. 2) Armerad betong 1m. 3) Packad fyllning av bentonitblandning 30/70 bentonit/sand 4) Packad fyllning av bentonitblandning 10/90 bentonit/sand 1.5 m. 5) Ormerad betongplatta. 6) Packad fyllning av friktionsmaterial. 7) Cementstabiliserad sand. 8) Mothållande vägg av betong mot 1STT. 9) Mothållande vägg av betong mot IB. 10) Gräns mellan arbeten som tillhör kringgjutning och återfyllning. 11) Arbetsritkning för återfyllning med material enligt punkt 6 och 7. 12) Sandlager 100 mm. 13) Gasavledningsrör Ø0,1 m. 14) Sandlager 50 mm. 15) Kringgjutningsbruk (permeabelt).

#### Pluggar till silo

Det är tre pluggar som försluter silo, vilka återfinns i Figur 4-17 och benämns som NSP, ÖSP och STP. En viktig faktor vid utformningen av pluggarna har varit att hitta lämpliga tunnelgeometrier för att kunna installera de mekaniska mothållen som håller de hydrauliskt täta sektionerna på plats. Pluggarnas utformning beskrivs närmare i avsnitt 4.9.2.

#### Nedre siloplugg (NSP)

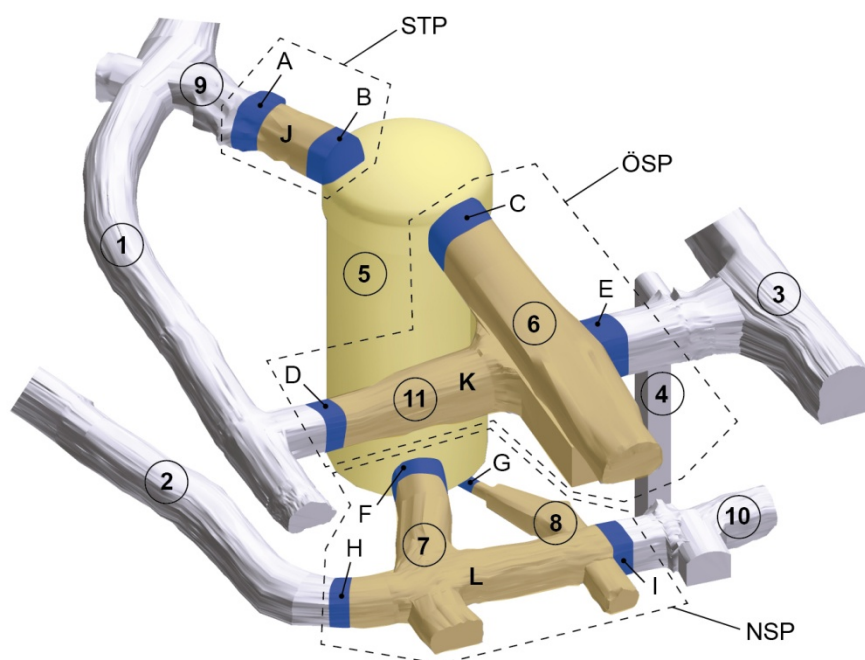
- Försluter silobottentunneln, 1SBT (7), och silodränagetunneln, 1SDT (8).
- Består av fyra mekaniska mothåll av betong (F, G, H, I) och en hydraulisk tät sektion bestående av bentonit (L).

### Övre siloplugg (ÖSP)

- Försluter silotunneln, 1ST (11), och inlastningsbyggnaden, IB (6).
- Består av tre mekaniska mothåll av betong (C, D, E) och en hydraulisk tät sektion bestående av bentonit (K).

### Silotakplugg (STP)

- Försluter silotaktunneln, 1STT (9).
- Består av två mekaniska mothåll av betong (A, B) och en hydraulisk tät sektion bestående av bentonit (J).



**Figur 4-17.** Illustration av de tre pluggar som försluter silo. Förklaring: 1) Byggtunnel, BT. 2) Nedre byggtunnel, NBT. 3) Centraltunnel, CT. 4) Förbindelseschakt, IFS. 5) Silo, IS. 6) Inlastningsbyggnad, IB. 7) Silobottentunnel, 1SBT. 8) Dränagetunnel, 1SDT. 9) Silotaktunnel, 1STT. 10) Avslutande del av nedre byggtunnel. 11) Silotunnel, 1ST. Tunneldelar 1, 2, 3,4 och 10 i tillhör tunnelsystemet.

## 4.6 Förslutning av nedfartstunnlar och tunnelsystem

### 4.6.1 Referensutformning

Nedfartstunnlar och tunnelsystem avser de delar av underjordsanläggningen som inte omfattas av bergssalar med tillhörande pluggar samt silon med tillhörande pluggar. De delar av tunnelsystemet som ska återfyllas enligt detta kapitel visas i Figur 4-1 med grå färg där den principiella gränsen mellan nedfartstunnlar och tunnelsystem visas med punktstreckad linje.

Förslutningskomponenterna beskrivs i avsnitt 4.9.

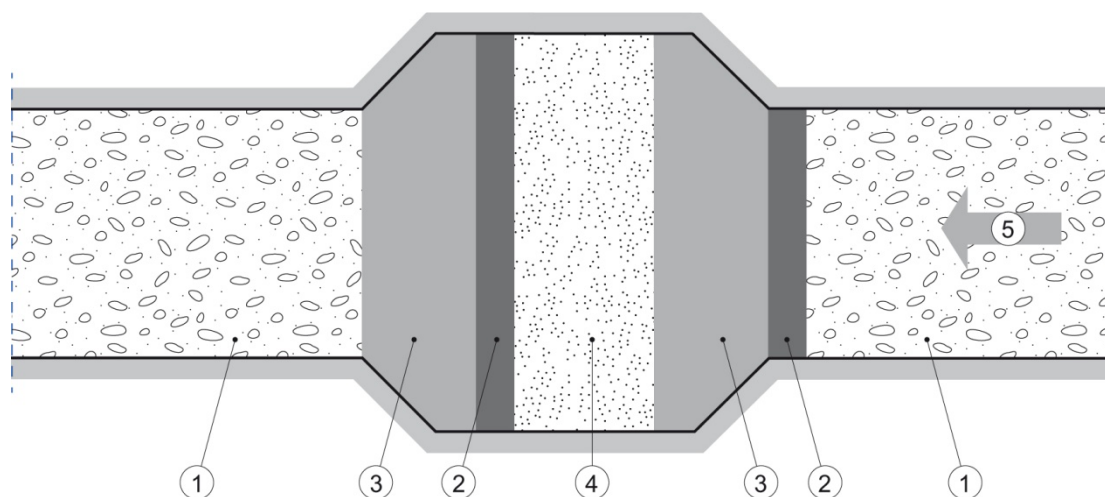
### Återfyllnadsmaterial i nedfartstunnlar och tunnelsystem

Nedfartstunnlar och tunnelsystem återfylls med makadam. Det antagande som styrts valet av återfyllnadsmaterial för tunnarna är att den ska ha relativt hög hydraulisk konduktivitet, samt att den ska ha egenskaper som minimerar sättningar. Detta gör att samma typ av material som används för bergssalarna kan användas (Nyblad och Wimelius 2013).

### Plugg i nedfartstunnlar

Återfyllnaden kompletteras med pluggar mellan genomstick 1 (1GS) och genomstick 2 (2GS) för byggtunnel (1BT) och drifttunnel (1DT). För reaktortankstunnel (1RTT) kommer motsvarande pluggar mellan genomstick 4 (4GS) och genomstick 5 (5GS) att installeras, Figur 4-1.

Pluggens utformning i nedfartstunnlarna framgår av Figur 4-18. Den täta sektionen av bentonit är 10 m lång baserat på en rekommendation i "Utformning av hydrauliskt täta sektioner av bentonit i SFR" (SKBdoc 1347593).



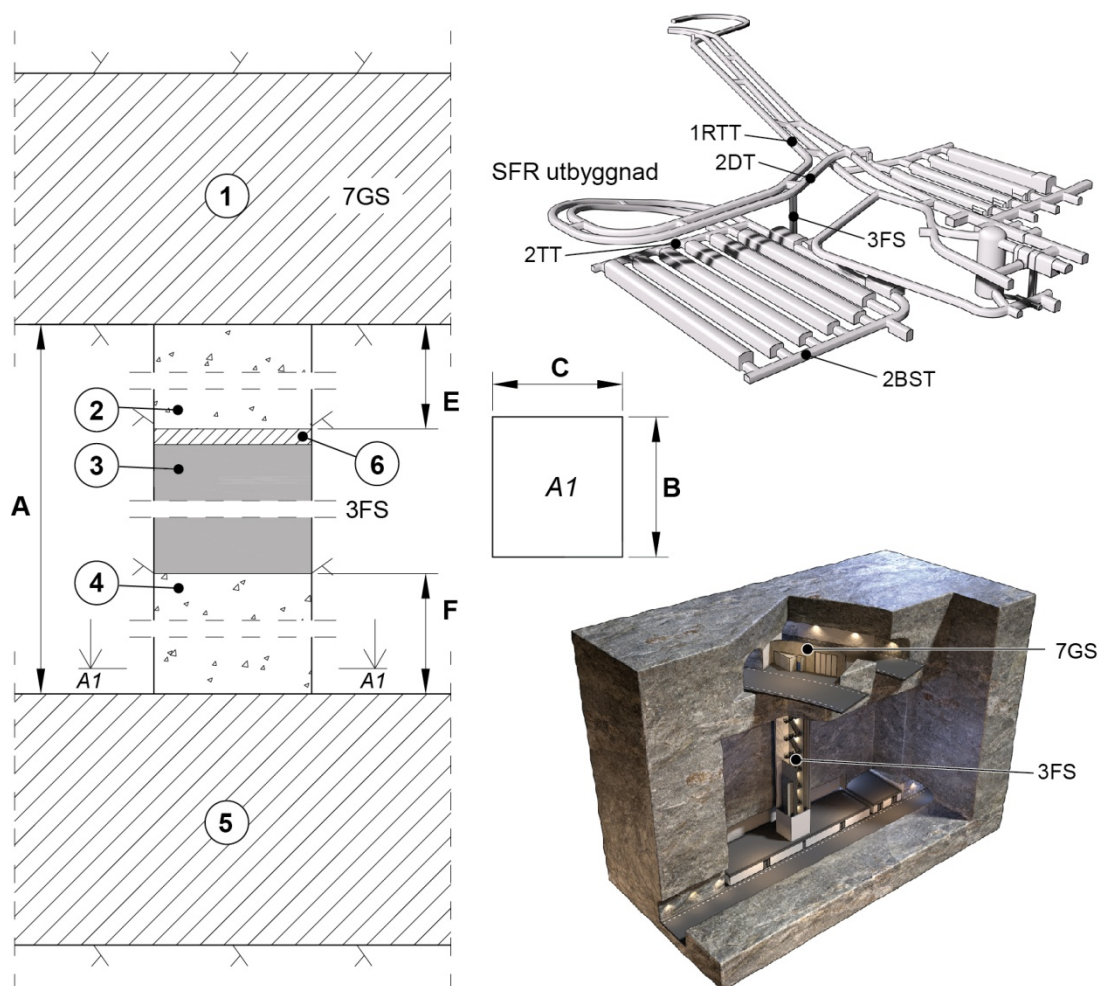
**Figur 4-18.** Principiell referensutformning av pluggen i nedfartstunnlar. Förklaring: 1) Återfyllnad av makadam. 2) Mothållande vägg. 3) Betong. 4) Bentonit. 5) Arbetsriktning.

### Plugg i förbindeschakt

Förbindeschakt (3FS) mellan genomstick 7 (7GS) och ventilationsbyggnad (VB) ska förslutas med en plugg, Figur 4-19. Denna plugg utgörs av en vertikal hydrauliskt tät sektion med betongplugg i topp och botten. Syftet med pluggen är att minska vattenflöde direkt från VB till 7GS. Betongpluggarna ska hålla bentoniten på plats och motstå egenvikt och svälltryck. Placeringen av betongpluggarna blir i

övre och nedre delen av schaktet. För detta ändamål är betongplugg enligt Figur 4-21 och Figur 4-22 ej lämpligt då berguttag för pluggen blir komplicerat av utrymmesskäl. Ett berguttag måste även ske en betryggande sträcka in i tunneln för den nedre pluggen för att säkerställa bergets hållfasthet. Risk finns att pluggen trycks ner i VB om nedre betongplugg monteras för djupt, Figur 4-19. För att erhålla erforderlig hydraulisk konduktivitet ska berguttag utföras på så sätt att skadad zon blir försumbar.

Bentoniten installeras som pressade block och spalt till bergvägg fylls med pellets, avsnitt 4.9.



**Figur 4-19.** Schematisk beskrivning av plugg i förbindelseschakt 3FS. Förklaring:

1) Återfyllnadsmaterial av makadam. 2) Övre betongplugg. 3) Bentonit. 4) Nedre betongplugg. 5) Återfyllnadsmaterial av makadam. 6) Arbetsyta för plugginstallation och skydd för bentonit. Mått: A  $\approx$  40 m, B  $\approx$  7 m, C  $\approx$  7 m, E och F ej utrett.

## 4.7 Toppförslutning

De översta 50 längdmetrarna av nedfartstunnlarna fylls med stenblock som avslutas med en betongplugg. Markytan återställs sedan till den omgivande naturtypen enligt avvecklingsplan.

## 4.8 Förslutning av borrhål

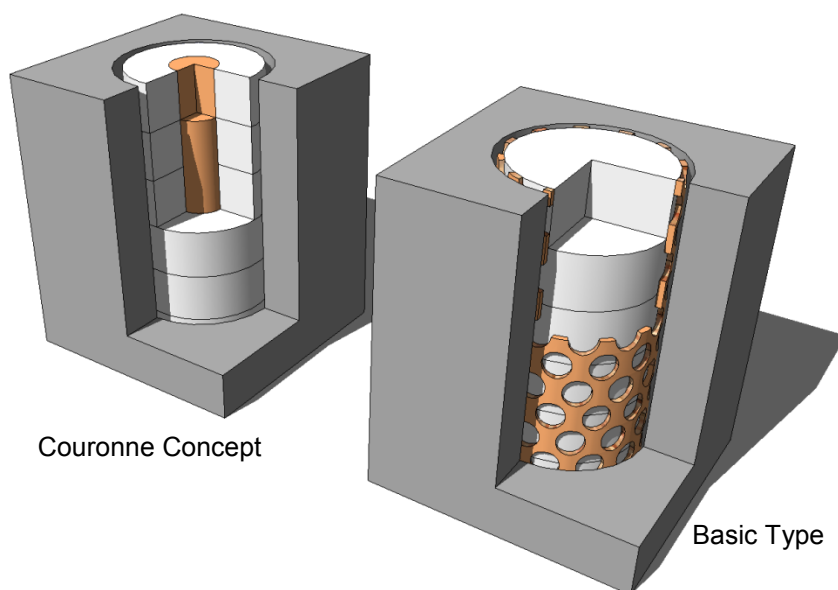
Samtliga borrhål vid SFR ska efter avslutad drift erhålla en god förslutning som uppfyller kraven på hydraulisk konduktivitet på kort och lång sikt. Där berget har låg hydraulisk konduktivitet ska borrhålsförslutningen ha låg hydraulisk konduktivitet. För positioner längs borrhål där berget har hög hydraulisk konduktivitet (deformationszoner) ställs endast krav på mekanisk stabilitet.

Borrhål som ligger i position med befintligt SFR har förslutits enligt metoder som uppfyllde gällande krav när förslutningen utfördes (Hagkonsult 1982 och SKBF/KBS 1983).

### 4.8.1 Referensutförning

Det finns två typer av borrhålsförslutning, Figur 4-20, som kan tillämpas inom SFR. Vidare beskrivs komponenterna i avsnitt 4.9.5.

- Borrhålslängd < 20 m:  
Bentonit på stång (Couronne Concept) kombinerat med kvarts-/cementbaserad mekanisk plugg och försegling.
- Borrhålslängd > 20 m:  
Bentonit i rör (Basic Type) kombinerat med kvarts-/cementbaserad mekanisk plugg och försegling.



**Figur 4-20.** Schematisk skiss för de två valda förslutningsmetoderna som ger låg hydraulisk konduktivitet i borrhålen: Bentonit i rör (Basic Type) och Bentonit på stång (Couronne Concept).



## 4.9 Förslutningskomponenter

I detta avsnitt beskrivs förslutningskomponenter som används för att försluta olika delar av underjordsanläggningen. De komponenter som beskrivs är delar av pluggar, återfyllnadsmaterialet för förvarsutrymmen och övriga tunnelsystem samt borrhålskomponenter.

### 4.9.1 Återfyllnadsmaterialet makadam

Som återfyllnadsmaterial ska makadam i fraktion 16 – 32 mm användas. Detta material har hög hydrauliskt konduktivitet. Dess sättning på lång sikt med hänsyn till spalt vid tak har bedömts utifrån en litteraturstudie (Nyblad och Wimelius 2013).

Materialegenskaper:

- Sättning på lång sikt ca 6 % av mäktigheten.
- Förväntad hydraulisk konduktivitet  $> 10^{-2}$  m/s.

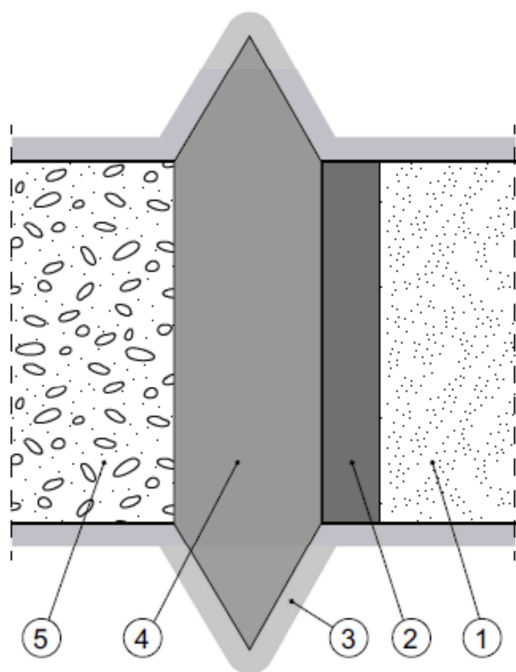
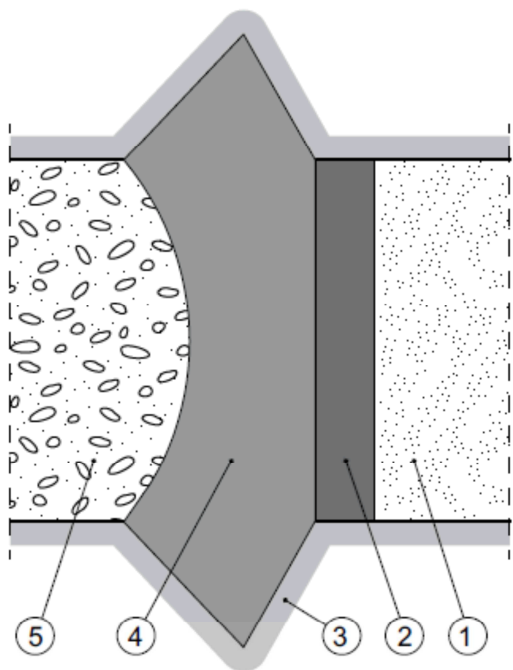
Materialet makadam beskrivs närmare i Nyblad och Wimelius (2013).

### 4.9.2 Betongplugg

Principiell referensutformning för mekaniskt mothåll av betong illustreras i Figur 4-21. Denna typ av mekaniskt mothåll har utvecklats och testats för slutförvaret för använt kärnbränsle (Malm 2012 och Dahlström 2009). I *"Konceptuell utformning av pluggar för förslutning av SFR"* (SKBdoc 1334119) utvärderades lämpliga mekaniska pluggar för förslutningen av SFR.

I *"Konceptuell utformning av pluggar för förslutning av SFR"* (SKBdoc 1334119) anpassades och optimerades geometrin för pluggen till aktuella sektioner i SFR. Detta resulterade i en avsevärd reduktion av de ursprungligt antagna betongvolymerna samt att den principiella utformningen modifierades enligt Figur 4-22.

Geometrioptimeringsstudien genomfördes med FEM-modeller. Nya dimensioner för pluggarna togs fram dels för de tidigare använda konservativa lasterna men också för uppdaterade, och mindre konservativa, laster. I *"Konceptuell utformning av pluggar för förslutning av SFR"* (SKBdoc 1334119) antogs att mothållen kompletterades med en sektion fylld med övergångsmaterial för att förbättra mothållsfunktionen när betongen degraderat. I detta dokument redovisas inte pluggarna med den detaljeringsnivån. Konstruktionen är generisk.



**Figur 4-21.** Principiell utformning av kupolformad betongplugg. Förklaring: 1) Bentonit (hydrauliskt tät sektion). 2) Mothållande vägg. 3) Berguttag för upplag av plugg samt brytning av skadad zon. 4) Betong. 5) Återfyllnadsmaterial.

**Figur 4-22.** Principiell utformning av optimerad betongplugg. Förklaring enligt Figur 4-21.

Figur 4-21 visar en principbild för pluggens utformning och placering med mothållande vägg samt slitsen vid pluggläget. Beroende på kravet för pluggens täthet kan pluggen kompletteras med en filterlösning och bentonittätning. Eventuellt kan ett dränagerör vara nödvändig genom pluggen under gjutning och härdning, denna stängs och fylls när betongen erhållit tillräcklig hållfasthet. Vattenflöden mot färsk (inom något dygn från gjutning) betong medför kanalbildning och potentiella läckagevägar (Dahlström 2009).

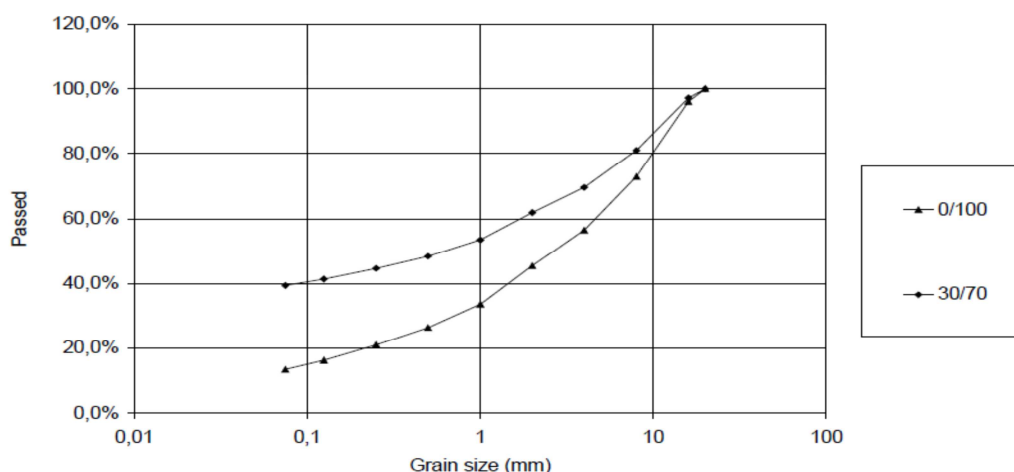
#### 4.9.3 Övergångsmaterial i jorddammsplugg

Övergångsmaterial är en komponent i en jorddammsplugg som beskrivs av Luterkort och Bertilsson (2012). Övergångsmaterialet vidarebefordrar lasten från bentonitens svällning till bakomliggande återfyllnadsmaterial samt säkerställer att bentoniten från den täta sektionen inte transporteras ut i återfyllnadsmaterialet i bergssalar eller transporttunnlar i en omfattning som menligt påverkar den tätande sektionens funktion. Geometrin för övergångsmaterialen som ska installeras i tillfarterna till bergssalarna i befintligt SFR visas bland annat i Figur 4-15. Den hydrauliska konduktiviteten för ett övergångsmaterial testades i laboratoriemiljö av Johannesson et al. (1999).

Utformning av övergångsmaterial:

- 30 % viktandelar bentonit.
- 70 % viktandelar krossat berg (Figur 4-23).
- Installerad (packad) torrdensitet 1,6 – 1,8 ton/m<sup>3</sup> (Gunnarsson et al. 2001)
- Vattenkvot vid installation 12 – 13 %.

Maximal kornstorlek för det krossande berget sätts till 20 mm. Exempel på kornstorleksfördelning för det krossade berget samt den resulterade kornstorlekskurvan för blandningen redovisas i Figur 4-23.



**Figur 4-23.** Kornfördelningskurva för krossat berg med kornfördelning 0-20 mm (0/100) samt för övergångsmaterialet (30/70) (Gunnarsson et al. 2001).

Det beskrivna övergångsmaterialet är en första ansats baserat på erfarenheterna från testerna av återfyllning av tunnlar i Äspölaboratoriet (Gunnarsson et al. 2001). Vidare utvecklingsarbete kommer förmodligen leda till modifikation av materialet.

#### 4.9.4 Bentonit i hydrauliskt täta sektioner

Bentonitens egenskaper listas nedan:

- Installerad medeldensitet (torrdensitet för block och pellets)  $\approx 1,4 \text{ ton/m}^3$
- Förväntad hydraulisk konduktivitet  $\approx 10^{-12} - 10^{-13} \text{ m/s}$  (Karnland et al. 2006)
- Förväntat svälltryck  $\approx 2 - 4 \text{ Mpa}$
- Vattenkvot vid installation  $\approx 16 - 19 \%$

Enligt Karnland et al. (2006) är bentonit med densitet över ca  $1,4 \text{ ton/m}^3$  inte väsentligt känslig för grundvattnets sammansättning eller förekomsten av utbytbara joner. För att uppnå torrdensiteten ovan bedöms bentonitfyllnaden behöva utgöras av cirka 60 % bentonitblock (Keto et al. 2009). Då bentonitblockens torrdensitet avgörs vid pressningen och väsentligen avgörs av vilket presstryck som anbringas kan andelen block anpassas till blockdensitet samt bulkdensitet för pellets. Kriteriet för medeldensitet enligt ovan med föreslagen andel block uppfylls om densiteten för block är ca  $1700 \text{ kg/m}^3$  och bulkdensitet för pellets ca  $900 \text{ kg/m}^3$ . Andra fördelningar mellan block och pellets samt annan densitet för block respektive pellets kan tänkas om samma medeldensitet kan erhållas. Det är sannolikt möjligt att använda en lägre bentonitdensitet.

#### 4.9.5 Komponent som utgör borrhålsförslutning

I Tabell 4-2 presenteras de komponenter som kan utgöra borrhålsförslutningen. I Pusch och Ramqvist (2007) finns ytterligare beskrivning av borrhålsförslutningen.

**Tabell 4-2.** Beskrivning av komponenter som utgör borrhålsförslutningen.

Komponent	Beskrivning	Syfte
Bentonit i rör (Basic Type)	Perforerade kopparrör fyllda med diskar av kompakterad bentonit. Konceptet kallas "Basic Type". Denna komponent installeras där borrhålet avses få samma eller lägre hydraulisk konduktivitet som omgivande berg.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ger borrhålet låg konduktivitet.</li> <li>- Det formstabila röret ger bentoniten i borrhålet ett väldefinierat läge.</li> <li>- Röret fördröjer bentonitens vattenupptagning under installation.</li> <li>- Röret minskar bentonitens erosion under installation.</li> </ul>
Bentonit på stång (Couronne Concept)	På kopparstång upphängda och kompakterade bentonitdiskar med centriskt hål. Konceptet kallas "Couronne Concept". Denna komponent installeras där borrhålet avses få samma eller lägre hydraulisk konduktivitet som omgivande berg.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ger borrhålet låg konduktivitet.</li> <li>- Den formstabila stången ger bentoniten i borrhålet ett väldefinierat läge.</li> </ul>
QC-plugg	Kvarts-/cementbaserad långtidsbeständig mekanisk plugg (QC-plugg). Denna komponent installeras där vattenförande sprickor riskerar erodera bentonit.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Förhindra erosion av bentonitlera till vattenförande sprickor.</li> <li>- Utgöra mothåll för bentonitlerans svälltryck under installationsfasen.</li> </ul>
Försegling	Övre förslutning av betong, berg och/eller metall. Denna komponent installeras i övre änden på undersökningsborrhål.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Skydda borrhålet mot åverkan.</li> </ul>

Borrhålen i sin helhet kan förutom toppförseglingen utgöras av omväxlande QC-pluggar vid vattenförande sprickor och bentonit (på stång eller i rör) där hålet går genom homogent berg.

## 5 Krav på andra system

Här listas krav (eller önskemål) på hur utbyggd del av SFR ska utformas för att skapa goda förutsättningar för kringgjutning och förslutning. Konsekvenser av att inte uppfylla krav eller önskemål redovisas.

### 5.1 Kringgjutning av avfall

Kringgjutning bedöms inte ställa några specifika krav på anslutande system i befintliga förvarsutrymmen med anledning till att de anslutande systemen redan har uppförts och avfall har deponerats. Det leder till att kringgjutningen måste anpassas till de rådande förhållandena.

I nya planerade förvarsutrymmen bedöms kringgjutning ställa krav på staplingen av avfallsbehållare så att tillräckligt med utrymme åstadkoms för att god kringgjutning ska vara möjlig att uppnå.

### 5.2 Förslutning av SFR

För utbyggnaden av SFR så ställer betongpluggarna krav på tunnlarnas geometri och bergets kvalitet. För placering av pluggar krävs berg av hög hållfasthet och ett litet vatteninflöde så att en plugg kan installeras. Den sträcka som krävs för att hitta berg med dessa egenskaper är av storleksordningen ca 15 m enligt *"Geometrioptimering av pluggar för förslutning av SFR, Projekt SFR-utbyggnad"* (SKBdoc 1346127). Detta så att pluggläget kan anpassas efter den bergkvalitet som påträffas. Lämplig placering av pluggar ska beaktas under projektering och vid tunneldrivning.

För att erhålla en tät plugg finns krav på berguttagsmetoderna. Först ska normal tunneldrivning ske, vid ett aktuellt pluggläge kommer därefter ytterligare berguttag att krävas. Vid aktuellt pluggläge ska berget tas ut med skonsamma metoder som minimerar hydrauliskt skadad zon i tunnelperiferin. Om normal tunneldrivning väljs så ska den skadade zonen från ursprungliga tunneldrivningen skäras av i samband med förslutningen.

## 6 Fortsatt teknikutveckling och verifiering

Teknikutveckling och vidare verifiering ska utföras innan förslutningen projekteras. Dock bör viss teknikutveckling starta innan projektering av utbyggnaden avslutas. Detta gäller för borrhålsförslutning som ska utföras innan eller i anslutning till utbyggnadens genomförande.

### 6.1 Kringgjutning av avfall

Det återstår att ta fram en detaljerad kravspecifikation för samtliga bergssalar där kringgjutning ska utföras. Kravspecifikationen avser då både kvantitativa och kvalitativa krav på kringgjutningsmaterial och teknisk genomförbarhet i respektive bergssal.

Behov finns av en appliceringsteknik och ett kringgjutningsbruk som anpassas till de rådande förhållandena i 1BMA. Av den anledningen måste vidare utredning inom teknikutveckling utföras med fokus på genomförbarhet med ett lämpligt bruk som kan uppfylla ställda krav. Vidare behöver även applicering och val av bruk utvärderas för kringgjutning i 1-2BTF. Avseende siloförvaret pågår i dagsläget arbete med att utreda vilka handlingsalternativ som finns tillgängliga samt bedöma konsekvenserna av de olika alternativen för att kunna återuppta kringgjutning i silon.

De armeringsfria betongkassunerna i 2BMA ställer krav på avfallskollinas samt kringgjutningsbrukets motståndsförmåga mot yttre krafter. Det har utförts analyser på interaktionen mellan kringgjutning, avfallskollin och kassun vilket visar på att kringgjutningen har inverkan på kassunernas strukturella beteende oavsett om kringgjutningsbruket antas vara lastbärande eller inte. Kringgjutningsbrukets utfyllningsförmåga är därmed viktig att åstadkomma samtidigt som vidhäftning och interaktion mellan samtliga delar samt krympning är av betydelse. Vidare utredning av kringgjutningsbrukets materialegenskaper bedöms nödvändig att utföra. Utredningen bör då inkludera möjligheten att justera kringgjutningsbrukets tryckhållfasthet. Det bedöms även nödvändigt att verifiera kringgjutningsbrukets permeabilitet samt krympsprickor så att tillräckliga tryckavlastningsvägar för gas erhålls. Det rekommenderas även att undersöka temperaturlast på kassunerna skapad av kringgjutningen.

### 6.2 Förslutning av SFR

#### 6.2.1 Konceptuell utformning av förslutning

Den beskrivna utformningen för förslutningen bygger till stor del på antaganden och resultat från tidigare långsiktiga säkerhetsanalyser. Genom att i framtiden göra känslighetsanalyser för olika förslutningskoncept på den långsiktiga säkerheten så kan förmodligen en ur andra aspekter (övrig miljöpåverkan mm) mer anpassad förslutning tas fram.

#### 6.2.2 Återfyllnadsmaterial i bergssalar

Delvis återfyllda salar med betongpluggar behöver en viss mängd återfyllnadsmaterial som skall verka som mothåll då betongpluggen degraderar. Det behövs vidare utredning om hur mycket återfyllnadsmaterial som är tillräckligt för att åstadkomma erforderligt mothåll på lång sikt. Dessutom bör det utredas om detta material behöver annan kornstorleksfördelningskurva för att i erforderlig omfattning förhindra erosion av bentonit genom degraderad betong och återfyllnadsmaterial.

#### 6.2.3 Återfyllning och pluggning av silo

Baserat på den kunskap som tas fram inom den långsiktiga säkerhetsanalysen så kommer förfinade konstruktionsförutsättningar för att återfyllning och pluggning av silon att tas fram. Utformning av återfyllningen kommer sedan att ses över för att få en anpassning som både ger en praktisk installation och uppfyller krav från långsiktig säkerhet.

Vad som behöver rivas i inlastningsbyggnaden (IB) där bentonit skall installeras behöver utredas. Betongbjälklaget innebär att bentonitstapelns höjd minskar vilket underlättar installation. Detta förutsätter att bjälklaget kan bära bentonitens vikt.

#### 6.2.4 Betongpluggar

Den övergripande utformningen av förslutningen för SFR resulterar i krav på betongpluggarna. Som en del av det fortsatta arbetet ska dessa krav detaljeras. Detta kan leda till att enklare betongpluggar som inte behöver ta stöd i berget utan i större utsträckning kan få stöd från angränsande återfyllning. Detta ger en möjlighet att konstruera betongpluggar som inte kräver så omfattande bergarbeten som de pluggar som redovisas i denna plan. Detta kan ge en mera kostnadseffektiv och robust utformning.

Då den slutgiltiga layouten av SFR:s utbyggnad bestämts bör en detaljprojektering av pluggarna initieras, där varje plugg dimensioneras separat.

#### 6.2.5 Övergångsmaterial i jorddammsplugg

Mera omfattande beräkningar, parameterstudier samt modellering för att beskriva övergångsmaterialets utveckling kommer att genomföras.

Inflödet av vatten till förvarsdelarna av anläggningen är relativt begränsat men överslagsberäkningar på hur lång tid de olika förslutningsmomenten får ta innan problem med vatten i de återfyllda delarna börjar påverka installationsarbetet negativt behöver göras. Om vatteninflödet skulle visa sig innebära praktiska problem behöver tekniska lösningar för att hantera detta tas fram.

#### 6.2.6 Material i hydrauliskt täta sektioner

En mera detaljerad beskrivning av hur bentoniten i de täta sektionerna ska utformas och installeras behöver göras. Möjligheten att uppnå tillräcklig hög densitet med bentonitpellets eller granulerad bentonit bör utredas.

Vid val av lämpligaste installationsmetod bör man ställa utvecklingskostnaderna mot de mängder som ska installeras. Dock måste vald metod kunna hantera aktuella vatteninflöden. Den skadade zonen behöver karakteriseras med avseende på utsträckning och egenskaper.

#### 6.2.7 Berguttag i hydrauliskt täta sektioner

I vilka sektioner den skadade zonen ska tas ut behöver utredas i större detalj. Hur berguttaget ska ske behöver också utredas.

#### 6.2.8 Förslutning av borrhål

Det behövs vidare utredning av vilka borrhål som skall förslutas innan utbyggnaden. Det är heller inte utrett om den tidigare utformningen av förslutningen har tillräckligt låg hydraulisk konduktivitet eftersom livslängden för SFR förlängs från några hundra år till några tiotusentals år.

Hur stabiliseringen av borrhålets deformationszoner ska utföras och med vilket typ av material det ska utföras med är ej fastställt. Utförandet av borrhålsförsegling är ej ännu fastställt.

I dagsläget finns förslag på att det ej behöver ställas krav på att borrhålsförslutningen ska ha samma konduktivitet som omgivande berg för kärnbränsleförvaret. Det kan sannolikt visas att detta gäller även SFR. Den alternativa förslutningens krav på hydraulisk konduktivitet ställs till  $10^{-6}$  m/s (Luterkort et al. 2012). Detta kan erhållas med rätt fraktioner av krossat berg som packas på erforderligt sätt ( $10^{-10}$  m/s). Detta kräver tekniker som idag ej är utvecklade och därmed inte bedöms uppfylla kravet teknisk mognad.



## 7 Referenser

**Bergström S G, Fagerlund G, Rombén L, 1977.** Bedömning av egenskaper och funktion hos betong i samband med slutlig förvaring av kärnbränsleavfall i berg. KBS TR-12, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Dahlström L-O, 2009.** Experiences from the design and construction of plug II in the Prototype Repository. Prototype Repository. SKB R-09-49, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Dixon D, Lundin C, Örtendahl E, Hedin M, Ramqvist G, 2008.** Deep repository – engineered barrier systems. Half scale tests to examine water uptake by bentonite pellets in a block-pellet backfill system. SKB R-08-132, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Follin S, Svensson U, 2010.** Groundwater flow modelling of the excavation and operational phase – Forsmark. SKB R-09-19, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Gunnarsson D, Johansson L-E, Hökmark H, 2001.** Äspö Hard Rock Laboratory. Report on the installation of the Backfill and Plug Test. SKB IPR-01-17, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Hagkonsult, 1982.** Geologiska undersökningar och utvärderingar för lokalisering av SFR till Forsmark. Arbetsrapport SFR 81-13, Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.

**Holmén J G, Stigsson M, 2001.** Modelling of Future Hydrogeological Conditions at SFR. Forsmark. SKB R-01-02, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Johannesson L-E, Börgesson L, Sandén T, 1999.** Backfill materials based on crushed rock (part 2), Geotechnical properties determined in laboratory. IPR-99-23, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Keto P, Dixon D, Jonsson E, Gunnarsson D, Börgesson L, Hansen J, 2009.** Assessment of backfill design for KBS-3V repository. SKB R-09-52, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Karnland O, Olsson S, Nilsson U, 2006.** Mineralogy and sealing properties of various bentonites and smectite-rich clay materials. SKB TR-06-30, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Luterkort D, Bertilsson R, 2012.** Konceptlösning för förslutning av SFR med jorddammspluggar. SKB P-12-15, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Luterkort D, Gylling B, Johansson R, 2012.** Closure of the Spent Fuel Repository in Forsmark, Studies of alternative concepts for sealing of ramp, shafts and investigation boreholes. SKB TR-12-08, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Malm R, 2012.** Low-pH concrete plug for sealing the KBS-3V deposition tunnels. SKB R-11-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Mas Ivars D, Viega Ríos M, Shiu W, Johansson F, Fredriksson A, 2014.** Long term stability of rock caverns BMA and BLA of SFR, Forsmark. SKB R-13-53. Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Nyblad B, Wimelius H, 2013.** Återfyllning med makadam. SKB P-13-05, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Odén M, Follin S, Öhman J, Vidstrand P, 2013.** SR-PSU Bedrock hydrogeology. Groundwater flow modelling methodology, setup and results. SKB R-13-25, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Pettersson A, Thunberg S, 2012.** Kringgjutning av medelaktivt kärnavfall – En experimentell studie av kringgjutning med betongbruk i 1BMA med fokus på arbetbarhet och reologi. TVBM-5087. Lunds Tekniska Högskola. ISSN 0348-7911 TVBM.

**Pusch R, 1985.** Buffertar av bentonitbaserade material i siloförvaret, funktion och utförande. SKB SFR 85-08, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Pusch R, Ramqvist G, 2007.** Borehole project – Final report of Phase 3. SKB R-07-58, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2008.** Safety analysis SFR 1, Long-term safety. SKB R-08-130. Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKBF/KBS, 1983.** Geologiska undersökningar och utvärderingar för förvaringsutrymmen i berg. Arbetsrapport SFR 83-05, Svensk Kärnbränsleförsörjning AB

**Vogt C, Lagerblad B, Wallin K, Baldy F, Jonasson J-E, 2009.** Low pH self compacting concrete for deposition tunnel plugs. SKB R-09-07, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Wimelius H, Pusch R, 2008.** Backfilling of KBS-3V deposition tunnels – possibilities and limitations. SKB R-08-59, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Öhman J, Follin S, Odén M, 2013.** Site investigation SFR. Bedrock Hydrogeology – Groundwater flow modelling. SKB R-11-10, Svensk Kärnbränslehantering AB.

### Opublicerade dokument

SKBdoc Id, version	Titel	Utfärdare, år
1240154 ver 1.0	Plan för förslutning av SFR1 utifrån antaganden i SAR-08	SKB, 2010
1231287 ver 1.0	Preliminary design for plugging and closure of SFR	SKB, 2010
1347593 ver 1.0	Utformning av hydrauliskt täta sektioner av bentonit i SFR	SKB, 2012
1334119 ver 1.0	Konceptuell utformning av pluggar för förslutning av SFR	SKB, 2012
1346127 ver 1.0	Geometrioptimering av pluggar för förslutning av SFR, Projekt SFR-utbyggnad	SKB, 2013
1418589 ver 1.0	Olyckslaster under drift och efter förslutning, kassun 2BMA	SKB, 2014

## Bilaga 1

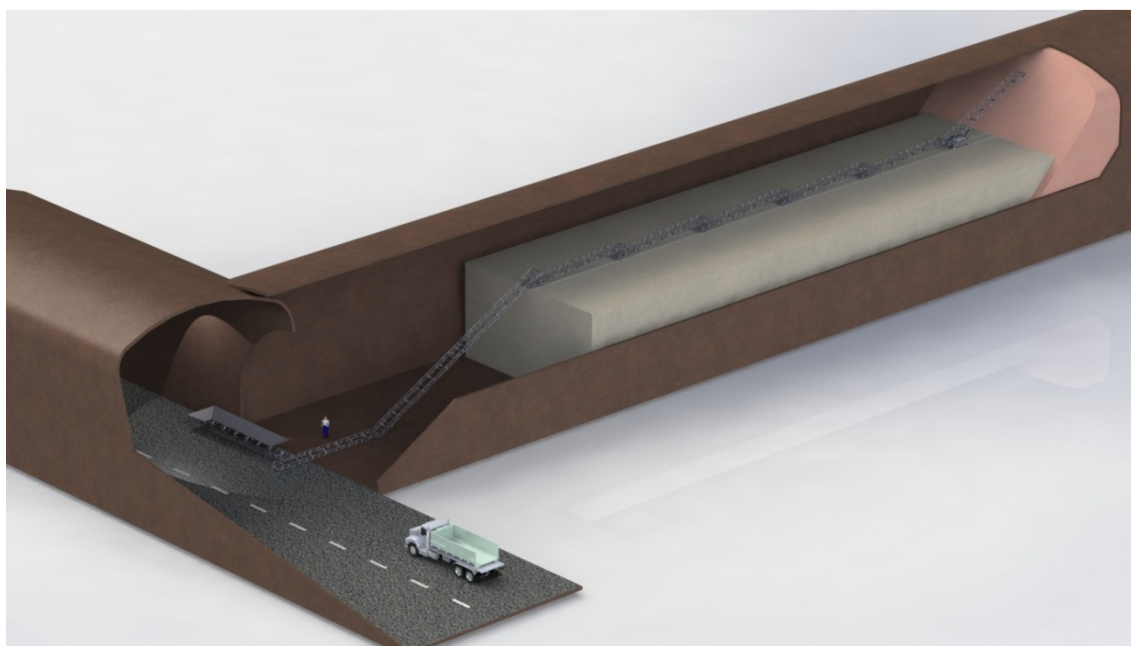
### Installation av återfyllnadsmaterial och pluggar

Denna bilaga kompletterar redovisad utformning i Kapitel 4 och utgörs av en sammanhållen beskrivning av möjlig installation av återfyllnadsmaterial och pluggar i samtliga delar av underjordsanläggningen. Installationen av förslutningskomponenterna tar hänsyn till de allmänna konstruktionsförutsättningarna i Kapitel 2 samt de konstruktionsstyrande antaganden och förutsättningar som redovisas i Kapitel 4.

#### A. Bergssalar

##### A.1 Installation av återfyllnadsmaterial

En generisk beskrivning av metod för installation av återfyllnadsmaterial beskrivs i Nyblad och Wimelius (2013). I följande avsnitt beskrivs principiell arbetsordning för installation av återfyllnadsmaterial i respektive bergssal. Återfyllnadsmaterialet, makadam, tas ner till underjordsanläggningen med transportfordon (lastbil), varpå återfyllnadsmaterialet lastas om till transportörer för vidare transport mot återfyllnadsfronten, Figur A-1.



*Figur A-1.* Exempel på återfyllning av bergssalar med transportband (Nyblad och Wimelius 2013).

##### **Bergssalar i befintligt SFR**

I bergssalen 1BLA finns ingen betongkonstruktion uppförd kring avfallet, vilket innebär att makadam ej installeras ovan avfallet, då avfallet ej kan bära last från maskiner och dylikt. Makadam installeras först från bergssalstunneln, 1BST, och sedan från tvärtunneln, 1TT, med en arbetsordning enligt nedan:

1. Stödmur i betong uppförs intill avfall mot 1BST.
2. Återfyllning utförs mot stödmur och med en arbetsriktning ut mot 1BST. Återfyllning avslutas när släntfot når cirka 1 meter från positionen för den mothållande väggen.

3. Mothållande vägg av prefabricerade betongbalkar uppförs i lämpliga steg och parallellt med avslutande återfyllning. Hänsyn tas till makadamens lagertjocklek.
4. När makadam ej längre är lämplig att installera med hänsyn till det begränsade utrymmet förses det sista steget i den mothållande väggen med rör i vilket betong kan pumpas på plats.
5. Betong pumpas in genom rören och fyller utrymmet ovan återfyllnadsmaterialet och ovan nivån för de anslutande tunnlarna.
6. Mothållande vägg av prefabricerade betongbalkar uppförs intill avfall mot 1TT.
7. Återfyllning utförs sedan mot den mothållande väggen med arbetsriktning ut mot 1TT. Parallellt med den avslutande återfyllningen uppförs ytterligare en mothållande vägg med gjutform för plugg.

Bergssalarna 1-2BTF och 1BMA återfylls helt med återfyllnadsmaterial och med en arbetsordning som beskrivs nedan. För dessa bergssalar bedöms det vara rationellt att först installera återfyllnadsmaterial från 1BST då detta kan ske med lastmaskin vilket är snabbare än med transportör. Återfyllningen sker då upp till överkant betongkonstruktion och när återfyllningsfronten närmar sig positionen för den mothållande väggen avbryts inlastning av material från 1BST och installation sker istället från 1TT.

1. Bergssalarna fylls först via 1BST med lastmaskin. Denna återfyllning installeras upp till överkant betongkonstruktion och avslutas när släntfot når cirka 1 meter från positionen för den mothållande väggen.
2. Mothållande vägg av prefabricerade betongbalkar installeras mot 1BST.
3. Resterande bergssalsvolym återfylls från 1TT med makadam.
4. Det avslutande återfyllnadsmaterialet installeras parallellt med montage av den mothållande väggen mot 1TT.
5. När den mothållande väggen är komplett och förankrad kan resterande material till bergssalen blåsas in via i förväg installerade rör som är monterade mot bergssalens tak.
6. När materialet är installerat fylls rören med betong och pluggarbetena kan påbörjas.

### ***Bergssalar i utbyggd del av SFR***

Bergssalarna 2-5BLA lämnas öppna bortsett från en mindre yta i varje bergssalsände där makadam installeras. Likt 1BLA finns ingen betongkonstruktion uppförd kring avfallet, vilket innebär att installation ej sker genom salarna utan endast från 2TT och 2BST med en arbetsriktning utåt från bergssalarna. Arbetsordningen är som följer:

1. Stödmur i betong uppförs intill avfall mot 2TT och 2BST.
2. Återfyllning utförs mot stödmur och avslutas när släntfot når cirka 1 meter från positionen för den mothållande väggen.
3. Mothållande vägg av prefabricerade betongbalkar uppförs i lämpliga steg och parallellt med avslutande återfyllning. Hänsyn tas till makadamens lagertjocklek.
4. Mothållande vägg och återfyllnadsmaterial installeras parallellt upp till tunneltaket. Den etappen av den mothållande väggen förses med rör.
5. När makadam ej längre är lämplig att installera med hänsyn till det begränsade utrymmet förses det sista steget i den mothållande väggen med rör i vilket betong kan pumpas på plats.
6. Betong pumpas in genom rören och fyller utrymmet ovan återfyllnadsmaterialet och ovan nivån för de anslutande tunnlarna.

Bergssalarna 2BMA och 1BRT återfylls helt med återfyllnadsmaterial. Arbetsordningen beskrivs nedan och är likvärdig för 2BMA och 1BRT. För dessa bergssalar bedöms det vara rationellt att först installera återfyllnadsmaterial från 2BST till i nivå med barriärens överkant då detta kan ske med lastmaskin vilket är snabbare än med transportör. När återfyllningsfronten närmar sig positionen för den mothållande väggen avbryts inlastning av material från 2BST och installation sker istället från 2TT.

1. Bergssalarna fylls först via 2BST med lastmaskin. Denna återfyllning installeras upp till överkant betongkonstruktion och avslutas när släntfot når cirka 1 meter från positionen för den mothållande väggen.
2. Mothållande vägg av prefabricerade betongbalkar installeras mot 2BST.
3. Resterande bergssalsvolym återfylls från 2TT med makadam.
4. Det avslutande återfyllnadsmaterialet installeras parallellt med montage av den mothållande väggen mot 2TT. Bakom den översta delen av den mothållande väggen behövs ej återfyllnadsmaterial.

## A.2 Installation av pluggar

I detta avsnitt beskrivs övergripande plugginstallation i tvärtunnlarna och bergssalstunnlarna. Plugginstallation påbörjas när bergssalarna är återfyllda med makadam.

### *Betongpluggar till bergssalar*

Pluggarna gjuts mot en mothållande betongvägg vilken uppförs i samband med avslutande återfyllningssekvens i bergssalarna. Utförandet av formsättning, armering och gjutning kan göras med vanlig konventionell teknik och utrustning. SKB har erfarenheter från utförda experiment för betongpluggar avsedda att användas i slutförvaret för använt kärnbränsle (Dahlström 2009).

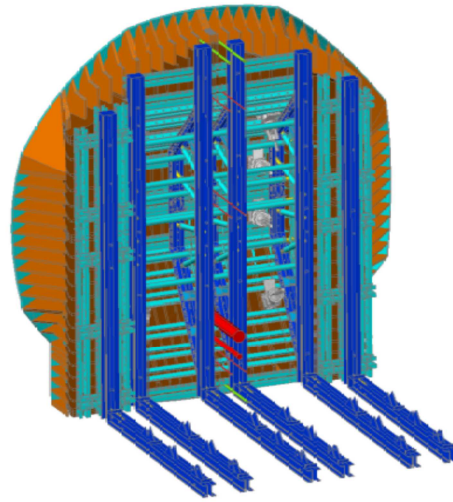
I sektionen för pluggen får inga vattenförande sprickor förekomma som menligt försämrar pluggens funktion, i de fall de existerar ska de injekteras. Sektionen skrotas så att allt löst sittande berg avlägsnas. För valvpluggen utförs slitsuttag i berget se Figur A-2.



**Figur A-2.** Bild ifrån slitsuttag med vajersågning från Äspö HRL (Hard Rock Laboratory).

Länshållning av tillrinnande vatten från bergssal utförs på insidan av mothållande vägg. Formen på insidan mot förvaret är, som tidigare nämnts, den tidigare installerade mothållande väggen. Ytterformen anpassas mot berg med passbitar som figursågas och lösformas mot den förtillverkade formen som täcker öppningen, se Figur A-3. Betongen pumpas stegvis in via slussar upp i formen.

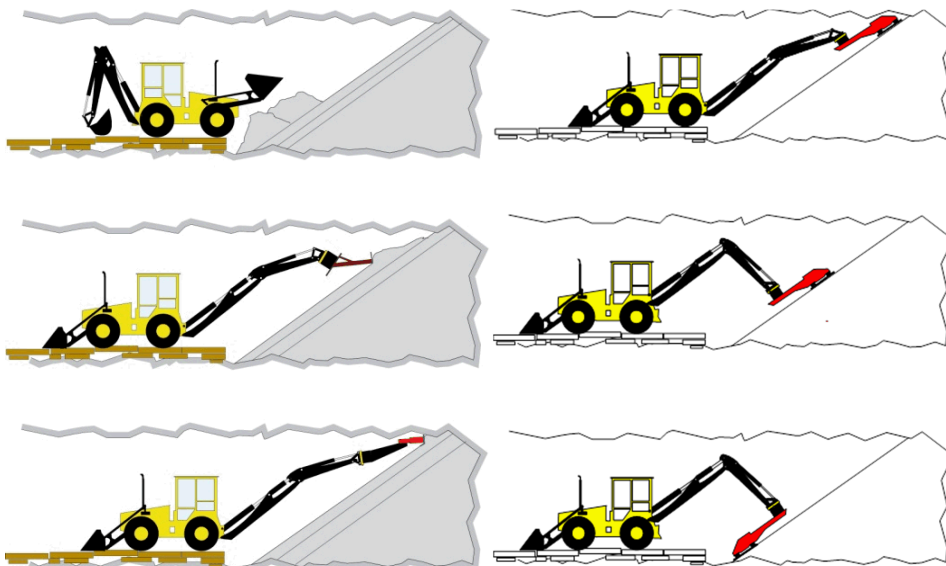
Temperaturutvecklingen kommer att bli hög även om anläggningscement används (anläggningscement har låg värmeutveckling jämfört med många andra typer av cement). Det är viktigt att den kommande projekteringen utvärderar utformningen ur en helhetsbild för val av teknisk utformning.



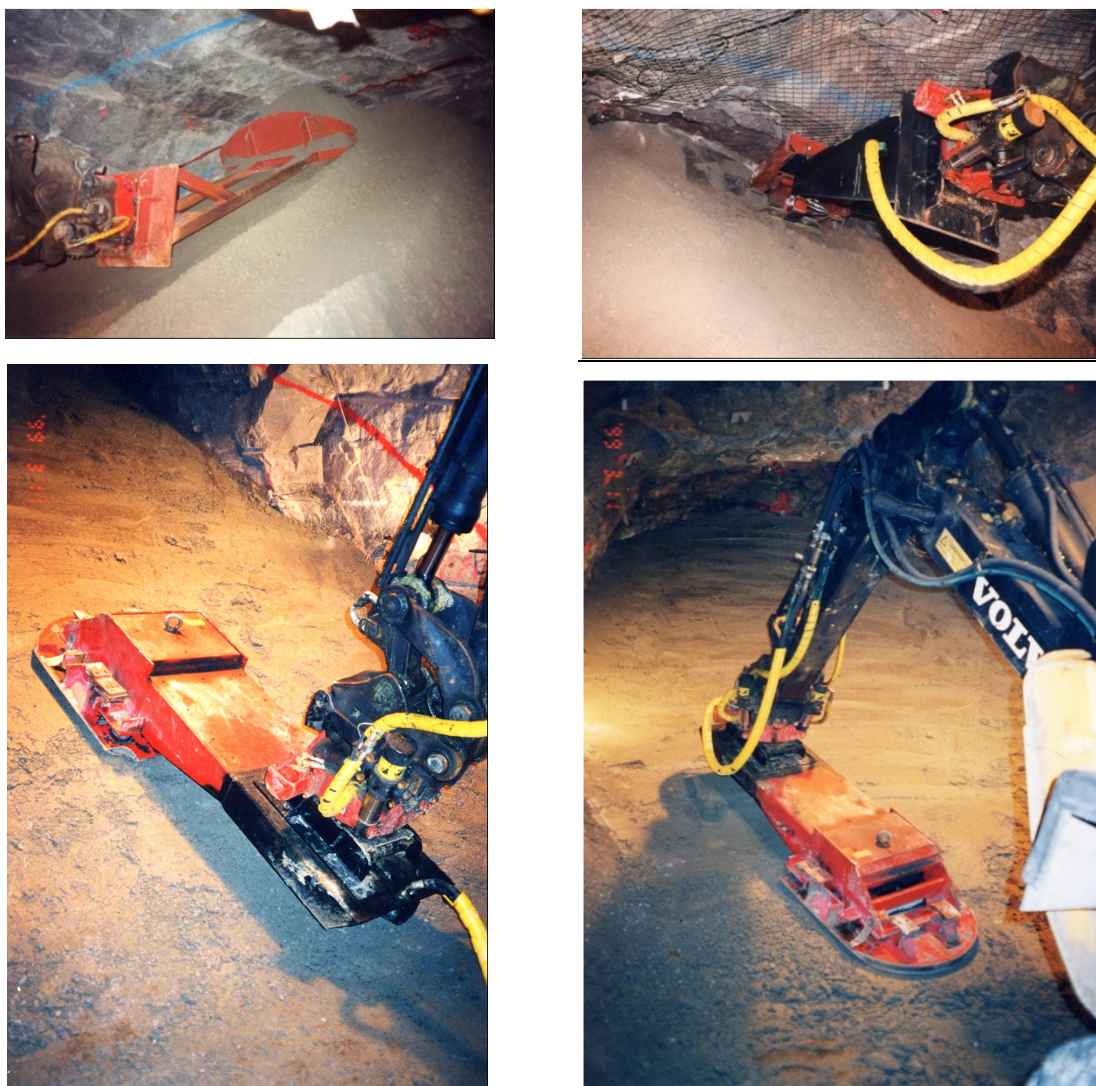
**Figur A-3.** Principbild för formsättning av kupolformad betongplugg

### **Installation av sektioner med övergångsmaterial**

Samma principiella metod som utvecklades för att återfylla deponeringstunnlar i slutförvaret för använt kärnbränsle kan användas. När den mothållande väggen är färdigställd packas övergångsmaterialet i lutande lager. Sektionerna i tunnlar där övergångsmaterialet ska installeras är större än deponeringstunnlarna i slutförvaret för använt kärnbränsle så metoden kommer att behöva anpassas. Den översiktliga installationssekvens som användes för test av installationen i Äspö HRL (Gunnarsson et al. 2001) beskrivs nedan och illustreras i Figur A-4 och Figur A-5.



**Figur A-4.** Återfyllningssekvens. (t.v) Material transporteras in i tunnel, skjuts på plats och det översta materialet packas med en packutrustning framtagen för ändamålet. (t.h) Resten av lagrets yta packas.



**Figur A-5.** Packningsutrustning vid återfyllning (Gunnarsson et al. 2001).

Sektionerna med övergångsmaterial är relativt korta. När installationen av övergångsmaterial har nått fram till positionen för den yttre mothållande väggen påbörjas installationen av den yttre mothållande väggen. Denna består av prefabricerade betongbalkar som installeras efterhand som lagrena av övergångsmaterial packas på plats. Denna metod användes vid test av installation i Äspö HRL (Gunnarsson et al. 2001) intill den avslutande pluggen, se Figur A-6.

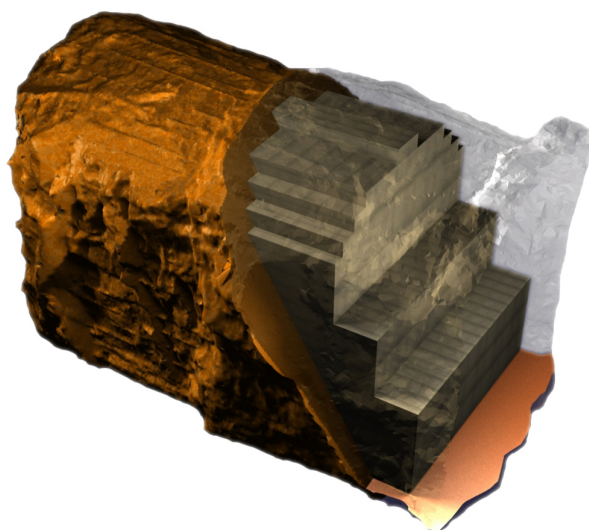


**Figur A-6.** Packning av material intill mothållande vägg bestående av prefabricerade betongbalkar (Gunnarsson et al. 2001).

### **Installation av hydrauliskt täta sektioner**

Tvärtunnlarna och bergssalstunnlarna återfylls med bentonit i form av block och pellets, där andelen block antas vara cirka 60 % av tunnelvolymen. Blocken ställs ca 10 cm innanför teoretisk sektion. Pellets utgör fyllnad av övrig tomrumsvolym enligt Figur A-7.

De befintliga bergförstärkningarna i form av sprutbetong och bergbultar rivs endast i de sektioner där bentoniten ska kortsluta den skadade zonen.



**Figur A-7.** Principbild för tunnlar återfyllda med bentonit i form av block och pellets. I figurens syns den kantiga stapeln av bentonitblock som längre in i tunneln har omgivits av bentonitpellets som ligger i slänt mot återfyllningsfronten.

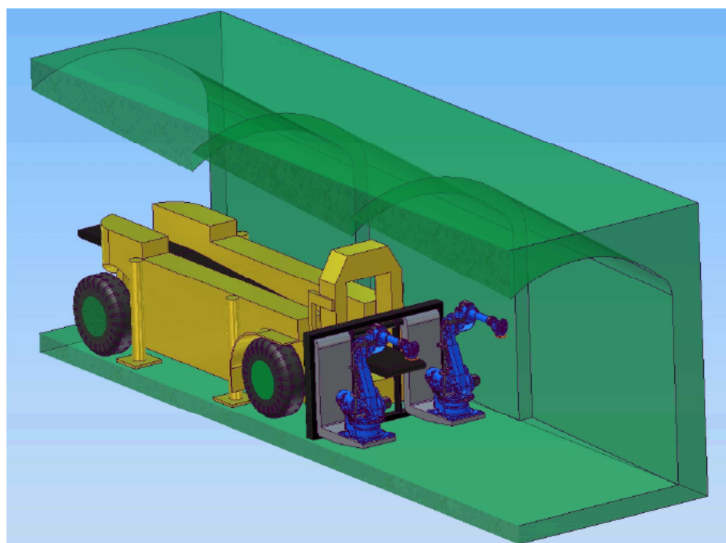


Arean för tunnlar som ska återfyllas med bentonit varierar. Detta medför att metodik och utrustning för block- och pelletinstallationen som utvecklas för slutförvaret av använt kärnbränsle, där tunnelarean är ca 20 m<sup>2</sup>, ej kan tillämpas direkt. En lämplig metod för att placera in block och pellets behöver anpassas för SFR.

Vatteninflöde från berget påverkar bentonitåterfyllningen och då i synnerhet blockstaplingen (Wimelius och Pusch 2008). Hög återfyllningstakt gör att ett högre vatteninflöde kan accepteras. Med hänsyn till de stora tunnelvolymerna och förväntad vatteninflöde är hög återfyllningstakt önskvärt.

Innan installationen av den hydrauliskt täta sektionen påbörjas installeras betongpluggarna. Vägen rivs successivt som återfyllnaden installeras. På bergets sula justeras en bädd av bentonitpellets. Bädden läggs i samma lutning som aktuell tunnel och 10 cm innanför teoretisk sektion, bädden scannas och kontrolleras innan blocken ställs in. De största riskerna är relaterade till erosion av bentonit från pelletsektioner samt att pelletsbädden blir störd innan blocken placeras på bädden. SKB har erfarenheter av hur vatten flödar genom pellets och till vilken grad bentoniten eroderar baserat på resultat från utförda experiment vid Äspö HRL (Dixon et al. 2008). Detta bör tas hänsyn till vid planering av utförande och val av lämpligt återfyllnadsmaterial.

Det finns ett antal olika metoder för att placera in bentonitblock. En metod som använder en robot för att placera in små block utvecklas och testas för deponeringstunnlar för slutförvaret av använt kärnbränsle. I och med att förslutning planeras ske längre fram i tiden kan man räkna med att tempo, räckvidd samt lyftkapacitet kommer att utvecklas. För att täcka den stora återfyllningsarean bör fler robotar kunna jobba parallellt och täcka separata arbetsområden via plattformar som kan röra sig i tre riktningar i rummet, Figur A-8 visar en principbild.



**Figur A-8.** Figuren visar en principbild för parallella robotar på plattformar.

Då kravbild och arbetsmiljöförhållanden skiljer sig väsentligt mot slutförvaret av använt kärnbränsle, kan mer traditionella anläggningsmetoder vara ett alternativ. För SFR är det viktigt med hög återfyllningstakt på grund av vatteninflöde och relativt stora geometrier. Ett alternativ till robotar kan vara att installera större moduler av bentonit (Wimelius och Pusch 2008). På bädden av pellets ställs större moduler vilka är uppbyggda av flera mindre block. Installationsenheten servas med moduler från en lastmaskin som hämtar modulerna i anslutning till tunneln. För denna metod, lika metoden med robotar, gäller att utvecklingen för blockpressning av större block, kapacitet och räckvidd förväntas fortsätta.

Utöver blockinstallationen ska pellets installeras mellan block och berg. Blocken installeras på en avjämnad bädd. Volymen mellan block och berg i sida och tak fylls etappvis efter blockinstallationen. Metoder för pelletinstallation påverkas inte direkt av val av blockinstallationsmetod.

Blockinstallationen görs i steg, när en sektion installerats fylls volymen mellan block och berg med bentonitpellets. Rasvinkeln på pellets är ca 30° vilket gör att pelletsfronten vid taket är långt in relativt blockstapelns front. Extra vatten kan tillsättas vid installation för att ställa pelletsfronten mer lodrätt och i liv med blocken.

Att pneumatiskt installera pellets fungerar bra. Fördelen med tekniken är att den fyller hålrum bra även flera meter från munstycket. Nackdelen är en förhållandevis låg kapacitet mot de volymer som gäller för SFR. Med dagens sprutbetongsutrustning bör man klara 10 m<sup>3</sup>/h. Tester har utförts med bulkmaskiner för att öka kapaciteten och viss utvecklingspotential finns (Wimelius och Pusch 2008). Ett annat alternativ som bör utredas är att installera pellets med transportskruvar.

## B. Silo

### B.1 Installation av återfyllnadsmaterial i silotopp

Kontinuerligt under drift kringgjuts deponerat avfall i silo med ett cementbaserat bruk. Innan återfyllningen av silo påbörjas är kringgjutningen avslutad till överkant silo. Återfyllningen sker i följande ordning med arbetsriktning från inlastningsbyggnad och mot silotaktunnel:

1. Ett tunt sandlager installeras ovan kringgjutning, vilken utgör takbädd varpå ett armerat betonglock gjuts. Betonglocket punkteras av sandfyllda rör så att eventuell gas kan tränga ut. Ovan betonglock installeras ytterligare ett sandlager.
2. Inlastningsbyggnad, IB, förses med en mothållande vägg upp till tunnelns hjässa. I silotaktunneln, 1STT, installeras nedre del av mothållande vägg så att stöd för bentonitblandning fås.
3. Packad bentonitblandning (30/70 bentonit/sand) installeras i diket kring betonglocket.
4. På betonglocket och sandlagret installeras bentonitblandning (10/90 bentonit/sand) och som skyddas av en tunn oarmerad betongplatta.
5. Utrymmet ovan den tunna oarmerade betongplattan återfylls med friktionsmaterial till en nivå som är så nära hjässan som möjligt. Resterande utrymme upp till hjässa återfylls med cementstabiliserad sand (eller likvärdigt med avseende på hydraulisk konduktivitet).
6. När återfyllnadens släntfot närmar sig den mothållande väggen mot 1STT byggs väggen gradvis upp mot tunnelns hjässa.
7. Den mothållande väggens sista del förses med rör så att kvarvarande utrymme kan återfyllas med cementstabiliserad sand. Rören fylls sedan med injekteringsbruk.

### B.2 Installation av pluggar vid silon

I detta avsnitt beskrivs övergripande plugginstallation vid silo. Plugginstallation påbörjas när silotopp är återfylld.

Silon pluggas med tre pluggar, vilka är av typen bentonit-betongplugg. Bentonitåterfyllnaden utförs med block och pellets med egenskaper såsom de hydrauliskt täta sektionerna. Dock är geometrierna i vissa delar utmanande gällande utförandet, vilket innebär att noggrannare projektering och beredande arbeten krävs för gällande förutsättningar och kravbild. Tunnelarean är relativt stor vilket innebär att återfyllningstakten relaterat till meter tunnel/dygn blir relativt låg. Erfarenhetsmässigt bör den övre

sektionen vara relativt dränerad, dock bör inflödena kartläggas i detalj och eventuellt åtgärdas innan återfyllning med bentonit.

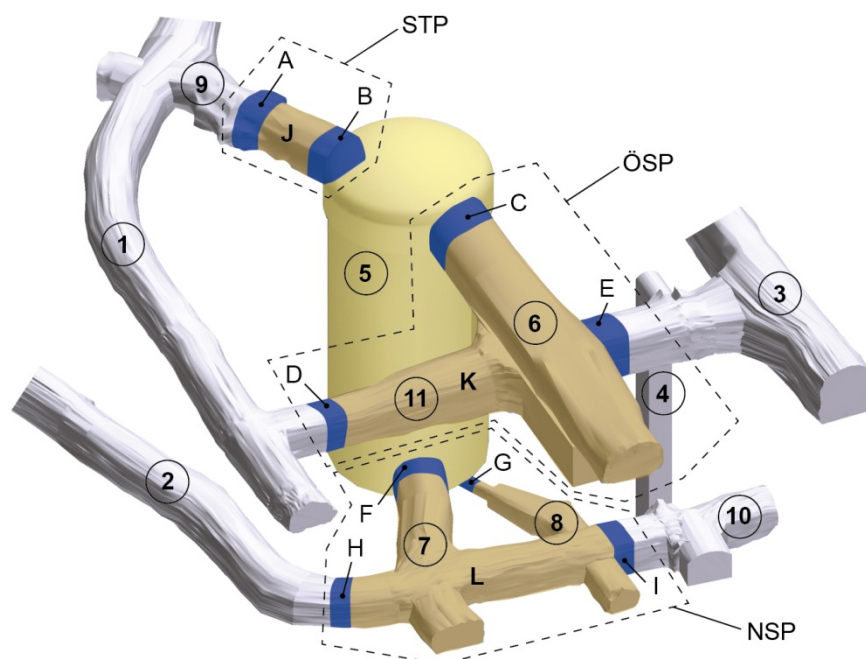
Tunnlarna mot silo är varierande i sin geometri. I inlastningsbyggnad, IB, finns ett bjälklag av betong som delar tunneln i en övre och undre del, se Figur B-1.



**Figur B-1.** Illustration av silo, inlastningsbyggnad, silotunneln, nedrebyggtunnel och silobottentunneln. Observera betongbjälklaget som delar inlastningsbyggnaden.

### **Övergripande sekvensbeskrivning**

Den övergripande plugginstallationen börjar med installation av nedre siloplugg, NSP, därefter installeras den övre silotakspluggen, STP, och sist den övre silopluggen, ÖSP. Pluggarna återfinns i Figur B-2.



**Figur B-2.** Illustration av de tre pluggar som försluter Silon. Förklaring: 1) Byggtunnel, BT. 2) Nedre byggtunnel, NBT. 3) Centraltunnel, CT. 4) Förbindelseschakt, 1FS. 5) Silo, 1S. 6) Inlastningsbyggnad, IB. 7) Silobottentunnel, SBT. 8) Dränagetunnel, SDT. 9) Silotaktunnel, 1STT. 10) Avslutande del av nedre byggtunnel. 11) Silotunnel, 1ST. Tunneldelar 1, 2, 3,4 och 10 i tillhör tunnelsystemet.

### Nedre siloplugg, NSP

Den nedre silopluggen försluter silobottentunneln och silodränagetunneln. Pluggen består av fyra mekaniska mothåll i betong vilka håller bentonitsektionerna på plats. Övergripande installation är enligt nedan:

- 1) Betongplugg (G) installeras i dränagetunneln mot silo.
- 2) Betongplugg (F) installeras i silobottentunneln mot silo.
- 3) Betongpluggen (I) mot pumpgropan i avslutande del av nedre byggtunnel formas, armeras och gjuts.
- 4) Bentonit i form av block och pellets installeras först från dränagetunnelns plugg (G). Därefter installeras block och pellets med två fronter samtidigt, i silobottentunnel samt i nedre byggtunnel i riktning från silobottentunnelns plugg (F) och pluggen (I) i avslutande del av nedre byggtunnel.
- 5) Bentonitåterfyllnadens två fronter möts och avslutas vid position för den mothållande väggen vid betongpluggen (H) i nedre byggtunnel.
- 6) Mothållande vägg och avslutande återfyllnadsmaterial installeras parallellt upp mot taket vid betongpluggen (H) i nedre byggtunnel.
- 7) Betongplugg (H) i nedre byggtunneln gjuts.

**Silotakplugg, STP**

Silotakpluggen försluter silotaktunneln med två mekaniska mothåll i betong som håller bentonitsektionen på plats. Övergripande installation är enligt nedan:

- 1) När silotoppen är återfylld installeras den inre betongpluggen (B) mot silo.
- 2) Bentonittätningen installeras. Bentonitpellets installeras parallellt med mothållande vägg för yttre betongplugg (A).
- 3) Yttre betongplugg (A) installeras.

**Övre siloplugg, ÖSP**

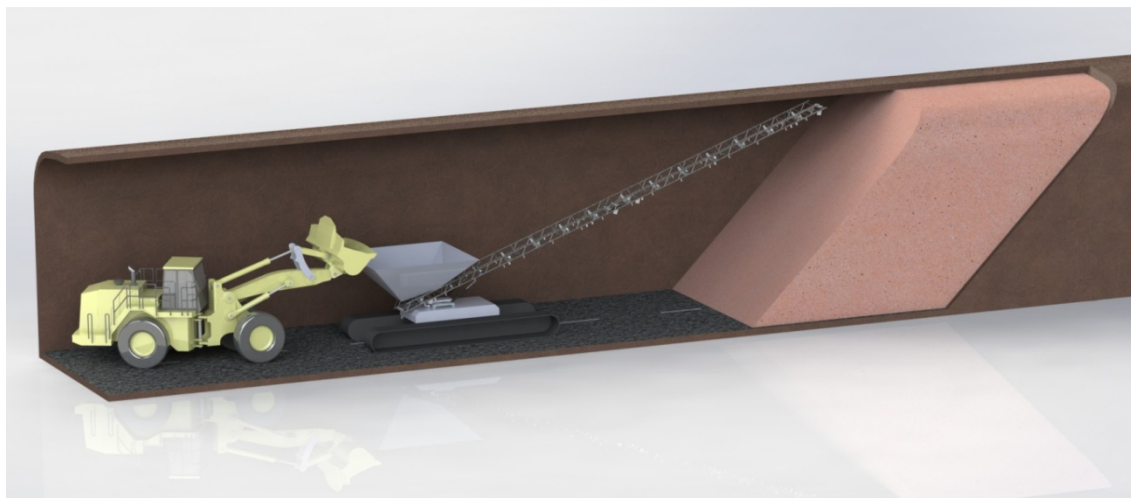
Den övre silopluggen försluter inlastningsbyggnaden och silotunneln. Pluggen består av tre mekaniska mothåll i betong som håller bentonitsektionerna på plats. Övergripande installation är enligt nedan:

- 1) Betongkonstruktioner i inlastningsbyggnaden rivs i erforderlig omfattning.
- 2) Inre betongplugg (C) mot silo installeras.
- 3) Betongplugg (E) mot centraltunneln formas, armeras och gjuts.
- 4) Bentonit i form av block och pellets installeras i inlastningsbyggnad.
- 5) Bentonit i form av block och pellets installeras i silotunnel mot centraltunnelns betongplugg (K).
- 6) När återfyllnaden av bentonit når positionen för den mothållande väggen för betongpluggen (D) i silotunneln installeras den mothållande väggen parallellt med avslutande installation av block och pellets mot taket.
- 7) Betongplugg (D) i silotunneln mot byggtunneln formas, armeras och gjuts.

## C. Nedfartstunnlar och tunnelsystem

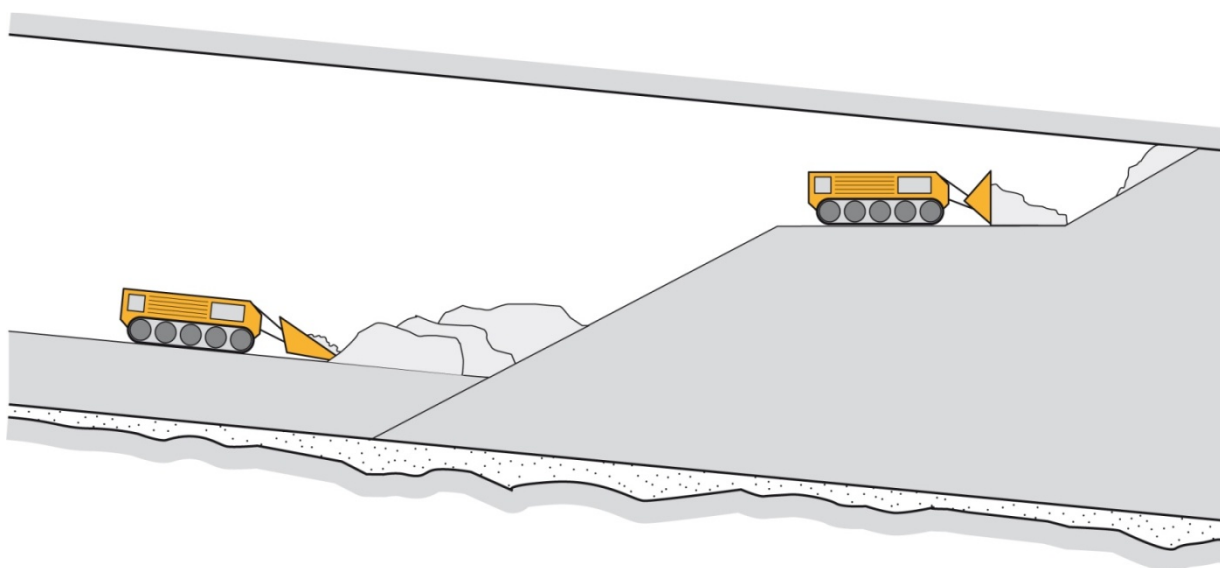
### C.1 Installation av återfyllnadsmaterial

En generisk beskrivning av metod för installation av återfyllnadsmaterial i nedfartstunnlar och tunnelsystem beskrivs i Nyblad och Wimelius (2013). Ingen detaljerad beskrivning ges i detta skede.



**Figur C-1.** Exempel på återfyllning av tunnelsystem med transportsystem (Nyblad och Wimelius 2013).

I befintligt och utbyggd del av SFR finns många utrymmen och konstruktioner avsedda för driften av underjordsanläggningen. Den generella metodiken för återfyllning av tunnelsystem är användning av transportband, men det finns utrymmen som kan vara svårtillgängliga med transportband. För små utrymmen kan mindre transportbandsaggregat användas, vilka bärs fram av lastmaskiner. För större utrymmen och mindre nischer kan larvburna last- och schaktmaskiner användas, se Figur C-2. Återfyllning med lastmaskin installeras i två nivåer, parallellt som återfyllnadsfronten rör sig utåt från utrymmena.



**Figur C-2.** Exempel på två lastmaskiner som återfyller utrymmen där den generella metodiken för återfyllning, transportband, inte är lämplig (Nyblad och Wimelius 2013).

## C.2 Installation av pluggar i förbindelseschakt

Förslutningen av förbindelseschaktet (3FS) utförs innan återfyllning av VB. Principiell arbetsordning är enligt följande:

- 1) Nedre betongplugg installeras.
- 2) När nedre betongplugg uppnått erforderlig hållfasthet installeras bentonitblock och pellets ovan den installerade betongpluggen. Bentonitinstallationen sker i lager om 1 m - 1.5 m.
- 3) Övre betongplugg installeras.

Nedre betongplugg kan formsättas från VB och betong installeras från 7GS. Installationen av bentonit sker från 7GS. Installationen kan ske manuellt där erforderlig anordning för tillträde till återfyllningsfronten (bentonitens överyta) anordnas. I gränssnittet mellan bentonit och den övre betongpluggen installeras direkt efter avslutad bentonitinstallation ett skikt av oarmerad betong. Detta betongskikt hindrar vatten att nå bentoniten och utgör även fast arbetsyta för fortsatt installation.

## C.3 Installation av pluggar i nedfartstunnel

Bergarbeten för slitsuttag utförs innan plugginstallationen påbörjas. Installationsordningen för pluggarbetena blir:

- 1) Byggnation av prefabricerad mothållande vägg nedströms mot återfyllnadsmaterial. Återfyllnadsmaterial installeras parallellt med montaget av väggen.
- 2) Formsättning, armering samt gjutning av nedre betongpluggen.
- 3) Bentonittätning bestående av mindre block och pellets installeras och byggs upp mot tak. Pellets fyller utrymme mellan block och berg.
- 4) Den övre prefabricerade betongväggen installeras parallellt med avslutande bentonittätningen.
- 5) Formsättning, armering samt gjutning av övre betongpluggen.
- 6) Fortsatt återfyllning av nedfartstunnlar.

Dränagevall byggs uppströms, förankras och kontaktinjekteras innan arbetena påbörjas, kompletterande länshållning vid första pluggen utförs även i slits.

## D. Toppförslutning

### D.1 Installation av toppförslutning

Installation av toppförslutningen tar vid där återfyllningen med makadam avslutas i övre delen av nedfartstunnlarna. Tunnlarnas påslag försluts med en betongplugg därefter återfylls jord och bergschakten med fyllningsmassor av lämpligt material (krossat berg eller jordmaterial).

## E. Borrhål

### E.1 Installation

Detta avsnitt baseras på information i Pusch och Ramqvist (2007). Den översiktliga arbetsordning som föreslås för varje enskilt borrhål beskrivs med huvudmomenten; borrhållsberedning och installation av förslutningskomponenter.

#### **Borrhållsberedning**

I Tabell E-1 ges en översiktlig och preliminär beskrivning av de arbetsmoment som fodras för att skapa ett borrhål med rätt förutsättningar för installation av förslutningskomponenter.

**Tabell E-1.** Borrhållsberedningens arbetsmoment.

	Arbetsmoment	Beskrivning	Syfte
1	Granskning	Borrhålets dokumentation studeras.	Identifiera utförda arbeten och bedöma borrhålets nuvarande skick.
2	Syn	Borrhålet synas okulärt med kamera.	Upptäcka eventuella hinder för fortsatt arbete.
3	Rensning	Påträffade hinder avlägsnas genom att ta ut dem ur borrhålet eller genomborring	Erhålla ett borrhål utan hinder som möjliggör fortsatt arbete.
4	Besiktning	Lägesbestämma zoner med ostabilt berg (deformationszoner).	Utgöra underlag till kommande stabilisering.
5	Stabilisering	Gjuta stabiliserande plugg vid deformationszoner.*	Stabilisera borrhålet där risk för bergutfall finns.
6	Öppning	Kärnbörning genom stabiliserande pluggar.	Öppna borrhålet för fortsatt arbete.
7	Brottschning	Ett brotschverktyg avlägsnar bergmaterial längs borrhållsväggen och ger borrhålet en större diameter med jämnare yta.	1) Från borrhållsväggen avlägsna oönskade material som kan störa förslutningens långsiktiga funktion. 2) Anpassa diametern på borrhålet så att lämplig standarddimension på kopparrör kan användas (gäller borrhål som försluts med Basic Type).
8	Kartering	Identifiering och lägesbestämning av sprickor	Ge underlag till förslutningens utformning.
9	Detaljutformning	Förslutningen av borrhålet projekteras i detalj och levereras till utföraren i form av bygghandling eller motsvarande.	Ge utförare instruktioner för förslutningens utformning.

\* Materialval för denna plugg är ännu ej fastställt.



### **Installation av förslutningskomponenter**

I Tabell E-2 ges en översiktning sammanfattning av arbetsmomenten vid installation av komponenter som tätar borrhålet. Arbetsmoment 1, 2 och 3 upprepas till det att borrhålet är fyllt till avsett läge för arbetsmoment 4.

**Tabell E-2.** Arbetsmoment för installation av förslutningskomponenter.

	<b>Arbetsmoment</b>	<b>Beskrivning</b>	<b>Syfte</b>
1	Spolning	Borrhålet spolats med sötvatten (kranvatten).	Avlägsna bräckt eller salt vatten för att skapa bättre miljö för bentoniten under inledande mognadsprocess.
2	Tätning	Installation av tätande bentonit med bentonit i rör eller bentonit på stång beroende på borrhåls längd.	Att erhålla samma hydrauliska egenskaper som omkringliggande berg.
3	Fixering	Installation av QC-plugg.	Att erhålla samma hydrauliska egenskaper som omkringliggande berg.
4	Försegling	Installation av förseglingsskomponenter.	Att erhålla samma hydrauliska egenskaper som omkringliggande berg.
5	Kontroll	Kvalitetskontroller	Säkerställa att arbetsmoment utförts enligt instruktionen framtagen i borrhålsberedningen. Detta sker kontinuerligt under arbetets gång enligt kontrollplan.

## **F. Lagerhållning och logistik**

Tidsmässigt och ekonomiskt finns mycket att tjäna om material kan lossas i närheten av fyllningsfronten. Detta medför att transportfordonen måste vara flexibla med hänsyn till lossning och manövrering. Vid detaljstudier kring återfyllningslogistiken kommer det att visa sig om en omlastningsstation krävs på försvarsnivå. Lossning vid alla fronter och utrymmen kan vara opraktiskt. För vissa utrymmen kan det vara fördelaktigt att lossa på annan plats och bära ut material med lastmaskiner.

För uppskattning av kapaciteter för installation av material se Tabell F-1.

**Tabell F-1.** Uppskattning av kapaciteter och installationstider.

<b>Utrymme</b>	<b>Fordonskapacitet</b>	<b>Leveranstid per fordon</b>	<b>Längd på leveranscykel</b>	<b>Installerad mängd/dygn</b>
	(ton)	(minuter)	(minuter)	(ton)
Nedfartstunnel och tunnelsystem	40	10	60	4000
Täta sektioner	-	-	-	600

## F.1 Transport av makadam

För bergssalarna bedöms inte transportererna utgöra flaskhals för återfyllningen med makadam utan kapacitet för återfyllning och leveranser uppskattas ligga i samma storleksordning.

Transporterna med återfyllnadsmaterial för de övriga tunnelsystemen behöver ta hänsyn till ett antal faktorer. Transporterna ner till förvarsdjup kan möjligen utföras med transportband i transporttunnlarna. Dock krävs då omlastningsstation på förvarsdjup där transportfordonen lossas. Det bedöms vara opraktiskt att bygga transportband i tunnlar (med varierande radier och geometrier) som successivt ska kortas efterhand som återfyllnaden installeras. Tiden för leveranscykeln är beroende på var fronten är lokaliserad, men ett rimligt antagande kan göras, Tabell F-1.

## F.2 Transport av bentonit

I de utrymmen som ska återfyllas med bentonit ska vägterrass och asfalt schaktas bort för att inte utgöra läckageväg för vatten.

Transporttakten för bentoniten är betydligt högre än installationstakten och differensen är tillräcklig som betryggande säkerhetsmarginal för att garantera en kontinuerlig bentonitinstallation. Den dagliga installationsmängden förvaras i anslutning till aktuell tunnel. Transporterna utförs med täta och täckta fordon och lossas på förvarsdjup. Bentoniten skyddas mot fukt efter lossning.

Bentonittransporterna behöver inte ha lika hög kapacitet som makadamtransporterna. Transportfordonen är inte av samma typ som för makadamtransporter. Leveranskapaciteten är beroende av återfyllningstakten av pellets och block. Med hänsyn till fortsatt utveckling av återfyllningsmetoder och möjlighet att använda parallella system är antagande enligt Tabell F-1 rimligt.

## F.3 Transport av övriga material

För transport av övriga material exempelvis betong och övergångsmaterial bedöms logistiken inte ha avgörande betydelse för tider och kostnader då det relativt sett är små mängder.