

Ansökan om tillstånd enligt miljöbalken – komplettering juli 2016

Kompletteringsyttrande

Bilaga SFR-U K:1

Frågor och svar per remissinstans

Bilaga SFR-U K:4

Motiv till försvarsdjup

Bilaga SFR-U K:5

Motivering av vald utformning för 2-5BLA

Bilaga SFR-U K:6

Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA

Bilaga SFR-U K:7

Alternativa utformningar av bergssal för reaktortankar - konsekvensanalys

Bilaga SFR-U K:8

Avgränsning till 200 m djup vid lokalisering

Bilaga SFR-U K:9

Jämförelse mellan sökt placering och en alternativ placering i den tektoniska linsen i Forsmark

Bilaga SFR-U K:10

Malmpotential

Toppdokument

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

Befintliga tillstånd och villkor för SFR

Sakägarförteckning

Karta över influensområdet och fixpunkter

Befintligt länshållningssystem

Bilaga Begrepp och definitioner

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

Bilaga SFR-U K:2

Konsekvensbedömning för vattenmiljöer vid utbyggnad av SFR

Bilaga MKB PSU

Miljökonsekvensbeskrivning för utbyggnad och fortsatt drift av SFR

Samrådsredogörelse

Konsekvensbedömning av vattenmiljöer vid utbyggnad av SFR **Ersatt av K:2**

Naturmiljöutredning inför utbyggnad av SFR, Forsmark, Östhammar kommun

Bilaga BAT

Utbyggnad av SFR ur ett BAT-perspektiv

Bilaga SFR-U K:3

Marin inventering av vegetation och fauna på havsbottenarna vid SFR, Forsmark 2012.

Bilaga TB PSU

Teknisk beskrivning av SFR - Befintlig anläggning och planerad utbyggnad

Bilaga SFR-U K:11

Redovisning av alternativ för mellanlagring av långlivat låg- och medelaktivt avfall

Bilaga KPM PSU

Förslag till kontrollprogram för yttre miljö vid utbyggnad och fortsatt drift av SFR

Bilaga SR PSU

Redovisning av säkerhet efter förslutning för SFR
Huvudrapport för säkerhetsanalysen SR-PSU

Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA

Sammanfattning

Ett nytt förvarsutrymme för medelaktivt avfall i utbyggnaden av SFR planeras att uppföras, där mestadels rivningsavfall planeras att deponeras. SKB har utfört teknikutveckling för de tekniska barriärerna i det planerade förvarsutrymmet för medelaktiva avfall, där utformningar har arbetats fram och värderats. Ett flertal alternativ har studerats; teknisk barriär i betong, teknisk barriär i bentonit samt teknisk barriär i betong och bentonit (silokonstruktion). SKB har fattat beslut att uppföra en betongkonstruktion som utgör teknisk barriär efter förslutning. Betongkonstruktionen har en funktion som strålskärm samt underlättar säker hantering och förvaring under driftskedet och kommer efter förslutning att utgöra en teknisk barriär med barriärfunktioner som har betydelse för förvarets säkerhet efter förslutning.

Huvudmotiv till vald utformning, 2BMA med betongkonstruktion:

- Betongkonstruktionen i 2BMA ger erforderlig strålskärning samt underlättar säker hantering och förvaring under drift.
- Betongkonstruktionen är en barriärlösning som ger skyddsförmåga efter förslutning och ett tillräckligt lågt radionuklidutsläpp för den mängd aktivitet som ska omhändertas.
- Betongkonstruktionen kan uppföras till stor del med beprövad och tillgänglig teknik, där prestanda och kvalitet kan uppnås genom att goda möjligheter till kontroll finns.
- Betongkonstruktionen ger goda förutsättningar till att fastställa barriärlösningens initialtillstånd samt analysera och förutsäga barriärens framtida utveckling.
- Betongkonstruktionen är en kostnadseffektiv barriärlösning där god flexibilitet finns.

Ett nytt BMA med en betongkonstruktion, är en väl avvägd, kostnadseffektiv och optimerad konstruktion i förhållande till eftersträvd skyddsförmåga för det medelaktiva avfallet som ska deponeras. En betongkonstruktion i BMA kan genomföras, projekteras och produceras med önskad kvalitet och prestanda.

Innehåll

1	Inledning	4
1.1	Bakgrund	4
1.2	Syfte	5
1.3	Metodik för genomförande av teknikutveckling	5
2	Erfarenheter från befintligt SFR	6
2.1	Beskrivning av betongkonstruktion uppförd i 1BMA	6
2.1.1	Funktionsbeskrivning	6
2.1.2	Utformning	7
2.1.3	Tillståndsbedömning	8
2.1.4	Konstruktionstekniska svagheter	9
2.2	Identifiering av förbättringsområden inför utbyggnaden	10
2.3	Övriga aspekter att beakta inför utbyggnaden	10
3	Krav och konstruktionsstyrande förutsättningar	12
3.1	Allmänna krav och konstruktionsstyrande förutsättningar	12
3.2	Krav och konstruktionsstyrande förutsättningar för driftskedet	13
3.3	Konstruktionsstyrande förutsättningar vid och efter förslutning	14
4	Redovisning av teknisk barriär i betong i förvarsutrymme 2BMA	15
4.1	Krav och konstruktionsstyrande förutsättningar	15
4.1.1	Byggnadstekniska krav	15
4.1.2	Konstruktionsstyrande förutsättningar	16
4.2	Utformning	17
4.3	Dimensionering och hantering av laster	18
4.4	Utförande	20
4.5	Säkerhet under drift	20
4.6	Säkerhet efter förslutning	21
4.7	Redovisning av för- och nackdelar	21
5	Alternativredovisning av teknisk barriär i förvarsutrymme 2BMA	23
5.1	Teknisk barriär i bentonit	23
5.1.1	Krav och konstruktionsstyrande förutsättningar	23
5.1.2	Utformning	23
5.1.3	Dimensionering och laster	24
5.1.4	Utförande	25
5.1.5	Säkerhet under drift	26
5.1.6	Säkerhet efter förslutning	26
5.1.7	Utvärdering och slutsatser	26
5.2	Teknisk barriär i betong och bentonit – silokonstruktion	28
5.2.1	Krav och konstruktionsstyrande förutsättningar	28
5.2.2	Utformning	28
5.2.3	Dimensionering och laster	29
5.2.4	Utförande	30
5.2.5	Säkerhet under drift	30
5.2.6	Säkerhet efter förslutning	31
5.2.7	Utvärdering och slutsatser	31
6	Säkerhet efter förslutning	32
7	Utvärdering av alternativ	33
8	Huvudmotiv till vald utformning	34

Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA

9	Fortsatt arbete	34
10	Referenser	36

1 Inledning

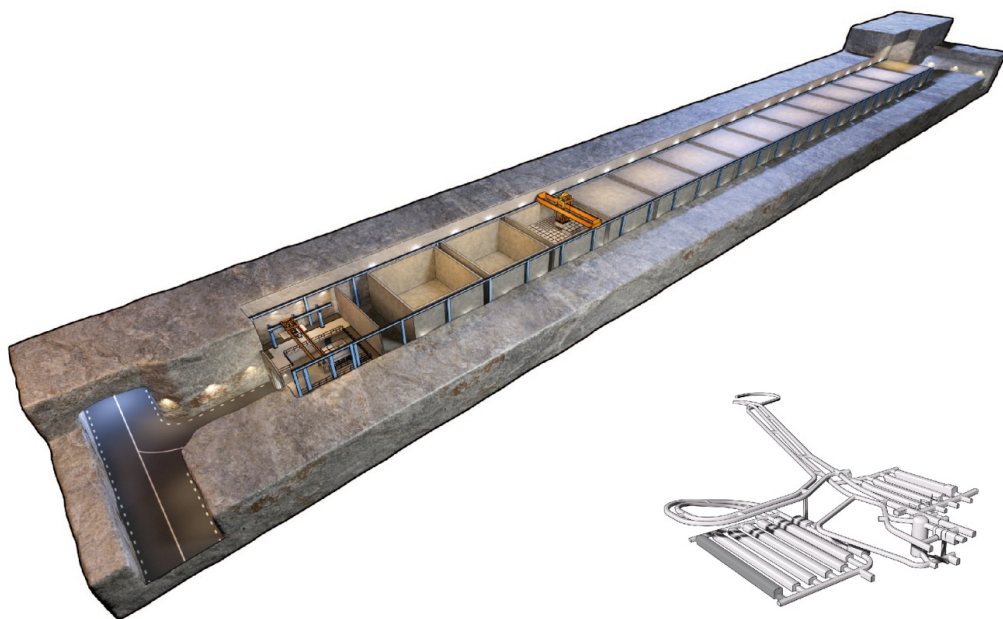
1.1 Bakgrund

I Slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall (SFR) i Forsmark slutförvaras låg- och medelaktivt driftavfall från de svenska kärntekniska anläggningarna. Anläggningen ägs av Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, och har varit i drift sedan 1988. Förvaret är inrymt i förvarsutrymmen 60 m under Östersjöns botten och har kapaciteten att slutförvara driftavfall från svenska kärnkraftverk såväl som radioaktivt avfall från andra avfallsproducenter såsom industri, sjukhus och forskning.

Då kärnkraftindustrin i Sverige ansvarar för att omhänderta allt radioaktivt avfall från sina anläggningar, både drift- och rivningsavfall, finns idag behov av förvar för rivningsavfall. I dagsläget finns redan avställda reaktorer i Barsebäck, Ågesta och Studsvik som vid ett senare skede ska rivras. SKB driver därför arbetet med ansökan om att få bygga ut SFR till en anläggning för slutförvar av både drift- och rivningsavfall.

Utbyggnaden av SFR är ett kärntekniskt anläggningsprojekt vars huvudmål är att driftsätta en utbyggd anläggning så att rivningsavfallet från de svenska kärnkraftverken kan slutligt omhändertas. Projektet är indelat i ett antal projektskeden och delprojekt, där denna rapport behandlar arbetet som bedrivits inom delprojekt Teknikutveckling med fokus på barriärutformning för förvarsutrymme för medelaktivt avfall i ett utbyggt SFR.

Den i ansökan framtagna referensutformning för förvarsutrymme för medelaktivt avfall i utbyggd del av SFR visas i Figur 1-1. I förvarsutrymmet planeras en betongkonstruktion att uppföras som utgör teknisk barriär efter förslutning. Under driftskedet respektive förvaringsskedet tillskrivs den tekniska barriären ett antal funktioner. Under driftskedet ska konstruktionen fylla en funktion som strålskärm samt underlätta säker hantering och förvaring samt utformas så att risker för aktivitetsspridning och persondoser minimeras. Det medelaktiva avfallet kommer att deponeras och kringgjutas med ett cementbruk i en betongkonstruktion. Efter förslutning kommer avfallsform, betongkokiller, betongkonstruktion, kringgjutningsbruk, återfyllnadsmaterial och pluggarna som försluter bergssalen vara barriärer som utgör barriärsystemet med funktioner för slutförvarets säkerhet efter förslutning. Även berget och lokalisering av förvaret under havet är av betydelse för förvarets säkerhet efter förslutning.



Figur 1-1. Illustration 2BMA i utbyggd del av SFR.

Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA

1.2 Syfte

Syftet med föreliggande rapport är att beskriva de alternativa barriärutformningar som har studerats för nytt förvarsutrymme för medelaktivt avfall (2BMA). Vidare syftar rapporten till att redovisa motiv till vald barriärutformning för förvarsutrymme för medelaktivt avfall i utbyggnaden med utgångspunkt från krav och konstruktionsstyrande förutsättningar samt erfarenheter som har tagits tillvara från uppförande och drift av befintligt SFR.

1.3 Metodik för genomförande av teknikutveckling

Inför ansökan för utbyggnad av SFR har teknikutveckling bedrivits i syfte att ta fram en referensutformning för de tekniska barriärerna i utbyggnaden samt leverera underlag till systemprojektering och till analysen av säkerheten efter förslutning. Teknikutvecklingen har därför främst varit fokuserad på utformning, beskrivning och val av tekniska barriärer i den utbyggda delen av SFR samt beskrivning av förslutningen av hela anläggningen.

Teknikutvecklingen är en process som bedrivs stegvis under samtliga projektskeden och i samverkan med övrig projektering och analysarbete. Under detaljprojekteringskedet kommer referensutformningen att vidareutvecklas under en detaljprojektering till ett underlag för upphandling av entreprenaderna. Det stegvisa teknikutvecklingsarbetet görs i syfte att fastställa de detaljerade kraven som ska ställas på konstruktionens ingående delar genom att verifiera och validera krav för vald konstruktionslösning samt utförandeteknik.

2 Erfarenheter från befintligt SFR

Vid utformning av de tekniska barriärerna i den planerade bergssalen för medelaktivt avfall i utbyggd del av SFR (2BMA) har erfarenheter tagits tillvara från uppförande och drift av betongkonstruktionen i bergssalen för medelaktivt avfall i befintligt förvar (1BMA). I följande avsnitt presenteras den tekniska barriären i 1BMA, statusbedömningar samt de förbättringsområden som har identifierats vilka baseras på ett arbete som tidigare har utförts av SKB.

2.1 Beskrivning av betongkonstruktion uppförd i 1BMA

Den befintliga betongkonstruktionen i 1BMA uppfördes mellan 1986 och 1987, där projektering och byggande utfördes enligt dåvarande normer och regelverk (svensk byggnorm SBN80, bestämmelserna för betongkonstruktioner samt BBK79).

2.1.1 Funktionsbeskrivning

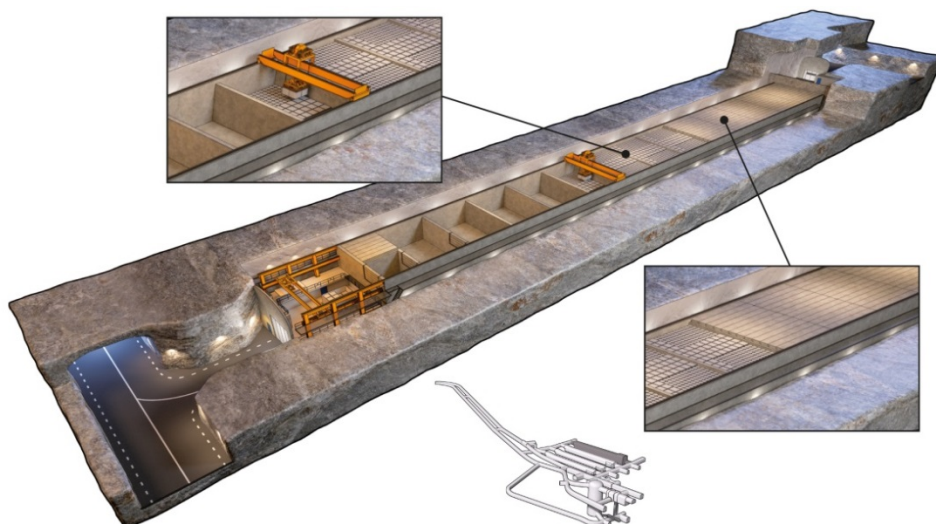
Den tekniska barriären uppförd i 1BMA utgörs av en ca 140 m lång platsgjuten armerad betongkonstruktion som är indelad i 13 stycken stora fack respektive två mindre fack. Facken avgränsas från varandra med tvärgående mellanväggar vars uppgift är att dela upp förvaret i lämpliga sektioner som medger stegvis inlastning och pågjutning, staga de längsgående väggarna som även bär traversbanan, ge strålskydd samt minska brandbelastning genom successiv påläggning av prefabricerade betongelement.

I facken deponeras konditionerat avfall emballerat i betongkokiller, plåtkokiller samt plåtfat på fatbricka eller i fatlåda med en fjärrstyrd travers som löper på överkanten av betongkonstruktionens ytterväggar. Deponeringen sker löpande vartefter avfallet anländer till SFR, kokiller staplas i sex lager och fat staplas i åtta lager. Fyllda fack driftförsluts genom utplacering av strålskärmande prefabricerade betongelement följt av en tunn betongpågjutning. Inför förslutning planeras även avfallet att kringgjutas fackvis med ett cementbaserat bruk i syfte att fylla hålrum mellan avfallskollin och minimera fritt vattenflöde, men även fördröja lakningsprocessen och begränsa mikrobiell aktivitet genom att bidra till en kemisk miljö med högt pH.

Det som planeras inom ramen för ett utbyggt SFR är att endast avfallsform och -behållare utgör barriär under driftskedet. Betongkonstruktionen är inte klassad som barriär under driftskedet utan ska fylla en funktion som strålskärm samt underlätta säker lagring och hantering av avfall under driftskedet.

Ytterligare planeras inom ramen för ett utbyggt SFR är att avfallsform, betongkokiller, betongkonstruktion, kringgjutning, återfyllnadsmaterial, pluggar och berg utgör barriärerna under förvaringsskedet (efter förslutning). De har till uppgift att upprätthålla säkerheten efter förslutning. Betongkonstruktionen tillsammans med återfyllnadsmaterialet ska begränsa vattenflödet genom avfallet. Förhållandet mellan hydraulisk konduktivitet för betongkonstruktionen och återfyllnaden leder vattenflödet i bergssalen runt avfallsvolymen, istället för igenom den. Den stora mängden cement i bergssalen tillhandahåller sorptionsyta som förhindrar och fördröjer frigörandet av radionuklider. Cementet bidrar även till en alkalisk miljö som begränsar korrosionshastigheten hos stål och även mikrobiella aktiviteten i förvaret. Betongkonstruktionen ska även ha mekanisk stabilitet och tålighet mot de laster som den utsätts för under förvaringsskedet; vattentryck och jordtryck.

Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA



Figur 2-1. Bergssal för medelaktivt avfall, 1BMA, i befintligt förvar under driftskedet.

2.1.2 Utformning

Grundläggning

Bottenplattan är grundlagd på ett dränerande lager av makadam som i sin tur ligger på en packad sprängstensfyllning. Bottenplattan är försedd med förstavningsbalkar och kantbalkar under betongväggarna vilka är grundlagda på oarmerade sulor av grovbetong. Grovbetongen är gjuten mot rensat berg och mellan sulorna ligger den packade sprängstensfyllningen. För att dränera utrymmet under bottenplattan finns även dräneringsrör ingjutna i bottenplattans kantförstävning.

Bottenplatta

Bottenplattan utgörs av en platsgjuten armerad betongplatta med tjockleken 250 mm. Den är gjuten med vattentät betong K300 (idag benämnd C25/30) och armerad med armeringsstål av kvalitet Ks40s. Plattan är utformad med förstavningsbalkar och kantbalkar vid varje fack, som ett rutnät.

Ytterväggar

De längsgående ytterväggarna är utförda i platsgjuten armerad betong med tjockleken 400 mm med undantag till ytterväggen mot inlastningszonen som är 600 mm. Väggarna är gjutna med betong K300 (idag benämnd C25/30), ej vattentäta och armerade med armeringsstål av kvalitet Ks40s. I överkant är ytterväggarna försedda med en vot, med tjockleken 740 mm. Voten fungerar som upplag för kranrälen till traversen.

Mellanväggar

Facken avgränsas från varandra med tvärgående mellanväggar utförda i platsgjuten armerad betong med tjockleken 400 mm. De är gjutna med betong K300 (idag benämnd C25/30), ej vattentäta och armerade med armeringsstål av kvalitet Ks40s. Det finns totalt 14 stycken mellanväggar, inklusive en längsgående mittvägg som delar de två mindre facken mot inlastningszonen. De två första mellanväggarna samt ytterväggen, från inlastningszonen räknat, är utformade med så kallade ursparingar i överkant med dimensionerna 4x3 m som möjliggör intransport av udda avfallskollin, exempelvis större maskindelar. Ursparingarna är normalt igensatta med spontade strålskyddsplank i betong, försedda med kantstål. I mellanväggarna finns även öppningar för gångväg som medger tillträde till facken. Dessa öppningar har dimensionerna 1x2 m och muras successivt igen varefter lagret fylls med avfall. Runt öppningarna finns även ingjutningsgods.

Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA

Lock

Under driftskedet placeras strålskärmande prefabricerade betongelement ut över fack som är fyllda med avfall. Dessa betongelement övergjuts sedan med ett tunt betongskikt – en tillkommande åtgärd för att förhindra vatteninträngning in till fack fyllda med avfall. Inför förslutning gjuts sedan ytterligare ett lastbärande armerat betonglock över respektive fack.

Laster

Betongkonstruktionen är dimensionerad för följande laster:

- Last från avfall
- Last från travers
- Invändig vattenlast i fack från sprinkling (maximal höjd 2 m)
- Gjutlast vid kringgjutning av fat (indelat i fyra stycken gjutkampanjer)
- Last från återfyllnad av förvaret
 - Jordtryck som uppstår vid återfyllning av utrymme mellan berg och betongvägg
 - Jordtryck som uppstår vid återfyllning ovan betongkonstruktionen (maximal höjd 3 m)

2.1.3 Tillståndsbedömning

Statusbedömningar av betongkonstruktionen i 1BMA har genomförts under olika perioder sedan konstruktionen uppfördes, och har då genomförts med ökande detaljeringsgrad för att identifiera och kartlägga upptäckta skador utförligt. De skador som har identifierats på betongkonstruktionen kan, baserat på skadeorsak, delas upp i två kategorier; skador huvudsakligen orsakade av kloridinitierad armeringskorrosion samt skador orsakade av temperaturkrympning.

Skador huvudsakligen orsakade av kloridinitierad armeringskorrosion

- Skadorna utgörs av armeringskorrosion och delaminering av betongens täcksikt. Utöver detta förekommer skador orsakade av korrosion av formstag och andra ingjutna järn- och stålkomponenter.
- Kloridinträngning i betongen orsakat av dropp från inträngande grundvatten har haft en stor och sannolikt avgörande inverkan på uppkomsten av armeringskorrosion och den därpå efterföljande delamineringen av betongens täcksikt.
- Analyser visar att betongens kloridhalt på flera positioner i konstruktionen överstiger det tröskelvärde där betongens passiverande verkan gentemot armeringskorrosion upphävs.
- Analyser på flera punkter i konstruktionen visar att den relativa fukthalten i betongen i betongkonstruktionen i 1BMA är optimal för att erhålla en hög korrosionshastighet.
- Det täckande betongskiktet är i stora delar av konstruktionen för tunt i förhållande till den rådande exponeringsmiljön. Det betyder att armeringen ligger alltför ytligt och påverkas av inträngande fukt och klorider. Detta har bidragit till skadornas omfattning.

Slutsatsen är att den omfattande armeringskorrosionen och den därpå följande spjälkningen av betongens täcksikt har orsakats av ett för tunt täcksikt och betydande inträngning av kloridhaltigt grundvatten (i sin tur orsakat av avsaknad av fungerande uppsamlingsanordningar för bergdränage). Situationen har förvärrats av den höga relativa

Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA

fuktighet som periodvis råder i förvarsutrymmet, till följd av kontinuerlig tillförsel av ej avfuktad tilluft från markytan.

Skador orsakade av temperaturkrympning

- Skadorna utgörs huvudsakligen av genomgående sprickor i väggar och bottenplatta men även ytliga sprickor förekommer.
- Den huvudsakliga orsaken till de uppkomna genomgående sprickorna bedöms vara temperaturkrympning i samband med uppförandet av betongkonstruktionen. Vid gjutning av väggar mot golv har yttre tvång förhindrat väggens fria krympning med sprickbildning som följd.
- En avgörande orsak till uppkomsten av sprickor med en sprickbredd överstigande 0,2 mm är att mängden armering i betongkonstruktionen är otillräcklig för att verka sprickbredds begränsande.

Slutsatsen är att valet av metod för uppförandet av betongkonstruktionen är den huvudsakliga orsaken till de vertikala sprickorna.

2.1.4 Konstruktionstekniska svagheter

Utöver de skador som har detekterats på betongkonstruktionen i 1BMA, finns det ett antal konstruktionstekniska svagheter över tid vilka beskrivs nedan.

Armeringsmängd

Under driftskedet har armeringen främst till uppgift att ta upp dragkrafter och förhindra att sprickor med oacceptabla sprickbredder uppstår. I betongkonstruktionen i 1BMA motsvarar inte befintlig armeringsmängd betongens draghållfasthet och är därmed otillräcklig för att verka sprickbredds begränsande. I den rörelsehindrade konstruktionen innebär det att armeringen inte har förmågan att omfördela sprickor till mindre sprickor vid tvångskrafter orsakad av krympning och följden av det blir genomgående sprickor med oacceptabla sprickbredder.

Ingjutet stål

I betongkonstruktionen finns förutom armering även en stor mängd övrigt ingjutet stål; infästning till kranräl, fästplattor, kantstål, styrskenor, dräneringsrör, formstag etc. Stålet, bestående av varmförzinkat stål och obehandlat stål, ligger ytligt i konstruktionen och utgör svagheter i konstruktionen med avseende på beständighet och täthet efter förslutning.

Formstag

Betongkonstruktionen är gjuten med skivform och för att hålla ihop väggformarna vid gjutning användes formstag av stål. Formstagen som är genomgående utgör svagheter i konstruktionen med avseende på de potentiella transportvägar för radionuklider som kan skapas tiden efter förslutning.

Gjutfogar

Betongkonstruktionen är gjuten etappvis, där gjutordningen har anpassats för att minska spricktillväxt i betongen orsakad av krympning. Detta har föranlett gjutfogar mellan gjutetapperna. Fogarna är utförda med förtagning i syfte att öka tätheten och höja tvärkraftskapaciteten. Ingen extra armering eller fogband förekommer. Fogarna är alltså inte utförda med expansionsfog (dilatationsfog eller rörelsefog) som tillåter inbördes förskjutning mellan konstruktionsdelar utan att skadliga spänningar uppstår. De arbetsfogar som har införts i konstruktionen har ej den expansionsförmågan och utgör därmed en svaghet i konstruktionen avseende beständighet och täthet på lång sikt. Motståndsförmågan mot vattengenomströmning försämras med de sprickor som kan uppstå till följd av dragspänningar som krympning gett upphov till.

2.2 Identifiering av förbättringsområden inför utbyggnaden

De övergripande förbättringsområden som har identifierats och som bedömts som viktiga att beakta inför uppförandet av den nya anläggningen och de tekniska barriärerna har främst varit:

- Val av betongsammansättning för tekniska barriärer i betong
- Teknisk utformning och konstruktionsmetod för uppförande av tekniska barriärer
- Miljö i bergssalarna under drifttiden
- Efterkontroller

Mer detaljerat, baserat på det som omnämns i avsnitt 2.1, har även följande förbättringsområden identifierats:

Generella förbättringar

- Att separera traverskonstruktionen från den tekniska barriären för att öka flexibiliteten vid utformning och dimensionering av barriären.
- Åtgärder som förhindrar att inläckande grundvatten droppar på barriären för att minimera inverkan på barriärens beständighet efter förslutning.
- Ökat utrymme mellan avfallskollin för att underlätta kringgjutning med cementbaserat bruk.

Förbättringar kopplat till teknisk barriär i betong

- Att använda en betong som bidrar till minskad sprickbildning vid uppförandet.
- Att dela upp den långa betongkonstruktionen i fristående sektioner för att skapa förutsättningar för att hantera risken för sprickbildning i samband med uppförandet.
- Att uppföra konstruktionen utan genomgående formstag och minimera andelen ingjutet stål gods i syfte att öka beständigheten efter förslutning.
- Begränsa tvång och sprickbildning vid övergången mellan bottenplatta och väggar genom att undvika gjutfogar.

2.3 Övriga aspekter att beakta inför utbyggnaden

Utöver de identifierade förbättringsområden som omnämns i avsnitt 2.2 finns det även andra aspekter att ta hänsyn till när erfarenheter från befintligt förvar tas tillvara i utvecklingen av de tekniska barriärerna för utbyggd del av SFR. Det rör främst skillnader i dimensioneringsförutsättningar och den utveckling som skett inom byggbranschen sedan byggnation av befintligt förvar.

Sedan byggnation av befintligt förvar har regler för konstruktion och byggande blivit alltmer detaljerade och skarpa. De normer och regelverk som tillämpades vid ursprunglig betongkonstruktion i 1BMA har idag ersatts av nya normer och regelverk där Eurokoderna, tillsammans med nationella val i Boverkets föreskriftsserie EKS, idag tillämpas vid dimensionering av bärande konstruktioner. Även dimensioneringsförutsättningarna med bäring på förvarets säkerhet efter förslutningen har skärpts sedan byggnation av befintligt förvar. Dessa omfattas dels av vilka konstruktioner som har en långsiktig barriärfunktion och dels tiden som barriärerna behöver vidmakthålla sin barriärfunktion med hänsyn till ansatt analysperiod för förvarets säkerhet efter förslutning.

Forskning och utveckling inom materialområdet betong har gett en ökad kunskap om betong i ett livscykelperspektiv. Detta ger förståelse för val av lämplig betongsammansättning och teknik för uppförande med hänsyn till önskad funktion hos konstruktionen. Avseende lastförutsättningar har även en ökad kunskap kring vilka laster och processer som inverkar på

Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA

konstruktionen under slutförvarets olika skeden, från driftskede till förvaringsskede, erhållits genom forskning och utveckling.

3 Krav och konstruktionsstyrande förutsättningar

Vid tiden för ursprungligt uppförande av befintligt SFR fanns inte några specifika svenska föreskrifter, säkerhetsnormer eller guider för konstruktion av ett slutförvar för radioaktivt driftavfall från kärnkraftverk. Konstruktionen grundades därför på generella normer och föreskrifter för radiologisk verksamhet och i tillämpliga delar på föreskrifter för svenska kärntekniska anläggningar rörande utsläpps begränsningar. Olika krav för slutförvaringsanläggningar har emellertid successivt tillkommit.

Övergripande krav på konstruktion, utförande och driftskedet för teknisk barriär bygger på erfarenheter från befintligt SFR samt på en kravinventering som är gjord där krav från föreskrifter, intressenter och krav till följd av avfallens egenskaper har identifierats.

3.1 Allmänna krav och konstruktionsstyrande förutsättningar

Bästa möjliga teknik

Utbyggd del av SFR samt barriärsystemet ska utformas så att risken för att människors hälsa efter förslutning inte överskrider det riskkriterium som SSM fastställt i SSMFS 2008:37 (den årliga risken för skadeverkningar efter förslutning blir högst 10^{-6} för en representativ individ i den grupp som utsätts för den största risken). Den nivån motsvarar cirka en procent av den naturliga bakgrundsstrålningen. För att uppfylla BAT ska slutförvaret och dess barriärsystem vara utformat så att risken är lägre än denna nivå och så låg som det är rimligt med hänsyn till teknisk genomförbarhet och kostnader samt förutsättningar för säkerhet under drift.

Förläggningsdjup

Ett förläggningsdjup på -120 m har valts för SFR-utbyggnad. Djupet av utbyggnaden ger inverkan på täta barriärkonstruktioner i form av att vattenlast efter förslutning uppstår. Utbyggnaden kommer att placeras i höjrelation mellan -120 m till -145 m vilket ger en dimensionerande yttre vattenlast av ca 150 m vattenpelare (mVp) förutsatt att förvarsutrymmena görs horisontella. Vid vertikalt förvarsutrymme kan vattenlasten utökas ytterligare.

Avfall

I ett nytt förvarsutrymme för medelaktivt avfall kommer mestadels rivningsavfall att deponeras, i form av betong och metall emballerat och konditionerat i olika typer av behållare såsom betong- och plåtkokiller etc. Ytermåtten på plåt- eller betongkokill är 1,2x1,2 m och basmått för större kokillslådor är 2,4x2,4 m. Höjden på samtliga kokiller är 1,2 m. Maximal tillåten ytdosrat på varje avfallsbehållare är 100 mSv/h.

Det nya förvarsutrymme som uppförs för medelaktivt avfall ska inrymma prognostiserat medelaktiva avfall som uppstår vid drift och rivning av kärnkraftverken och övriga kärntekniska anläggningar, vilket motsvarar cirka 20 900 m³ avfall (Persson 2014). Avfallet är kortlivat avfall som har ett begränsat innehåll av långlivade radionuklider.

Miljö i bergssal

Miljön i befintligt SFR ligger till grund för förväntad miljö i ett utbyggt SFR. Miljön påverkas starkt av att anläggningen är insprängd i en berggrund där salthaltigt grundvatten förekommer samt att stora volymer luft tillförs anläggningen via dess ventilationssystem. Temperaturen i befintligt förvar är stabil och har ett årsmedelvärde på cirka 12 °C. Den relativa luftfuktigheten (RF) varierar dock betydligt över året till följd av den tillförda ventilationsluften, cirka 30-100 % RF där den lägre relativa fuktigheten motsvarar vinterhalvåret och den högre relativa luftfuktigheten sommarhalvåret.

Materialval anpassas till rådande klimatförutsättningar med avseende på temperatur och fukt för att minimera inverkan på barriärens beständighet. För att förhindra att kloridhaltigt grundvatten droppar på barriären installeras även tunnelduk eller något motsvarande i bergssalen, se vidare avsnitt 4.1.1, *Exponeringsklass*.

3.2 Krav och konstruktionsstyrande förutsättningar för driftskedet

Med utgångspunkt från erfarenheter och den kravinventering som är gjord har en kravbild formulerats som har styrt teknikutvecklingen för teknisk barriär i förvarutrymme för medelaktivt avfall i utbyggnaden.

Driftsäkerhet

Under driftskedet krävs en konstruktion för säker förvaring av avfallet, vilken kan utgöra teknisk barriär efter förslutning. Konstruktionen ska ha en funktion som strålskärm som har till uppgift att underlätta säker lagring och hantering av avfall. Konstruktionen ska därmed utformas så att erforderlig strålskärmfunktion erhålls, med anpassning till det avfall som planeras att förvaras i förvarsutrymmet, och uppföras med hög tillförlitlighet.

Teknik för uppförande av konstruktionen ska inte innebära oacceptabla hälso- och olycksrisker för de som utför arbetet eller vistas i och kring anläggningen. Tillräckligt med utrymme för utrymningsvägar ska även tillgodoses i bergssalen. Under driftskedet ska det vara möjligt att utföra inspektion och underhåll av tekniska system och av friliggande berg och bergförstärkning i syfte att skapa en säker miljö för personal.

Kontroll av barriärfunktion

Vid uppförande av barriärkonstruktion ska det vara möjligt att kontrollera dess egenskaper mot uppsatta egenskapskrav och acceptanskriterier för konstruktion. Det ska även vara möjligt att fastställa barriärens initialtillstånd, analysera och förutsäga barriärens framtida utveckling.

Miljöhänsyn

Inverkan på miljön ska vara så liten som möjligt. Vid val av material, metoder för preparering samt teknik för uppförande ska miljöaspekter såsom buller, energiåtgång, transportbehov och brytning av material beaktas.

Kostnadseffektivitet

Byggnation och inredning av förvarsutrymmen med tekniska system och barriärkonstruktioner ska vara kostnadseffektiv och kostnadsoptimerad utifrån val av material, konstruktion och teknik för uppförande.

Teknisk mognad

Material, konstruktionsutformning och teknik för uppförande av barriärkonstruktion ska så långt som möjligt vara baserade på erfarenheter och etablerad praxis från liknande tillämpningar. Ifall erfarenheter saknas eller ej är tillräckliga ska utprovning, demonstrations/verifieringsförsök genomföras. Varje teknisk lösning ska vara genomförbar.

3.3 Konstruktionsstyrande förutsättningar vid och efter förslutning

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

Barriärkonstruktionernas tillstånd vid förslutning i nytt förvarsutrymme för medelaktivt avfall ska kunna beskrivas. Barriärkonstruktioner ska vara inriktade på att begränsa vattenflöde genom avfallet samt bidra till god retention. Funktioner hos barriärkonstruktionerna som är viktiga är de hydrauliska, mekaniska och kemiska funktionerna. Egenskaper som beaktas vid utformning av barriärkonstruktioner är, begränsning av advektiv transport av radionuklider, strukturell stabilitet samt sorption av radionuklider.

4 Redovisning av teknisk barriär i betong i förvarsutrymme 2BMA

Följande kapitel behandlar, på en konceptuell nivå, en teknisk barriär i betong i bergssal för medelaktivt avfall (2BMA). Syftet är att presentera hur en teknisk barriär i betong kan utformas, dimensioneras och uppföras. Erfarenheter och lärdomar från uppförande och drift av befintligt SFR och 1BMA, kapitel 2, har tagits tillvara.

4.1 Krav och konstruktionsstyrande förutsättningar

De övergripande krav och konstruktionsstyrande förutsättningar för teknisk barriär för medelaktivt avfall beskrivs i kapitel 3. I följande avsnitt redovisas de specifika konstruktionsstyrande förutsättningar och de byggnadstekniska krav som följer av att en teknisk barriär uppförs i betong.

4.1.1 Byggnadstekniska krav

Säkerhetsklass och livslängdsklass

De byggnadstekniska kraven säkerhetsklass 3 enligt BFS 2013:10, EKS 9 (Boverket 2013) och livslängd 100 år (L100) enligt SS-EN 1990 (SIS 2010) kommer att tillämpas vid projekteringen av teknisk barriär uppförd i betong. Driftperioden för 2BMA är beräknad till 50-60 år, varför ett krav på en livslängd lika med minst 100 år synes vara lämpligt med förväntat underhåll och utan att större ingrepp är nödvändiga. Att den tekniska barriären avses ha en livslängd som vida överstiger 100 år ska beaktas genom att i förekommande fall skärpa normkraven och annan praxis om detta bedöms ha en gynnsam effekt på den långsiktiga barriärfunktionen.

I övrigt finns krav i ovannämnda regelverk på beräkningsmetoder, material, utförande och kontroll för att uppnå L100 med hänsyn till laster och omgivande miljö.

Exponeringsklass

Nedan specificeras vilken exponeringsklass enligt SS-EN 206 (SIS 2013) som ska ansättas för den tekniska barriären i betong när den är utförd utan armering/ingjutet stål respektive med armering/ingjutet stål.

Oarmerad betong

För betong utan armering eller ingjutet stål finns ingen risk för korrosion eller angrepp, vilket innebär att exponeringsklass XO tillämpas.

Armerad betong

För betong med armering och/eller ingjutet stål finns risk för armeringskorrosion, där den förväntade miljön i utbyggt SFR blir styrande för vilken exponeringsklass som ska appliceras på den tekniska barriären i betong. Miljön i befintligt SFR är motsvarande marin miljö, vilken även förväntas förekomma i utbyggt SFR, och innebär att exponeringsklass XS ska tillämpas. Exponeringsklass tillsammans med livslängdsklass och betongens vct (vattencementtal) utgör sedan underlag för tjocklek på det täckande betongskiktet till armeringen (Boverket 2013).

Täthet

Sprickor, både ytsprickor och genomgående sprickor, har inverkan på betongkonstruktionens täthet och beständighet efter förslutning varför utgångspunkten är att erhålla en så sprickfri konstruktion som möjligt. Materialsammansättning, utformning, dimensionering samt utförandemetod för betongkonstruktion i 2BMA optimeras för att ge största möjliga motstånd mot nedbrytning under såväl drifttid som efter förslutning. Barriären dimensioneras för att vara fri från genomgående vattenförande sprickor, där sprickvidder överstigande 0,20 mm ej tolereras med koppling till risken för kloridinitierad armeringskorrosion, se avsnitt 4.1.1, *Exponeringsklass*.

Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA

4.1.2 Konstruktionsstyrande förutsättningar

Lastförutsättningar

Nedan redovisas de lastfall som identifierats som relevanta för dimensionering av barriärkonstruktion i betong.

- Laster i byggskedet
 - Gjuttryck (dimensionering av form)
 - Spänningar förorsakade av temperaturutveckling vid utförande
- Laster vid drift och förslutning
 - Spänningar orsakade av skillnad i uttorkningskrympning mellan bottenplatta och väggar
 - Yttre jordtryck
 - Inre gjuttryck
 - Last av avfall
- Olyckslaster vid drift och förslutning
 - Last av tappad kokill
 - Oavsiktlig stöt från travers
- Laster efter förslutning
 - Last av fallande block
 - Yttre vattentryck
 - Inre gastyck pga korrosion av avfallet

Säkerhet efter förslutning

De tekniska barriärerna i betong ska konstrueras och produceras så att de möter de krav som ställs på förvarets säkerhet efter förslutning. De tekniska barriärerna i betong ska även uppnå kraven för det antagna initialtillstånd i analysen för förvarets säkerhet efter förslutning. Den tekniska barriären i betong i 2BMA konstrueras för att er hålla hydrauliska, mekaniska och kemiska barriärfunktioner. Betongkonstruktionen, tillsammans med kringgjutningen och betongkokillerna, har en flödesbegränsande funktion. Materialen inuti betongkonstruktionen (kringgjutningsbruk, betongbehållare och avfallsform) är nödvändiga för att upprätthålla barriärkonstruktionens strukturella integritet. Betongbarriärens integritet behöver skyddas från mekanisk åverkan från nedfallande bergblock efter förslutning. Ett återfyllnadsmaterial i förvarsutrymmet runt betongbarriären kan utgöra skydd. Materialens egenskaper ger även ett hydrauliskt förhållande dem emellan, vilket bidrar till en hydraulisk funktion hos förvarsutrymmet.

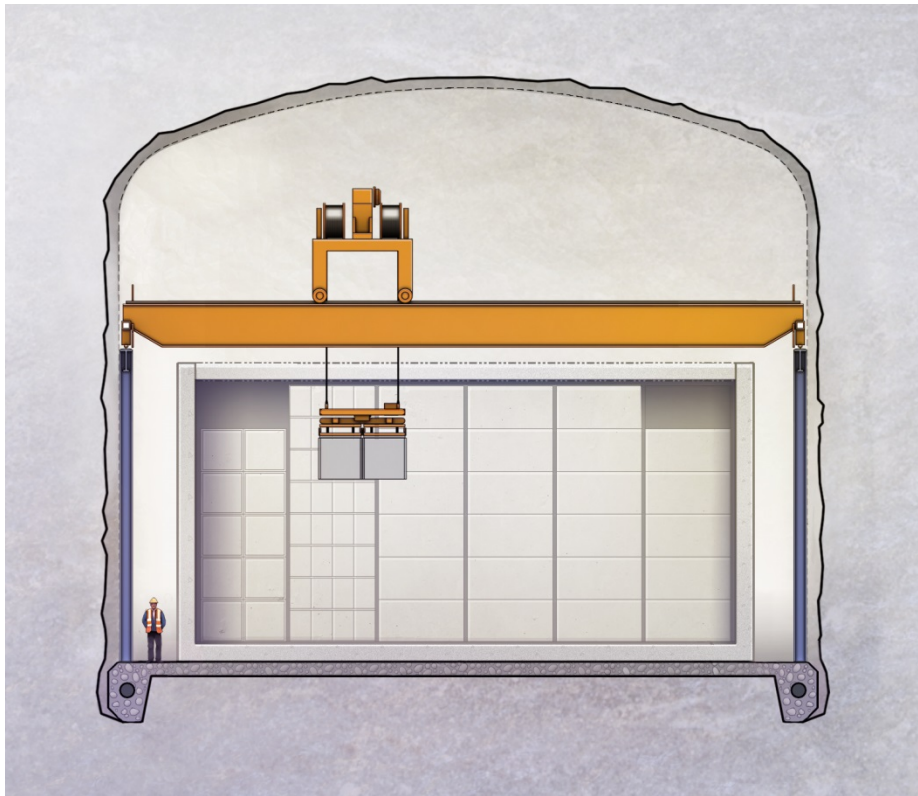
Betongens och kringgjutningsbrukets pH-buffrande funktion håller gasproduktionen låg, på grund av att högt pH ger långsam järnkorrosion men hjälper även till att begränsa mikrobiell aktivitet. Valet av betong som material i tekniska barriärer ger också goda sorptionsegenskaper för många radionuklider.

Med hänsyn till barriärkonstruktionens beständighet ska mängden ingjutet metalliskt material begränsas och tvärgående stål i konstruktionen undvikas. På lång sikt korroderar stål i konstruktionen och efterlämnar sprucken och porös betong där armeringen en gång var verksam. Detta kan leda till att vattenflödet inte begränsas till och från avfallet som avsett. Det innebär att tvärgående stål i konstruktionen såsom skjuvarmering, invändig hörnarmering och formstag inte bör utnyttjas i barriärkonstruktionen.

4.2 Utformning

Teknisk barriär i betong för medelaktivt avfall kommer att uppföras som en betongkonstruktion som utgör strålskydd under drift samt ha betydelse för förvarets säkerhet efter förslutning där krav och konstruktionsförutsättning ansätts så att barriärfunktioner upprätthålls under lång tidsrymd.

Den tekniska barriären i betong i ny bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA, föreslås utformas som fristående kvadratiska konstruktioner med utvändiga mått av 16,2 x 16,2 x 8,4 m, se Figur 4-1. Med prognostiserad mängd avfall innebär det att totalt 14 stycken fristående konstruktioner behövs. Deponering av avfall kommer att ske fjärrmanövrerat där traversen i 2BMA kommer att placeras på ett fristående pelarsystem och kommer således inte att belasta barriärkonstruktionen.



Figur 4-1. Illustration 2BMA med betongkonstruktion grundlagd på en packad bädd under driftskede.

Utifrån erfarenhet från SFR samt att utforma betongkonstruktionens långsiktiga beständighet och täthet bör mängden ingjutet stål gods och armering minimeras i betong, samt att konstruktionen bör utföras i mindre sektioner. Att utföra konstruktionen i mindre enheter ger bättre förutsättningar att hantera risken för sprickbildning i samband med uppförandet samt att mängden fogar kan reduceras. Betong ska användas som bidrar till en minskad sprickbildning vid uppförandet. I syfte att minska mängden ingjutet material planeras barriären att uppföras utan genomgående formstag. Barriären planeras även att utformas utan kraftbärande armering, se avsnitt 4.3.

Grundläggning

Konstruktionen grundläggs på en bädd av packat grus och kan kompletteras med en arbetsbetong med ett glidskikt mellan arbetsbetongen och konstruktionens bottenplatta. Grundläggningen utformas och dimensioneras med tillräcklig styvhet för att omhänderta laster och undvika eventuella sättningar som kan ge upphov till sprickor i konstruktionen. Grundläggningen utformas även så att tvång i konstruktionen undviks.

Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA

Bottenplatta och ytterväggar

Bottenplattan utformas utan kantförstyvning för att reducera tvånget för rörelser på grund av temperaturändring och betongens krympning, vilket minskar risken för sprickor. Att gjuta utan vertikala och horisontella gjutfogar medför att högsta möjliga draghållfasthet kan krediteras i anslutningen mellan vägg och bottenplatta samt mellan väggar för en konstruktion som utförs utan armering.

Konstruktionstjocklekarna för konstruktionens olika delar styrs i huvudsak av krav på strålskydd, betongens värmeutveckling i tidig ålder och bärförmåga men även av att betongen ska fungera som sorptionsyta för radionuklider. Vid produktion av betongkonstruktioner med en tjocklek större än 500-800 mm behöver betongens värmeutveckling hanteras med hjälp av ingjutna kylrör och/eller elkablar, vilket bör undvikas i barriärkonstruktionen med hänsyn till täthetskrav och beständighet efter förslutning. En lämplig tvärsnittstjocklek för väggar och bottenplatta, för att möta krav på strålskydd samt minska effekten av betongens värmeutveckling i tidig ålder, är 500 mm. De yttre lasterna omhändertas så att lasteffekten inte överstiger bärförmågan för tjockleken 500 mm.

Kringgjutning

Det deponerade avfallet i 2BMA kommer att kringgjutas med ett cementbaserat bruk under driftskedet eller inför förslutning av SFR. Kringgjutningen ska tillsammans med avfallskollina utgöra lastupptagande underlag åt konstruktionen vid belastning av utvändigt vattentryck och last från återfyllnadsmaterial, se vidare avsnitt 4.3. Kringgjutningen har också till syfte att efter förslutning begränsa vattenflödet genom avfallet, begränsa radionuklidens rörlighet och bidra med ett högt pH.

Avfallsbehållarna kommer att placeras med ett inbördes avstånd som säkerställer att kringgjutningen kan utföras med hög kvalitet och hög tillförlitlighet. Det är även av vikt att kringgjutningsbruket inte överför krafter från eventuella inre laster såsom gas och svällande avfall ut till betongväggarna med sprickbildning som följd.

Kringgjutning kommer att ske upp till en nivå ungefär 150 mm över överkant på det översta lagret avfallskokiller.

Lock

Ovanpå kringgjutningen kommer ett 500 mm tjockt betonglock att gutas i samma kvalitet och med samma materialsammansättning som den som används i konstruktionens väggar och bottenplatta. Eftersom konstruktionens lock gjuts i ett senare skede kommer en gjutspalt på grund av betongens krympning att skapas mellan väggar och lock. Denna spalt har till syfte att verka som gasavlastningsväg för den gas som kan bildas på grund av gasgenererande processer efter förslutning i kassunen. Efter gjutningen av lock återfylls bergssalen med ett grusmaterial och därefter installeras även pluggar i bergssalens ändrar.

4.3 Dimensionering och hantering av laster

Betongkonstruktionen behöver kunna motstå de belastningar som den utsätts för under driftperioden och efter förslutning utan att deras strukturella integritet, och då också permeabilitet, äventyras. När det gäller de tidsperspektiv som är aktuella för förvaringsskedet kan det antas att armeringen kommer att korrodera. För att minska risken för att korrosionsprodukter från tvärgående armering och formstag spräcker sönder betongen och efterlämnar genomgående större sprickor i barriären behöver tvärgående armering samt formstag undvikas.

Lastbärande funktion hos en armering kan krediteras under driftperioden samt i samband med förslutning. Vid dimensionering för laster under drift, dimensioneras betongkonstruktionens bottenplatta för egenvikten av avfallet samt ojämn fördelning av laster från avfallet. För att omhänderta dessa laster dimensioneras grundläggningen för konstruktionen med tillräcklig

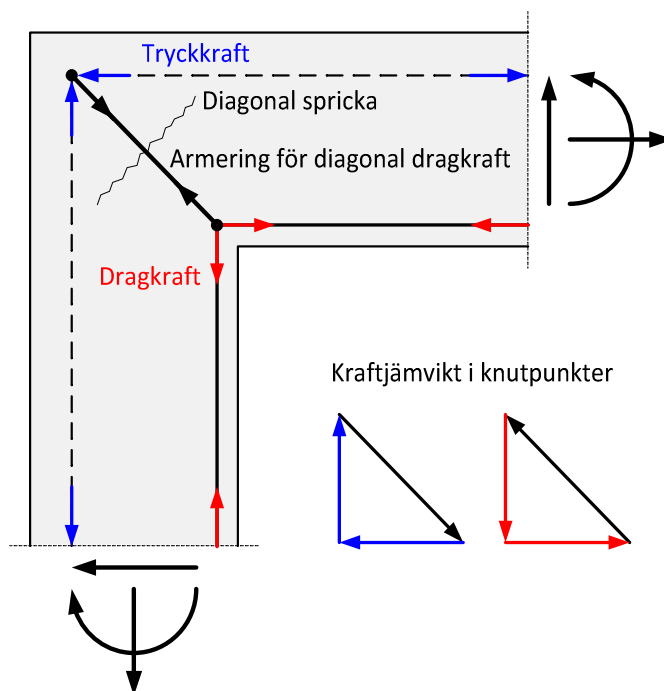
Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA

styvhet. Grundläggningen utgörs av en bädd av packat grus och kan kompletteras med en arbetsbetong för att öka styvheten.

Möjliga olyckslaster såsom tappad kokill och oavsiktlig stöt av kokill måste förhindras där konstruktion av överstyrka i travers och lyftanordning förhindrar tapp av kokill. Vid deponering av avfall kommer styrsystemet för deponeringstraversen arbeta utifrån säkerställd programmering så att oavsiktlig stöt förhindras samt att toleranser mot betongkonstruktionens vägg är väl tilltagna.

Vid kringgjutning uppstår en gjutlast som verkar på konstruktionen inifrån och ska beaktas vid dimensionering av betongkonstruktionen.

Belastningen från kringgjutning av avfallet ger s k ”öppnande moment” i hörnen på betongkassunen. Figur 4-2 illustrerar kraftspelet i ett sådant hörn. Tryck- och dragkrafter på grund av böjmoment möts i hörnet, och för jämvikt fordras en diagonal dragkraft. Om böjmomenten är sådana att de kräver armering på insidan av de till hörnet anslutande delarna, fordras armering även för denna dragkraft. I annat fall kommer hörnet att spjälkas loss för böjmoment som ligger långt under de som svarar mot böjarmeringens kapacitet. Det betyder att armering för den diagonala dragkraften måste ovillkorligen gå mellan insida och utsida, dvs. all armering som inte är genomgående är verkningslös. Det är därför alltså inte möjligt att armera barriärkonstruktionen i 2BMA mot invändigt gjuttryck utan genomgående armering. De öppnande moment som uppstår vid inre gjutlaster behöver i stället motverkas med hjälp av mothåll i form av ett yttre stöd. För detta dimensioneringsfall blir armeringens funktion enbart att öka sprickkapaciteten och att förhindra uppkomst av enstaka stora krympsprickor.



Figur 4-2. Ramhörn med moment som ger dragspänningar på insidan. Figuren visar kraftspelet schematiskt. Den visar inte någon praktisk utformning av armering.

En avgörande dimensionerande belastning för betongkonstruktionens strukturella integritet är det ensidiga vattentrycket som uppkommer då bergssalen vattenfylls. Det är en belastning som både är kortvarig i sin karaktär och uppträder direkt efter förslutning. Den ensidiga utvändiga vattenlast som uppstår kan vara upp till storleksordningen 150 mVp. Denna utvändiga vattenlast ger upphov till böjmoment i konstruktionens hörn, som har motsatt riktning i förhållande till inverkan av det invändiga gjuttrycket, ett s k ”stängande moment” se Figur 4-2. Sådana moment kan omhändertaras utan genomgående armering, men för att

Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA

undvika genomgående armering måste även skjuvarmering undvikas, vilket innebär att betongens tvärkraftskapacitet kan bli gränssättande. Det visar sig i beräkningar att en utvändig vattenlast av storleksordning 150 mVp som uppstår efter en förslutning endast till en liten del kan motverkas med hjälp av armering om mängden armering och betongsektionernas tjocklekar ska hållas på realistiska nivåer. Att armera för ett vattentryck av denna storlek för den beskrivna utformningen med stora spännvidder leder till väggar och bottenplatta med tvärsnittstjocklek upp till 1,8 m och tvärsnittstjocklek på lock över 3 m som är armerade med dubbla lager 32 mm armering. Därför måste det förutsättas att den last som inte klaras av konstruktionens ingående delar samt kringgjutningsbruk behöver tas av avfallskokillerna.

Vidare vid förslutning återfylls bergssalen med ett återfyllnadsmaterial, varför betongkonstruktionen dimensioneras för denna återfyllnadslast. Återfyllnaden dimensioneras med sådan mäktighet att betongbarriärens strukturella integritet inte äventyras av last från fallande bergblock.

Vid de tidpunkter efter förslutning då last av fallande bergblock/blockutfall (till följd av bortkorroderad/degraderad bergförstärkning) och eventuellt inre gas- samt svälltryck kan uppkomma är det vanskligt att kreditera någon lastbärande funktion hos armeringen. Detta då armeringen vid den tidpunkten kan ha korroderat så att armeringen inte längre samverkar med betongen som avsett.

Kringgjutning görs för att utgöra lastupptagande underlag åt betongkonstruktionen vid belastning av utvändiga laster samt att stabilisera avfallskokiller i höjddled. Kringgjutningen kan ha betydelse vid omhändertagande av eventuella inre laster efter förslutningen som uppstår till följd av korrosion och gasutveckling. Kringgjutningsbrukets egenskaper utformas så att påverkan på barriärens strukturella integritet minimeras.

Slutsatsen från dimensioneringen är att det inte är möjligt att tillgodoräkna någon full statisk funktion hos armeringen vare sig mot invändig eller utvändig last. Armeringens funktion blir istället i stort sett begränsad till sprickfördelning och kontroll av sprickbredder på grund av tvångsinverkan av temperatur och krympning.

4.4 Utförande

För att minimera stålgoods i den tekniska barriären kommer betongkonstruktionen att gjutas utan genomgående formsteg. Gjutning utan genomgående formsteg kräver utvändig och invändig stagning av formen. Väggarnas ytterform kommer att stagas dels mot berget och dels genom användning av vertikala konsoler, så kallade motgjutningsbockar. Väggarnas innerform stagas invändigt med ett system av horisontella monteringsstöd (stämp).

Att utföra betongkonstruktionen i mindre sektioner samt minska antalet gjutfogar är gynnsamt i syfte att minska risk för sprickbildning i betongkonstruktionen. För att möjliggöra detta behöver betongkonstruktionen gjutas i sammanhang med en form som hänger, så kallad hängform, vilket är en metod som används i byggbranschen när antalet fogar ska minimeras. Metoden innebär i aktuellt fall att väggformen för insida vägg hängs upp i formen för utsida vägg. Tid för avformning är också en dimensionerande faktor för betongkonstruktionen för att minska sprickbildning vid krympning av betongen.

4.5 Säkerhet under drift

Den planerade betongkonstruktionen i 2BMA har en funktion som strålskärm samt underlättar säker hantering och förvaring under driftskedet och utformas så att risker för aktivitetsspridning och persondoser minimeras. Deponeringen av avfallet kommer att ske i betongkonstruktionen som är uppdelad i enheter med hjälp av en fjärrmanövrerad travers, vilken styrs från en driftbyggnad. Traversen kommer att vara upplagd på ett fristående pelarsystem där service och underhåll av det tekniska systemet kan ske utan att personer utsätts för dos.

Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA

Det medelaktiva avfallet som deponeras kommer att kringgjutas med cementbruk i konstruktionen. Produktionsmetod för kringgjutning kommer att vara utvecklad så att kringgjutning kan genomföras så att dos till personal minimeras. Kringgjutning av avfallet kan ske succesivt under drift alternativt ske innan förslutning. För att minimera dos till personal vid arbete ovan konstruktionen kommer tillfälliga prefabricerade betongelement att placeras ut över avfallet.

4.6 Säkerhet efter förslutning

Betongkonstruktionen i 2BMA bidrar till att begränsa advektiv transport genom avfallet. Förhållandet i hydraulisk konduktivitet mellan betongkonstruktion och återfyllnadsmaterialet leder vattenflödet i bergssalen runt betongkonstruktionen, istället för genom den. Sprickfrekvens och sprickvidder ger tillsammans en hydraulisk konduktivitet och porositeten hos betongen har betydelse för den effektiva diffusiviteten. Den stora mängd betong i bergssalen leder till en alkalisk miljö, vilket medför att gasproduktionen orsakad av mikrobiell aktivitet och korrosion av järn hålls på en låg nivå. De reducerande förhållanden, på grund av anaerobisk korrosion av stål, som etableras tidigt efter förslutning är gynnsamma för sorptionen av många radionuklider. Betongen i bergssalen fungerar även som sorptionsyta för radionuklider. Detta förhindrar och fördröjer frigörandet av de radionuklider som har en fördelningskoefficient (K_d) betong/vatten skild från noll.

En analys av säkerheten efter förslutning av SFR, SR-PSU (SKB 2015) har genomförts. Resultaten av den radiologiska riskuppskattningen visar att den högsta årliga risken är lägre än myndighetens övergripande kriterium på 10^{-6} för den årliga radiologiska risken för representativ individ från den mest exponerade gruppen. Riskkriteriet motsvarar en dos på 14 $\mu\text{Sv}/\text{år}$. Bidraget från 2BMA till maxdosen är omkring 8,4 % (av 7,7 μSv), se vidare kapitel 6.

4.7 Redovisning av för- och nackdelar

Vid utformning av den tekniska barriären i betong i 2BMA har erfarenheter tagits tillvara från uppförande och drift av befintligt SFR och från förvarsutrymme 1BMA. De konstruktionstekniska svagheter över tid för den armerade betongkonstruktionen i 1BMA samt identifierade förbättringsområdena beskrivs närmare i kapitel 2.

Den stora fördelen som har identifierats för en teknisk barriär i betong som utförs utan armering, oarmerat, är betongmaterialets beständighet både på kort och lång sikt. Betongmaterialets beständighet påverkas negativt av korrosionsprodukter från korrosion av ingjutet stål där korrosionsprodukter spräcker sönder betongen och efterlämnar genomgående sprickor och porös betong. I de aktuella tidsperspektiven för förvaringsskedet kan antas att korrosion kommer att ske av metalliska material, så som armering, formstag, avfallsbehållare och avfall. För att konstruera en mer beständig betongkonstruktion där risken att korrosionsprodukter påverkar barriären negativt bör tvärgående armering och formstag undvikas. Nackdelen med en betongkonstruktion som utförs oarmerat är dess känslighet för dragspänningar vilket ökar känsligheten för sprickbildning. Detta medför att draghållfastheten för en oarmerad konstruktion ska utnyttjas med försiktighet.

För att konstruera en barriär i betong som ska ha en flödesbegränsad funktion efter förslutning ansätts stränga byggnadstekniska krav och täthetskrav. Täthetskraven ger lastförutsättningar, dimensioneringskrav, för konstruktionen där en yttre vattenlast av 150 mVp behöver omhändertas utan att betongkonstruktionens integritet äventyras. Att uppta de stora utvändiga laster som konstruktionen utsätts för med hjälp av kraftbärande armering är inte rimlig, se avsnitt 4.3. Att armera för ett vattentryck av denna storlek för den beskrivna utformningen innebär väggar och bottenplatta med tvärsnittstjocklek upp till 1,8 m och tvärsnittstjocklek på lock över 3 m som är armerade med dubbla lager 32 mm armering. En rimlighetsbedömning leder till att endast en liten del av de yttre lasterna kan motverkas med armering. Det måste förutsättas att den last som inte konstruktionens ingående delar samt

Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA

kringgjutningsbruk klarar av behöver tas av avfallsbehållarna. Armeringens funktion i en betongkonstruktion under rådande förhållanden blir begränsad till sprickfördelning och kontroll av sprickor under uppförande och driftskede där sprickor uppkommer till följd av tvångsinverkan av temperatur, krympning och uttorkning. Vid dimensionering av sprickfördelning är det möjligt att armera på ett sådant sätt att armering inte genomförs tvärgående, armeringen placeras i konstruktionens insida respektive utsida. Detta skulle medföra att även om armeringen korroderar över tid och spräcker betongen så skulle ändå en kärna av betong finnas kvar som skulle utgöra en oarmerad betongbarriär.

En betongkonstruktion utan armering kan inte motstå invändigt gjuttryck vid kringgjutning av avfallet, vilket ses som en nackdel för konstruktionen. För den oarmerade betongkonstruktionen behöver det lastfall som uppstår vid kringgjutning hanteras så att inte konstruktionen påverkas negativt. Kringgjutning i en oarmerad betongkonstruktion behöver ske etappvis, där antal etapper och deras höjd påverkar lastsituationen, desto fler etapper ju lägre last. Vid kringgjutning i en oarmerad betongkonstruktion behövs ett yttre mothåll användas för att omhänderta gjutlasten. Ett yttre mothåll kan ses som en förspänning där det införs tryckspänningar i betongen, vilket ökar momentkapaciteten hos konstruktionen, vilket är en fördel. Att armera konstruktionen för ett invändigt gjuttryck vid kringgjutning är fördelaktigt för att öka sprickkapaciteten. Dock kan lasten ej omhändertas utan att använda genomgående armering i hörn och eftersom denna typ av armering ska undvikas i konstruktionen begränsas armeringens funktion. Resonemanget leder till att en armerad konstruktion är att föredra med hänsyn till ökad sprickkapacitet, men att vid dimensionering av en oarmerad konstruktion så kan en inre gjutlast hanteras.

Att armera för ett invändigt gastryck i förvaringsskedet ses inte heller som rimligt eftersom vid tidpunkten för utveckling av gas till följd av korrosion så kan vidhäftningen mellan armeringen och betongen förändrats, vilket leder till att full vidhäftning inte kan krediteras vilket i sin tur påverkar konstruktionens lastupptagande förmåga. Att hantera den gas som utvecklas till följd av korrosion behöver hanteras konstruktivt på ett annat sätt än med armering. Samma sak gäller för invändigt svälltryck från avfallet och korrosionsprodukter efter förslutning där uppkomna laster behöver hanteras konstruktivt på ett annat sätt än med armering. Att hantera last från fallande bergblock görs via återfyllnaden som dimensioneras med sådan mäktighet att betongkonstruktionens strukturella integritet inte äventyras av en sådan last.

Vid en utvärdering och val av utformning av teknisk barriär i betong är beständigheten hos betongmaterialet över tid en viktig parameter. Slutsatsen av redovisningen rörande armering framgår att det endast går att kreditera armeringen en lastbärande funktion för belastningar under driftperioden, det går inte att räkna med en statisk funktion hos armeringen efter förslutningen. Detta leder till att de fördelar som finns med en armerad betongkonstruktion inte överväger fördelarna hos en betongkonstruktion som är oarmerad. Att armera för sprickfördelning och kontroll av sprickbredder på grund av tvångsinverkan av temperatur och krympning är rimligt där även en oarmerad tät kärna av betong kan erhållas.

5 Alternativredovisning av teknisk barriär i förvarsutrymme 2BMA

5.1 Teknisk barriär i bentonit

Alternativet förvarsutrymme med teknisk barriär i bentonit består av en betongkonstruktion där avfallskokiller deponeras och kan kringgjutas. I samband med förslutning installeras bentonit, vilken utgör teknisk flödesbarriär efter förslutning.

Alternativet med en bentonitbarriär har i första hand studerats utifrån ett genomförbarhetsperspektiv. Det innebär att ingen detaljerad konstruktion har tagits fram, utan samtliga material, dimensioner och lösningar är förslag som visar på den tekniska genomförbarheten på en övergripande konceptuell nivå.

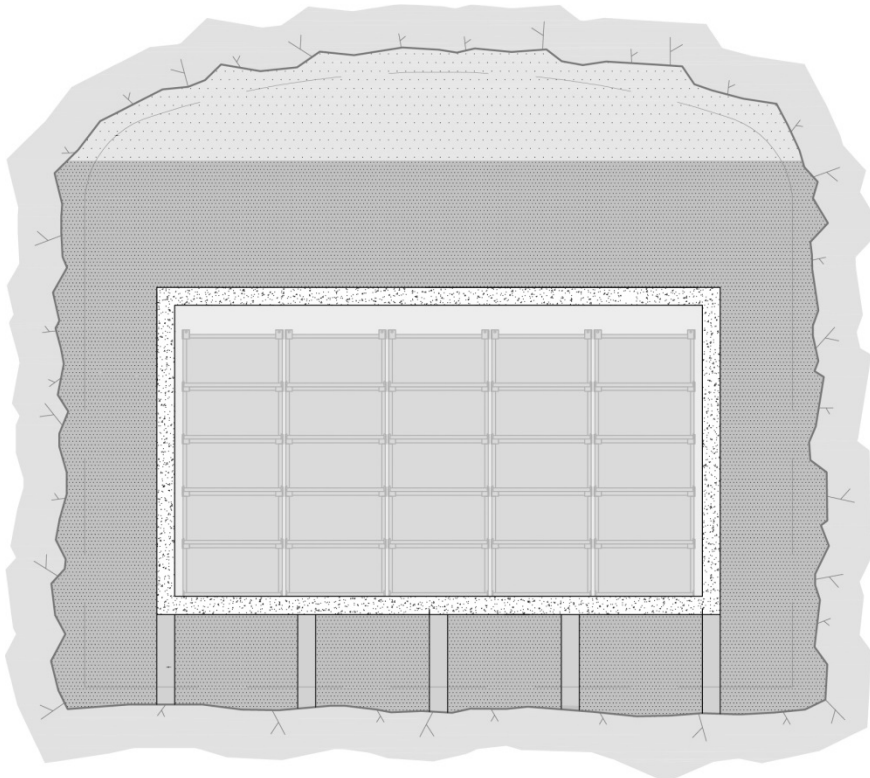
5.1.1 Krav och konstruktionsstyrande förutsättningar

De övergripande krav och konstruktionsstyrande förutsättningar för teknisk barriär för medelaktivt avfall i utbyggnaden beskrivs i kapitel 3. För alternativet bentonitbarriär utgör betongkonstruktionen funktion strålskärmning under drift och utformas så att risker för aktivitetsspridning och persondoser minimeras. I samband med förslutning placeras bentonit runt om betongkonstruktionen. En konstruktionsstyrande förutsättning är att installation av bentonit kan ske så att avfallet omsluts av bentonit. Avfallet som deponeras i en betongkonstruktion antas omslutas av minst 2 m bentonit, där bentoniten efter förslutning utgör den flödesbegränsande barriären. Betongen antas spricka efter förslutning på grund av svälltrycket från den vattenmättade bentoniten.

5.1.2 Utformning

Det studerade alternativet bygger på att avfallet deponeras i en betongkonstruktion som antingen utgörs av en hel konstruktion med mellanväggar eller fristående betongkonstruktioner. Betongkonstruktionens storlek styrs av avfallsmängderna där dimensioner kan tänkas vara ca 15x20x8 m (BxLxH) om konstruktionen utförs som fristående. Avfallet deponeras med en fjärmanövrerad travers i betongkonstruktionen och kan kringgjutas vid behov. Kringgjutning kan ske antingen som driftförslutning eller efter avslutad deponering i hela förvarsutrymmet. Dimensioner för betongkonstruktionens väggar och bottenplatta ansätts till 500 mm, vilket är en tillfredsställande tjocklek ur strålskärningssynpunkt under drift samt även lämplig tjocklek att hantera i uppförandet. För takbjälklag, betonglock föreslås en dimension på 550 mm detta för att bära bentonitens tyngd vid förslutning.

Betongkonstruktionen placeras på pelare vilket möjliggör installation av högkvalitativ bentonit runt om betongkonstruktionen i samband med förslutning, se Figur 5-1 för en skiss över utformning.



Figur 5-1. Illustration för 2BMA med bentonit under förvaringsskede.

Pelarna på vilken betongkonstruktionen placeras på uppförs så att de kan lämnas kvar i bergssalen efter förslutning. Pelarna behöver vara av ett beständigt material, exempelvis granit. Lämpliga pelardimensioner kan vara 750x750 mm dock krävs mer noggranna beräkningar och dimensionering av betongkonstruktion, pelarkonstruktion och bentonitlösning. Bergssalen behöver utföras med hög jämnhet på golv så bentonitinstallation kan genomföras. Dräneringslösning för alternativet på pelare innebär att bergkonstruktionen utförs med ett svagt lutande golv mot dräneringsdiken som samlar upp inläckande grundvatten.

Val av bentonit och metod för installation påverkar densitet och svälltryck hos bentoniten. Det föreslås att högkvalitativ bentonit pressade i block används i hela bergssalen. Volymen som är svåra att fylla med block fylls med pelletter. Blocken har fördelen att hög densitet kan erhållas och att det ger hög kapacitet avseende hydraulisk konduktivitet och svälltryck.

5.1.3 Dimensionering och laster

Efter förslutning tillåts betongkonstruktionen att spricka till följd av bentonitens svälltryck.

Betongkonstruktionen dimensioneras för:

- Last från avfallet och avfallsbehållare.
- Last från eventuell kringgjutning.
- Last från bentoniten som placeras mellan bergvägg och betongkonstruktion.
- Last från bentoniten som placeras på betongkonstruktionens tak vid installation.

När svälltrycket utvecklas i bentoniten kommer det att påverka betongkonstruktionen och avfallet. Betongkonstruktionen är inte dimensionerad för laster från bentonitens svälltryck, vilket innebär att sprickor kommer att uppstå i betongkonstruktionen då bentoniten vattenmättas. Analyserna visar att när brott, deformationer, inträffar i någon del av avfallet kommer detta att fortplanta sig till konstruktionen som förlorar sitt mothåll från avfallet. Detta innebär att stora delar av betongkonstruktionen kommer spricka när brott inträffar. Två egenskaper hos avfallet är avgörande för hur betongkonstruktionen påverkas, nämligen

Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA

avfallets styvhet och tryckhållfastheten hos avfallskokillerna. Även dimensioner på spalter med kringgjutningsbruk har betydelse om kringgjutning väljs att genomföras.

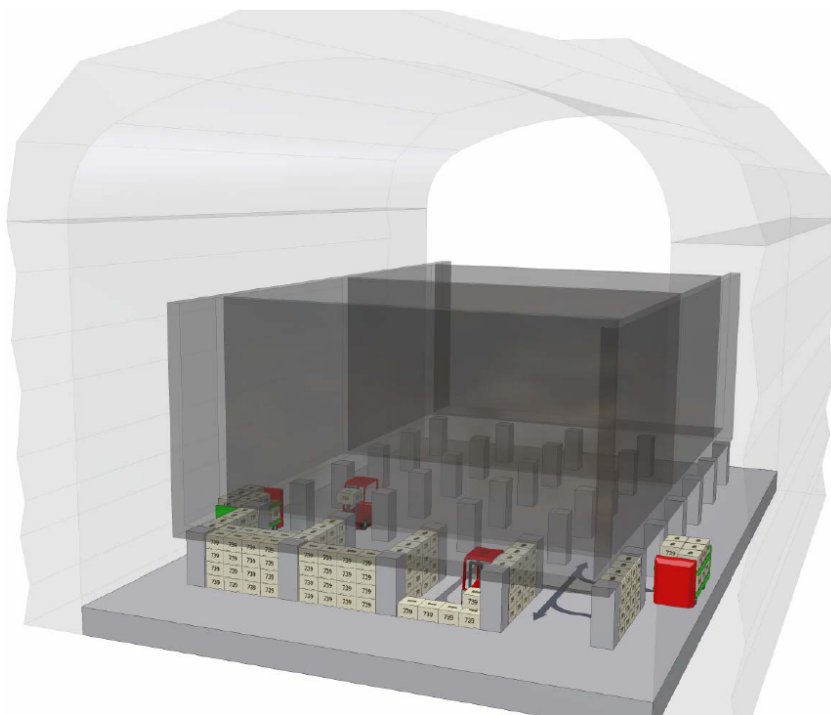
5.1.4 Utförande

Uppförandet av betongkonstruktionen kan utföras med konventionell produktionsteknik där formsättning med formsteg tillåts samt fogar mellan väggsektioner och sektioner av bottenplatta tillåts. Betongkonstruktionens bottenplatta utförs som en platta på pelare samt med platsgjutna väggar. Locket på betongkonstruktionen utförs vid förslutning för att möjliggöra installation av bentonit.

Betongkonstruktionen vilar på pelare som utförs i ett beständigt och så sprickfritt material som möjligt exempelvis granit. Granitpelarna föreslås sågas i önskad dimension, i beskriven utformning antas pelardimensioner på 750x750 mm. Bergbotten utgörs av en konstruktion med hög jämnhet och föreslås att vajersågas. Vajersågning kan anses vara en beprövad teknik dock kan produktionstakten antas vara lägre än normal bergdriftscykel, samt att kostnaden är högre än konventionell bergproduktion.

Utrymmet mellan berget och betongfacken återfylls med block av bentonit. Volymen som är svåra att fylla med block fylls med pelletar. Installation av bentonitblocken behöver genomföras via fjärrmanövrerad teknik, där det föreslås användas autonoma fordon. Installationen under betongkonstruktionen är det som anses begränsande vad gäller genomförbarheten, på grund av den komplicerade placeringen av block mellan pelarna, se Figur 5-2. När blocken under facken är placerade, installeras bentonitblock i det utrymmet mellan bergväggen och betongkonstruktionernas långsidor samt mellan betongkonstruktionens kortsidor, i de fall betongkonstruktionen är utförd som fristående lådor. Slutligen installeras block till en höjd på 2-5 m ovanför betongkonstruktionerna. Denna installation anses vara något mindre komplicerad än installationen mellan pelarna. Att installera bentonitblock under, vid sidan av och ovan betongkonstruktionen är tidskrävande där en rimlig installationstid är 4-7 minuter per block.

Under installation behöver inläckage av grundvatten beaktas som en styrande förutsättning vilket kan leda till för tidig svällning av bentonit och rörelser hos bentonitpelarna. Återfyllnadstakten av bentonit kommer vara avgörande för genomförbarheten. Återfyllnaden behöver ske med en sådan hastighet att problem med inläckande vatten inte uppstår samt att hanteringen av vatteninflödet är fullgod.



Figur 5-2. Illustration av installation av bentonitblock under betongkonstruktion.

5.1.5 Säkerhet under drift

Det medelaktiva avfallet, mestadels i form av betong och metall placerat i betong- och plåtkokiller kommer att deponeras i en betongkonstruktion som tillgodoser krav på strålskydd. Deponering av avfallet kommer att ske med fjärrmanövrerad travers. Betongkonstruktionen ska fylla en funktion som strålskärm under drift och utformas så att risker för aktivitetsspridning och persondoser minimeras.

5.1.6 Säkerhet efter förslutning

Bentonit har goda flödesbegränsande egenskaper. Säkerheten efter förslutning för teknisk barriär i bentonit avgörs av den stora mängd bentonit som installeras, vilket begränsar det advektiva flödet av grundvatten genom förvarsutrymmet. Konzeptets säkerhet över tid avgörs av att bentonitens egenskaper vidmakthålls över en tillräcklig lång tidsperiod. Den antagna tjockleken för bentoniten har inte verifierats genom analys, men antas vara tillräckligt tjock för att det ska finnas marginal för erosion av bentonit samt eventuell interaktion mellan betong och bentonit samt påverkan från saltvatten. Förenklade radionuklidtransportberäkningar har genomförts för att belysa konceptet ur ett radionuklidtransportperspektiv, se kapitel 6.

5.1.7 Utvärdering och slutsatser

Alternativet teknisk barriär i bentonit är ett alternativ som är utvecklat till konceptuell nivå. Det finns osäkerheter, kopplat till alternativet, hur de beräknade mängderna bentonit ska kunna installeras i ett förvarsutrymme med tvärsnittet 20x16 m som är ca 270 m långt med en så pass hög installationstakt att det inläckande grundvattnet ej skapar oönskade händelser som påverkar installationen. Inläckande vatten kan leda till förtidig svällning av bentonitblocken med ras av bentonitstaplar till följd. SKB har goda erfarenheter av att installera bentonit men då vid andra förutsättningar i tunnlar med andra dimensioner och layout. För ett 2BMA med bentonit måste system utvecklas för att omhänderta inläckande grundvatten, där bergssalens tvärsnitt och längdsektion är stora. Vidare behöver teknikutvecklingsinsatser genomföras för

Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA

att utveckla system för att hantera installation, logistik och installationshastighet av bentonit, dels autonoma fordon men även system för att hantera den precision som krävs vid installation av block mellan pelare i bergssalen. Alternativet medför också kostnader dels i utvecklingsinsatser men även med hänsyn till produktionskostnader samt materialkostnad avseende den mängd bentonit som åtgår för att fylla förvarsutrymmet.

Att grundlägga en betongkonstruktion på pelare som lämnas kvar i bergssalen efter förslutning kräver utredningar, analyser och utvecklingsinsatser. Detta med hänsyn till att pelarna ska vara beständiga och utföras sprickfria så att de inte utgör en flödesväg för vatten in till avfallskokillerna där bentonitbarriären kortsluts.

Gas till följd av korrosion av avfall och behållare behöver hanteras i bentonitbarriären. Att hantera den gas som utvecklas kan antingen ske genom att gasen tar sig ut genom bentoniten eller att en konstruktion införs i bentoniten som hanterar den gas som utvecklas. En kritisk osäkerhet är gstrycket för genombrott, dvs det tryck där bentoniten öppnar sig och gasen kan ta sig ut. Forskningsinsatser krävs för att öka kunskapen kring gastransport i bentonit samt att utvecklingsinsatser behövs för att öka förståelse för förvarskoncept där avfallsbehållare med låg och medelaktivt avfall är helt omslutna av bentonit.

5.2 Teknisk barriär i betong och bentonit – silokonstruktion

Alternativet teknisk barriär i betong och bentonit avser en silokonstruktion för förvaring av medelaktivt avfall i utbyggd del av SFR. Siloalternativet bygger på material, utformning och utförande likt siloförvaret i befintligt SFR, som för övrigt innehåller avfallskollin med den högsta radioaktiviteten i befintligt SFR.

5.2.1 Krav och konstruktionsstyrande förutsättningar

De övergripande krav och konstruktionsstyrande förutsättningar för teknisk barriär för medelaktivt avfall beskrivs i kapitel 3. Dock förutsätts den yttre vattenlasten vara högre för en silokonstruktion på grund av höjdpliceringen i berget där vattenlasten utökas från ca 150 mVp till 180 mVp, se vidare avsnitt 5.2.3.

Siloalternativet består av en kombinerad betong- och bentonitbarriär, där både betong och bentonit tillskrivs långsiktiga barriärfunktioner. Barriärer som bidrar till säkerheten efter förslutning är avfallsform, avfallsbehållare i betong, betongkonstruktion och kringgjutningsbruk, bentonit, återfyllnadsmaterial, pluggar samt omkringliggande berg. Barriärer under driftskedet är avfallsform och avfallsbehållare i betong. Betongkonstruktionen utgör strålskydd under driftskedet och utformas så att risker för aktivitetsspridning och persondoser minimeras.

Under driftskedet och vartefter avfall deponeras i silon kringgjuts dessa med ett för ändamålet utvecklat kringgjutningsbruk. Det innebär att viss tillslutning av förvarsutrymmet sker redan under driftskedet. Kringgjutningsbruket anpassas efter de rådande förhållandena i silon, och egenskaper såsom tryckhållfasthet, gasgenomsläpplighet samt utfyllnadsförmåga ska därför tillgodoses för att kringgjutningen ska upprätthålla sin funktion.

5.2.2 Utformning

Den principiella utformningen av siloförvaret i befintligt SFR visas i Figur 5-3.

Siloalternativet i ett utbyggt SFR bygger på samma princip som för befintlig siloförvar; att förvaret omfattas av ett vertikalt cylindriskt förvarsutrymme som inryms av en fristående cylinder uppförd i armerad betong. Utrymmet mellan betongcylinder och omkringliggande berg fylls ut med bentonitlera.

Betongcylindern utgör själva förvaringsutrymmet och består av bottenplatta, yttervägg, innerväggar samt lock i armerad betong. För att inrymma framtida avfallsvolym behöver betongcylindern utföras med en yttre diameter på ca 30,5 m eller utföras till en höjd av ca 62 m. Detta kan jämföras med befintlig silokonstruktion vars höjd är ca 50 m och diameter ca 30 m. Bottenplattan, med tjockleken 900 mm, vilar på en sandinblandad bentonitbädd. Ytterväggen uppförs till en tjocklek av på 800 mm. Cylindern är även försedd med 200 mm tjocka innerväggar som placeras i ett rutmönster och skapar de så kallade schakten för förvaring av avfallet. Avståndet mellan innerväggarna är 2,55 m.

Utrymmet mellan betongcylinder och omkringliggande berg är nominellt 0,85 m bred och fylls med bentonit. Bentonitinstallationen förväntas ske såsom i befintlig silo och beskrivs därmed inte närmare här.



Figur 5-3. Siloförvaret i befintligt SFR under driftskedet.

Förslutningsstrategin för befintlig silo beskrivs i Luterkort et al. (2014). Här beaktas endast silotoppförslutningen som behöver konstrueras och anpassas för förväntat materialinnehåll i avfallet och förväntad mängd gas från nedbrytning av avfall. Detta beaktas vidare genom beräkningar och analyser vid framtagning av en detaljkonstruktion. Silotoppförslutningen för befintlig silo utgör underlag för arbetet, där återfyllnaden konstrueras för att avleda gas och förhindra tryckuppbyggnad i silon, samt lokalt verka som mothåll för plugg och skapa hydraulisk kontrast mellan teknisk barriär och omkringliggande berg. Kringgjutet avfall görs ända upp till överkant på silon och tillgodoser därmed strålskydd inför förslutningsarbetet. På det kringgjutna avfallet installeras ett tunt sandlager vilken utgör takbädd varpå ett armerat betonglock gjuts. Det armerade betonglocket förses med sandfyllda rör genomföringar som tillgodoser gasavledning. Ovan betonglocket installeras sedan ytterligare ett sandlager varpå en packad sand- och bentonitblandning installeras. Bentonitlagret skyddas i sin tur av en oarmerad betongplatta och ovanpå det läggs packad fyllning som toppas med cementstabiliserad sand.

5.2.3 Dimensionering och laster

Betongcylindern, som utgör barriär efter förslutning, ska motstå belastningar och deformationer utan att krav på täthet äventyras. De huvudlaster som betongcylindern dimensioneras för är enligt följande:

- Egentyngd av avfall
- Gjuttryck från kringgjutning av avfall
- Svälltryck från bentonit
- Ensidigt vattentryck i tidigt skede efter förslutning
- Inre gastryck på grund av bildandet av gas vid korrosion av metall

Vid dimensionering av betongcylindern kommer svälltrycket från vald bentonit och det yttre ensidiga vattentrycket att vara styrande. Avfallets egenskaper och processer efter förslutning kommer även att ha betydelse, där design av kringgjutningsbruk och lock behöver anpassas till gasproduktion från nedbrytning av avfall.

Val av bentonit, dess egenskaper samt metod för installation påverkar vilket svälltryck som bentoniten kommer att belasta betongcylindern med. Bentoniten som omsluter dagens silo har

Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA

ett förhållandevis lågt svälltryck som uppgår till ca 700 kPa. Detta kan jämföras med högkompakterade bentonitblock vilket kan ge ett svälltryck, vid full bevätning, på mer än 5 MPa. Skulle bentonitpellets användas i större omfattning blir svälltrycket lägre då pellets har en lägre densitet än block. Betongcylindern kommer även att utsättas för ett ensidigt vattentryck, där trycket är beroende av siloförvarets höjdplicering i berget. Då betongcylinderns botten antas hamna på 180 m djup under havsnivån förväntas vattentrycket bli 1,8 MPa.

Att genomföra en cirkulär konstruktion är ur ett byggnadstekniskt perspektiv gynnsam för att ta upp yttre last av vatten- och svälltryck, då de yttre lasterna kan bäras genom rent tryck i betongen. För att begränsa sprickvidder och för att klara de belastningar som uppstår under uppförandet samt under driftskedet behöver betongcylindern även armeras.

5.2.4 Utförande

Bottenplattan platsgjuts på en bottenbädd enligt metoden platta på mark och med en formsättning av traditionell gjutform. Bottenbädden utgörs av en packad sandinblandad bentonitbädd, där hänsyn behöver tas till sättningar så att sprickor undviks i betongen.

Vid installation av bentonit, både den sandinblandade bentonitbädden och bentoniten mellan berg och cylindervägg, ska bentoniten skyddas mot vatten och fukt för att förhindra oönskad svällning. Detta görs lämpligast genom tätskikt och avledning av kvarvarande vatten efter berginjektering genom ett dränagesystem.

Betongcylinderns väggar delas in i yttervägg och innerväggar, där utförandetekniken anpassas så att genomgående formstag i yttervägg undviks. Ett flertal utförandemetoder har studerats där gjutning av yttervägg kan utföras med glidformsgjutning, vilket är en metod där en lågform glider uppåt med en konstant hastighet samtidigt som gjutning och armering sker. Glidformsgjutning är en relativ snabb men arbetskrävande metod, då gjutning och armering sker kontinuerligt och dygnet runt. Glidformsgjutning var även den metod som användes vid gjutning av betongcylinderns väggar i befintligt SFR. Alternativet till att använda glidform är att använda en klätterform, där väggen gjuts i etapper vilket innebär att utförd gjutetapp härdras innan formen lyfts till nästa nivå. Klätterformen anses som mer ekonomisk än glidform och används där tidplan inte är avgörande eller där gjutfogar tillåts i konstruktionen.

Gjutfogar bör förses både med förtagningar och med fogband, där fogband kan utföras i beständiga material såsom koppar.

5.2.5 Säkerhet under drift

Det medelaktiva avfallet, mestadels i form av sopor och skrot i betong- och plåtkokiller kommer att deponeras i betongcylindern som tillgodoser krav på strålskydd. Deponering av avfallet kommer att ske med fjärrmanövrerad travers på ett sådant sätt att ojämn belastning från staplade avfallsenheter undviks. Betongcylindern har en strålskyddande funktion under drift och utformas så att risker för aktivitetsspridning och persondoser minimeras. Strålningsnivån begränsas i utrymmet ovan silotoppen genom att placera ut strålskyddslock över schakten efter deponering.

Under driftskedet ska installerad bentonit hållas fri från inläckande vatten för att förhindra att ett svälltryck skapas under driftskedet som skadar betongcylindern. Detta görs genom att tillgodose avledning av vatten.

5.2.6 Säkerhet efter förslutning

Silokonstruktionen har hydrauliska, mekaniska och kemiska barriärfunktioner. Säkerheten efter förslutning styrs av den stora mängd bentonit som omger betongcylindern. Bentoniten tillgodoser flödesbegränsningen efter förslutning och bidrar därmed till att begränsa den advektiva transporten genom avfallet. Den sandinblandade bentonitbädden tillskrivs i första hand en mekanisk funktion.

Betongcylindern, kringgjutningsbruket, avfallsformen samt avfallsbehållarna i betong utgör tillsammans det mekaniska mothållet för svälltrycket från vattenmättad bentonit, tryck från gasbildning samt last av egenvikt. Genom betongens pH-buffrande funktion hålls gasproduktionen på en låg nivå samtidigt som goda sorptionsegenskaper erhålls. Förutom betongens egenskaper utformas och konstrueras silotoppförslutningen i syfte att avleda gas, förhindra tryckuppbyggnad i betongcylindern samt undvika gasdriven advektion. Toppförslutningen bidrar även till att verka som mekanisk mothåll för plugg.

I kapitel 6 belyses konceptet kortfattat ur ett radionuklidtransportperspektiv.

5.2.7 Utvärdering och slutsatser

Alternativet teknisk barriär i betong och bentonit (silokonstruktion) bygger på material, utformning och utförande likt befintligt siloförvar i SFR. Fördelarna är därmed att det finns en silokonstruktion som är bevisat genomförbar och har tidigare studerats i analysen av förvarets säkerhet efter förslutning. Ett antal förändringar behöver dock genomföras för ett nytt siloförvar kopplat till dagens gällande krav och konstruktionsförutsättningar, däribland avfallsmängd, förläggingsdjup samt övriga normer och regelverk för byggnadskonstruktion.

Rent byggnadstekniskt är en silokonstruktion gynnsam för att ta upp yttre last då lasterna kan bäras genom rent tryck i betongen, dock finns begränsning i hantering av inre laster. Vidare medger en cirkulär konstruktion ingen flexibilitet vid eventuellt förändrade avfallsvolymer. Det är inte heller möjligt att utnyttja en cirkulär konstruktion optimalt för deponering kopplat till dimensionerna på avfallsbehållarna.

Att uppföra en silokonstruktion är ett omfattande arbete som innebär hög produktionskostnad och lång byggtid oavsett val av utförandeteknik. Kostnader som uppstår för en silokonstruktion är dels materialkostnader för betong men även för bentonit. Vidare fås produktionskostnader för en betongsilo men även produktionskostnader för att installera bentonit. Betongcylindern måste även utföras fullt armerad för att klara de laster som uppstår under uppförande och efter förslutning, vilket påverkar konstruktionens täthet och beständighet efter förslutning. Slutsatserna baseras på de erfarenheter som SKB har erhållit från att uppföra befintlig silo.

Vald plats för SFR-utbyggnad och djup i berget kan innebära svårigheter med att finna en lämplig plats för ett nytt vertikalt siloförvar med hänsyn till de potentiella horisontella vattenförande strukturer som kan förekomma i området. Något som i större utsträckning kan undvikas med ett horisontellt förvarsutrymme.

6 Säkerhet efter förslutning

Kompletterande förenklade radionuklidtransportberäkningar har genomförts för att belysa effekten av alternativa utformningar av 2BMA med bentonitbarriärer ur ett radionuklidtransportperspektiv (Åstrand och Lindgren 2016). Inga kompletterande hydrologiska beräkningar har gjorts. I stället har det ansetts rimligt att anta att radionuklidflödet från 2BMA (med en bentonitåterfyllnad) kommer att vara dominerat av diffusion, då en bentonitåterfyllnad skulle ge ett mycket lågt vattenflöde i förvarsutrymmet.

De förenklade beräkningarna utfördes för beräkningsfallet med global uppvärmning som är huvudberäkningsfallet i analysen av säkerhet efter förslutning SR-PSU (SKB 2015). Med det förenklade antagandet att transport enbart sker via diffusion indikerar beräkningarna att en väl fungerande bentonitbarriär skulle kunna reducera radionuklidutsläppet från 2BMA med en faktor 100 för flera av de radionuklider som ger signifikanta dosbidrag från 2BMA t ex Mo-93, Cl-36, C-14 och Ca-41.

Bidraget från 2BMA till maxdosen i SR-PSU (SKB 2015) är omkring 8,4 % (av 7,7 μSv). Effekten av en ändring av barriärsystemet till bentonitbarriär i 2BMA är givetvis begränsad inom denna andel av dosbidraget och dosen från 2BMA skulle således kunna sänkas från ungefär 0,6 till 0,006 μSv . En silokonstruktion kan förväntas resultera i ett ytterligare minskat radionuklidutsläpp, speciellt på längre sikt, eftersom det är en mer robust konstruktion.

7 Utvärdering av alternativ

Utbyggnaden av SFR har beaktat BAT när förvarsutrymme och barriärer har utformats för olika typer av avfall, för vilket avfall som accepteras för slutdeponering samt vid utformning av en deponeringsstrategi så att en optimering möjliggjorts utifrån strålsäkerhet. Alla dessa åtgärder syftar till att förhindra och fördröja utsläpp så att de blir så låga som rimligen är möjligt.

För- och nackdelar med alternativ teknisk barriär i betong beskrivs i tidigare avsnitt 4.7. Utvärdering och slutsatser för alternativ teknisk barriär i bentonit respektive kombination av betong och bentonit (silokonstruktion) beskrivs i avsnitten, 5.1.7 och 5.2.7. Utvärderingen mellan alternativen presenteras nedan.

En av SFR:s säkerhetsprinciper är begränsning av mängd aktivitet av långlivade nuklider, vilket för 2BMA innebär att aktiviteten i avfallskollin är begränsad. Deponeringsstrategin är att avfall innehållande liten mängd aktivitet placeras i BLA. Avfall med högre aktivitetsinnehåll placeras i BMA och avfall som kräver ännu bättre barriärer placeras i befintliga silon, där de mest kvalificerade barriärerna är installerade. Det rivningsavfall som planeras att slutförvaras i ett framtida förvarsutrymme för medelaktivt avfall kommer att innehålla en begränsad mängd aktivitet, vilket är i samma storleksordning som i 1BMA, vilket är lägre än den aktivitet som slutförvaras i befintliga silon.

Vid utformning av den tekniska barriären i förvarsutrymmet för medelaktivt avfall har erfarenheter tagits tillvara från uppförande och drift av befintligt SFR. Erfarenheter grundar sig på de genomförda tillståndsbedömningar, men även de konstruktionstekniska svagheter som över tid som identifierats, se närmare beskrivning kapitel 2.

2BMA med betongkonstruktion där betongen utgör barriär efter förslutning, tillsammans med återfyllnadsmaterial och pluggar, är ett alternativ som har analyserats i en säkerhetsanalys. Förändringar och förbättringar i konstruktionen för ett 2BMA med betong har genomförts för att ge bra egenskaper hos betongbarriären efter förslutning, där risken för att flödesvägar uppstår i betongen minimeras samt att bättre förutsättningar ges för att hantera risken för sprickbildning, se avsnitt 4.7. Vidare visar dimensioneringen att det inte är rimligt att tillskriva armering en statisk funktion efter förslutning, vilket föranleder en utformning där betongkonstruktionen konstrueras utan tvärgående armering, vilket också är positivt för beständigheten hos betongen. 2BMA med betongkonstruktion är förutom en väl anpassad konstruktion för den aktivitet och det avfall som ska deponeras däri även en kostnadseffektiv och flexibel utformning.

2BMA med installerad bentonitbarriär är tidigare inte analyserat i en säkerhetsanalys, vilket innebär att kunskapen behöver förbättras. Ett behov av utveckling ses för att beskriva de processer som sker efter förslutning, exempelvis uttransport av gas. Det behövs även teknikutvecklingsinsatser för att möjliggöra en tillförlitlig och rationell installation av de mängder bentonit som krävs. 2BMA med bentonitbarriär är det dyraste utredda alternativet. När avvägning görs mellan ökad skyddsförmåga för deponerad mängd aktivitet och kostnad dras slutsatsen att det inte är rimligt att uppföra ett 2BMA med bentonitbarriär.

Silon i befintligt SFR är ett beprövat alternativ där det finns erfarenheter från uppförande och drift samt där alternativet tidigare har analyserats i säkerhetsanalyser. Befintlig silo har de mest kvalificerade barriärerna där både betongkonstruktion och bentonit har barriärfunktioner efter förslutning. I silon deponeras det avfall som innehåller störst mängd aktivitet. I det planerade förvarsutrymmet för medelaktivt avfall kommer radioaktivt avfall att deponeras med aktivitet i samma storleksordning som i 1BMA. Att uppföra en silo medför en högre kostnad dels vad gäller produktionskostnader men även materialkostnader i jämförelse med att uppföra ett 2BMA med en betongkonstruktion. Att motivera den högre kostnad som en silo innebär är inte rimligt med hänsyn till att skyddsförmågan för ett 2BMA med betongkonstruktion är en väl avvägd utformning i relation till radionuklidutsläpp.

Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA

Mot bakgrund av de resonemang och slutsatser som presenteras i rapporten har ett nytt BMA (2BMA) med betongkonstruktion som utgör betongbarriär efter förslutning valts som huvudalternativ för ett nytt förvarsutrymme för medelaktivt avfall.

8 Huvudmotiv till vald utformning

Vid utformningen av de tekniska barriärerna i det planerade förvarsutrymmet för medelaktivt avfall i utbyggd del av SFR har BAT tillämpats som skapar förutsättningar för en säker drift. Den utformning som har valts, 2BMA med betongkonstruktion, innebär i stora delar beprövad och tillgänglig teknologi samt att kraven för säker drift samt säkerhet efter förslutning (riskkriteriet i SSMFS 2008:37) uppfylls. Kostnaden att uppföra 2BMA med betongkonstruktion bedöms rimlig med hänsyn till utvecklingsinsatser, uppförande samt att det är en utformning som möjliggör säker drift och säkerhet efter förslutning.

Även vid materialval har BAT beaktats. Betong används genomgående för medelaktivt avfall eftersom det ger ett fullgott strålskydd under drifttiden och cementbaserat bruk/betong bidrar till att begränsa radionuklidens rörlighet och leder till en alkalisk miljö som begränsar korrosionshastigheten hos metall och även den mikrobiella aktiviteten.

I en skälighetsavvägning mellan de presenterade alternativen, påvisar 2BMA med betongkonstruktion kravuppfyllelse. Alternativen 2BMA med bentonit samt silokonstruktion är dyrare alternativ vilket ej kan motiveras då strålsäkerheten förbättras marginellt.

Huvudmotiv till vald utformning, 2BMA med betongkonstruktion:

- Betongkonstruktionen i 2BMA ger erforderlig strålskärning samt underlättar säker hantering och förvaring under drift.
- Betongkonstruktionen är en barriärlösning som ger skyddsförmåga efter förslutning och ett tillräckligt lågt radionuklidutsläpp för den mängd aktivitet som ska omhändertas.
- Betongkonstruktionen kan uppföras till stor del med beprövad och tillgänglig teknik, där prestanda och kvalitet kan uppnås genom att goda möjligheter till kontroll finns.
- Betongkonstruktionen ger goda förutsättningar till att fastställa barriärlösningens initialtillstånd samt analysera och förutsäga barriärens framtida utveckling.
- Betongkonstruktionen är en kostnadseffektiv barriärlösning där god flexibilitet finns.

Ett nytt BMA med en betongkonstruktion, är en väl avvägd, kostnadseffektiv och optimerad konstruktion i förhållande till eftersträvd skyddsförmåga för det medelaktiva avfallet som ska deponeras där önskad kvalitet och prestanda kan uppnås hos konstruktionen.

9 Fortsatt arbete

Betongkonstruktionen i 2BMA har utvecklats med utgångspunkt från krav och konstruktionsstyrande förutsättningar samt de många erfarenheter från uppförande och drift av befintlig anläggning med dess ingående komponenter och konstruktioner. För att betongbarriären ska uppfylla förväntad långsiktig funktion krävs stor noggrannhet i val av material och metoder för konstruktionens uppförande och utformning. I detta kapitel tydliggörs de övergripande utvecklingsbehov som syftar till att utveckla konstruktionens utformning och uppförandemetoder för att erhålla optimala egenskaper hos den tekniska barriären i 2BMA med hänsyn till funktion, men även med avseende på lastförutsättningar. Utvecklingen styrs och genomförs inom SKB:s teknikutvecklingsprogram för utbyggnad av SFR och är en stegvis process som löper under samtliga projektskedet, se även avsnitt 1.3.

För betongkonstruktionen i 2BMA utgör material, konstruktion och produktionsmetod enskilda delar, men som tillsammans ska fastställas som ett system och utgör teknisk barriär efter förslutning. Den tekniska mognadsgraden för de ingående enskilda delarna kan ses som

Redovisning av alternativa utformningar av bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA

hög. Goda referenser till anläggningar med liknande material, konstruktionslösningar, samt produktionsmetod finns. Dock vid beaktande av de enskilda delarna som ett system kan det bedömas att den tekniska mognadsgraden är lägre, dvs det finns få liknande referensobjekt. Detta beror uteslutande på att material, dimensionering, konstruktion och uppförande är helt anpassad efter dess funktion i en slutförvarsanläggning. Därav ses behovet av att verifiera material, konstruktion och produktionsmetod gemensamt som ett system, vilket möjliggör kravställning på entreprenör samt bidrar till att minimera risker vid tidpunkt för uppförande. Vid tidpunkt för uppförande av betongkonstruktionen i 2BMA ska byggnation ske med utprovade och utvärderade material samt med produktionsteknik som är etablerad och beprövad.

10 Referenser

Boverket, 2013. Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder). Karlskrona: Boverket. (BFS 2013:10, EKS 9)

Luterkort D, Nyblad B, Wimelius H, Pettersson A, Aghili B, 2014. SFR förslutningsplan. SKBdoc 1358612 ver 1.0. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Persson D, 2014. Slutförvarskapacitet i utbyggt SFR. SKBdoc 1360513 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SIS, 2010. SS-EN 1990: Eurokod – Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk. Stockholm: Swedish Standards Institute.

SIS, 2013. SS-EN 206:2013: Betong – Fodring, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse. Stockholm: Swedish Standards Institute.

SKB, 2015. Radionuclide transport and dose calculations for the safety assessment SR-PSU. Revised edition. SKB TR-14-09, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Åstrand P-G, Lindgren M, 2016. Radionuklidtransportberäkningar för alternativ utformning av 2BMA med bentonitbarriär. SKBdoc 1536396 ver 1.0 Svensk Kärnbränslehantering AB.