

# Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

## Sammanfattning

I denna PM redovisas den förväntade utvecklingen av egenskaperna hos betongbarriärerna i 1BMA och 2BMA och den inverkan utvecklingen förväntas ha på barriärernas hållfasthet gentemot de laster som kommer att verka under de första 20 000 åren efter förslutning. För vardera förvarsdelen redovisas förväntad degradering och hållfasthetskrav för konstruktionens fyra komponenter: bottenplatta, ytterväggar, mellanväggar/innerväggar samt lock.

Utgångspunkten för analyserna rörande 1BMA som presenteras i denna rapport, är att betongkonstruktionen i 1BMA förstärks i enlighet med de åtgärder som tidigare redovisats<sup>1 2</sup>. Dessa förstärkningar dimensioneras för att hantera lasten från det ensidiga vattentrycket från 85 meters vattenpelare som skulle kunna uppstå i samband med återmättnad av förvaret. Interna laster från exempelvis gasbildning eller tryck från svällande avfall förväntas inte påverka betongkonstruktionen, då avfallet i 1BMA inte behöver kringgjutats för att säkerställa betongkonstruktionens strukturella integritet samt då ett system för uttransport av bildade gaser planeras att installeras på samma sätt som i 2BMA.

Utgångspunkten för analyserna rörande 2BMA som presenteras i denna rapport, är att betongkonstruktionen i 2BMA uppförs i enlighet med den utvecklade konstruktionen<sup>3</sup>. Konstruktionen har där dimensionerats för att hantera lasten från det ensidiga vattentrycket från 150 meters vattenpelare som skulle kunna uppstå i samband med återmättnad av förvaret. Interna laster från exempelvis gasbildning eller tryck från svällande avfall förväntas inte påverka betongkonstruktionen, då avfallet i 2BMA inte behöver kringgjutats för att säkerställa betongkonstruktionens strukturella integritet samt då ett system för uttransport av bildade gaser planeras att installeras.

Analyserna baseras på studier av inverkan av betongdegradering och armeringskorrosion på förvarskonstruktionernas hållfasthetsegenskaper.

Det bör slutligen beaktas att de analyser som redovisas i denna PM utgör en möjlig lösning för att säkerställa förvarets säkerhet efter förslutning. SKB planerar att fortsätta studierna av betong-

<sup>1</sup> Elfving M, 2015. Huvudrapport – handlingsalternativ och åtgärder i 1BMA i SFR1. SKBdoc 1440857 ver 2.0. Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

<sup>2</sup> Elfving M, Mårtensson P, Pettersson A, von Schenck H, 2016. Fördjupad redovisning av förstärkningsmetod för betongkonstruktionen i 1BMA i SFR1. SKBdoc 1534701 ver 2.0, Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

<sup>3</sup> Elfving M, Lundin M, von Schenck, 2017. Vidareutvecklad utformning av förvarsutrymmet 2BMA i SFR3. SKBdoc 1569813 ver 1.0. Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

konstruktionerna i 1BMA och 2BMA och deras påverkan på säkerheten efter förslutning, vilket kan leda till förändrade lösningar.

Följande slutsatser dras:

### **1BMA**

**Bottenplatta:** Bottenplattan kommer långsiktigt att utsättas för lasten från det deponerade avfallet. I nuvarande skick kan bottenplattan inte hantera ett dimensionerande ensidigt vattentryck motsvarande 85 meter vattenpelare (mvp) motsvarande 0,85 MPa. Det föreslagna förstärkningsalternativet, injektering av stenbädden under betongkonstruktionen med ett cementbaserat material, innebär att bottenplattan utöver den ensidiga vattenlasten även kommer att motstå den långsiktiga lasten från avfallet under de första 20 000 åren efter förslutning.

- **Mellanväggar:** Mellanväggarna kommer långsiktigt att utsättas för den kombinerade lasten från locket och jordtrycklasten från 6 meters återfyllnad. Analysen visar att mellanväggarna med hänsyn tagen till den förväntade hållfasthetstillväxten under tiden fram till förslutning kan förväntas bära denna last under de första 20 000 åren efter förslutning.
- **Ytterväggar:** Ytterväggarna kommer långsiktigt att utsättas för den kombinerade lasten från locket och jordtrycklasten från 6 meters återfyllnad. Analysen visar att ytterväggarna kommer att kunna bära denna last under de första 20 000 åren efter förslutning.
- **Lock:** Locket kommer långsiktigt att utsättas för jordtrycklasten från 6 meters återfyllnad. Analysen visar att locket kommer att kunna bära denna last under de första 20 000 åren efter förslutning.

### **2BMA**

- **Bottenplatta:** Bottenplattan kommer långsiktigt att utsättas för lasten från det deponerade avfallet. Genom att kassunerna kommer att uppföras på en styv undergrund bedöms bottenplattan kunna bära dessa laster under de första 20 000 åren efter förslutning.
- **Innervägg:** Innerväggarna kommer långsiktigt att utsättas för den kombinerade lasten från locket och jordtrycklasten från 6 meters återfyllnad. Analysen visar att innerväggarna kommer att kunna bära denna last under de första 20 000 åren efter förslutning.
- **Ytterväggar:** Ytterväggarna kommer långsiktigt att utsättas för den kombinerade lasten från locket och jordtrycklasten från 6 meters återfyllnad. Analysen visar att ytterväggarna kommer att kunna bära denna last under de första 20 000 åren efter förslutning.
- **Lock:** Locket kommer långsiktigt att utsättas för jordtrycklasten från 6 meters återfyllnad. Analysen visar att locket kommer att kunna bära denna last under de första 20 000 åren efter förslutning.

Sammanfattningsvis visar de genomförda analyserna att betongkonstruktionerna i 1BMA och 2BMA kan bära dels de laster som kan uppstå i samband med återmättnad av förvaret och dels de långsiktiga lasterna.

Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

I och med detta kommer det inte att ske någon sprickbildning i konstruktionerna på grund av dessa laster och den hydrauliska konduktiviteten kommer därmed inte att påverkas.

Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning .....</b>	<b>5</b>
1.1	Bakgrund .....	5
1.2	Frågan .....	5
1.3	Syfte .....	5
1.4	Avgränsningar .....	5
<b>2</b>	<b>Betongkonstruktionernas referensutformning .....</b>	<b>7</b>
2.1	1BMA .....	7
2.1.1	Utformning .....	7
2.1.2	Dimensionerande Laster .....	7
2.2	2BMA .....	8
2.2.1	Utformning .....	8
2.2.2	Dimensionerande laster .....	8
<b>3</b>	<b>Utvecklade utformningar av betongkonstruktionerna i 1BMA och 2BMA .....</b>	<b>9</b>
3.1	Utformning av förstärkt betongkonstruktion i 1BMA .....	9
3.1.1	Bakgrund .....	9
3.1.2	Föreslagna förstärkningsåtgärder: översikt .....	9
3.1.3	Dimensionering och utformning av betongkonstruktionens olika delkomponenter .....	10
3.2	Utvecklad utformning av betongkonstruktionerna i 2BMA .....	12
3.2.1	Bakgrund .....	12
3.2.2	Föreslagen ny utformning av betongkonstruktionerna i 2BMA: översikt .....	12
3.2.3	Dimensionering och utformning av betongkonstruktionens olika delkomponenter .....	13
<b>4</b>	<b>Degradering av betongkonstruktioner .....</b>	<b>15</b>
4.1	Översikt .....	15
4.2	Lakning av betong .....	15
4.2.1	Översikt .....	15
4.2.2	Förändringar av betongens hållfasthet vid lakning .....	16
4.2.3	Lakningsprocessens hastighet i ett slutförvar .....	17
4.2.4	Lakningsfrontens utsträckning och form .....	17
4.2.5	Sammanfattning .....	19
4.3	Armeringskorrosion och dess inverkan på hållfastheten hos en betongkonstruktion .....	19
<b>5</b>	<b>Analys av hållfasthet under de första 20 000 åren efter förslutning .....</b>	<b>20</b>
5.1	Översikt .....	20
5.2	1BMA .....	20
5.2.1	Bottenplatta .....	20
5.2.2	Ytterväggar .....	20
5.2.3	Mellanväggar .....	21
5.2.4	Lock .....	20
5.2.5	Sammanfattning 1BMA .....	21
5.3	2BMA .....	22
5.3.1	Lock .....	22
5.3.2	Bottenplatta .....	22
5.3.3	Ytterväggar .....	22
5.3.4	Innerväggar .....	23
5.3.5	Sammanfattning 2BMA .....	23
<b>6</b>	<b>Osäkerheter .....</b>	<b>23</b>

Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Betongkonstruktionerna i 1BMA och 2BMA har under förvarets hela livstid att hantera olika typer av lastsituationer samtidigt som dessa ska förhindra utsläpp av radionuklider och därmed säkerställa förvarets säkerhet efter förslutning. Med bakgrund i identifierade lasterna under de olika tidpunkterna har betongkonstruktionerna dimensionerats och material valts. Analyser har sedan gjorts kring dessa konstruktioners förmåga att säkerställa förvarets säkerhet efter förslutning, huvudsakligen med underlag i form av förväntad kemisk omvandling av betongen under den analyserade perioden.

Dock saknas i viss mån analyser av utvecklingen av betongkonstruktionernas mekaniska bärighet över tid och hur denna påverkas av den förväntade utvecklingen av materialegenskaperna över tid. I denna PM redovisas därför beräkningar och analyser rörande betongkonstruktionernas förmåga att hantera de laster som den utsätts för under perioden efter förslutning.

## 1.2 Frågan

Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM, har efterfrågat kompletterande information rörande degraderingens inverkan på betongkonstruktionerna i 1BMA och 2BMA med fokus på dessas förmåga att hantera de långsiktiga lasterna enligt nedan (SSM 2016).

*Enligt redovisningen i SKB TR-14-02, avs. 4.2 och 5.2, har barriärkonstruktionen i 1-2BMA funktionen att garantera den mekaniska stabiliteten. Emellertid redovisar SKB inte hur betongens mekaniska materialegenskaper i barriärkonstruktionen utvecklas efter förslutning av slutförvaret, om dessa är tillräckliga i förhållande till de konstruktionsstyrande lastfallen resulterande från scenarioanalysen och heller inte om dessa är tillräckliga för att säkerställa de antagna värdena för den hydrauliska konduktiviteten hos betongen i barriärkonstruktionen efter förslutning.*

## 1.3 Syfte

Syftet med föreliggande rapport är att redovisa hur degradering av betongkonstruktionerna i 1BMA och 2BMA genom lakning av betongen och armeringskorrosion påverkar dessas förmåga att motstå dimensionerande lastfall under de första 20 000 åren efter förslutning.

## 1.4 Avgränsningar

I detta dokument studeras betongkonstruktionernas i 1BMA och 2BMA förmåga att motstå de laster som verkar på dessa under de första 20 000 åren efter förslutning då betongen utsätts för kemisk degradering och armeringen korroderar. För perioden efter 20 000 år efter förslutning bedöms betongens flödesmotstånd vara så påverkat av förekomst av sprickor och att transport av radionuklider i huvudsak sker efter denna tidpunkt huvudsakligen genom advektion i dessa sprickor (SKB 2015b).

Analysen är begränsad till studier av effekter av portlanditlakning och armeringskorrosion då dessa processer bedöms ha mest negativ inverkan på betongkonstruktionernas hållfasthetsegenskaper. För portlanditlakat material ansätts konservativt en hållfasthet på 0 MPa. Detta medför i praktiken att portlanditlakning behandlas som en tjockleksförlust i betongkonstruktionen och en därmed förknippad hållfasthetsförlust.

Effekterna av armeringskorrosion begränsas i denna studie till minskning av betongens tvärsnitt genom förlust av täcksikt samt till förlust av armeringens funktion på grund av förlorad vidhäftning mellan armering och betong. Den beräknade minskningen av armeringens tvärsnitt på grund av

Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

armeringskorrosion är under den analyserade perioden liten jämfört med det initiala tvärsnittet och beaktas därför inte.

Analysen är vidare avgränsad till den förstärkta konstruktionen<sup>4</sup> i 1BMA och den utvecklade<sup>5</sup> konstruktionen i 2BMA. Konstruktionerna enligt referensutförandet i ansökan (SKB 2015a) analyseras däremot inte.

Slutligen begränsas analysen av 1BMA till en utformning som uppfyller det initialtillstånd som analyserats i SKB (2015a), innebärande en tät betongkonstruktion utan genomgående sprickor överstigande 0,1 mm. Den viktigaste innebörden av denna begränsning är att betongkonstruktionerna i samband med återmättnad av förvarsdelarna kan förväntas utsättas för ett ensidigt vattentryck motsvarande en vattenpelare med en höjd motsvarande förvarsdjupet. SKB avser dock att fortsätta sitt arbete med att identifiera andra tekniska lösningar (nya initialtillstånd) och analysera deras inverkan på förvarets säkerhet efter förslutning. Först vid förslutning när alla identifierade lösningar har analyserats kommer SKB att ta beslut kring vilken lösning som kommer att användas för 1BMA.

---

<sup>4</sup> **Elfving M, 2015.** Huvudrapport – handlingsalternativ och åtgärder i 1BMA i SFR1. SKBdoc 1440857 ver 2.0. Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

<sup>5</sup> **Elfving M, Lundin M, von Schenck, 2017.** Vidareutvecklad utformning av förvarsutrymmet 2BMA i SFR3. SKBdoc 1569813 ver 1.0. Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

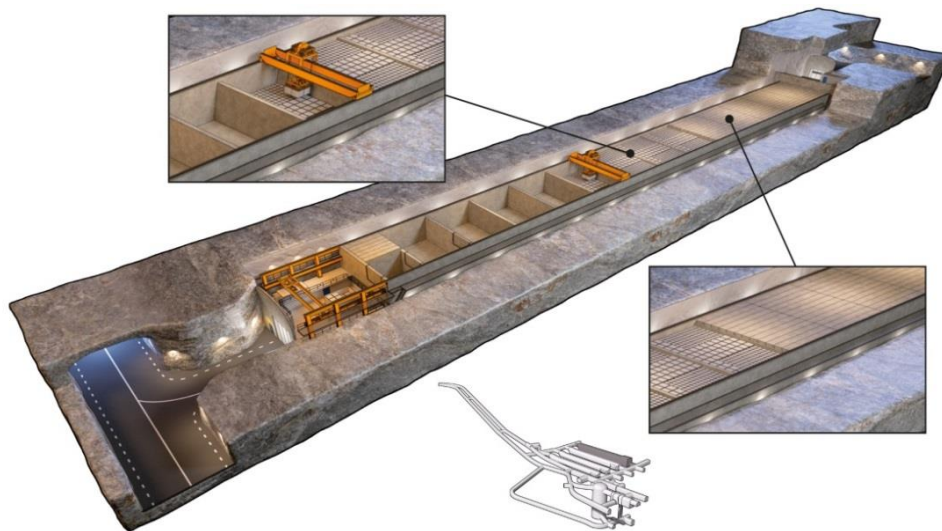
## 2 Betongkonstruktionernas referensutformning

### 2.1 1BMA

#### 2.1.1 Utformning

Den befintliga betongkonstruktionen i 1BMA uppfördes mellan 1986 och 1987, och utgörs av en ca 140 m lång platsgjuten armerad betongkonstruktion som är indelad i 13 stycken stora fack respektive två mindre fack, Figur 1. Facken avgränsas från varandra med tvärgående mellanväggar vars uppgift är att dela upp förvaret i lämpliga sektioner som medger stegvis inlastning av avfall och pågjutning, staga de längsgående väggarna som även bär traversbanan, ge stöd åt konstruktionens lock, ge strålskydd samt minska brandbelastning genom successiv påläggning av prefabricerade betongelement. Betongkonstruktionens bottenplatta ligger på ett djup av 87.9 meter under Östersjön nuvarande yta.

En mer utförlig beskrivning av förvarsdelen återfinns i SKB (2015a).



*Figur 1. Bergssal för medelaktivt avfall, 1BMA, i befintligt förvar.*

#### 2.1.2 Dimensionerande Laster

Betongkonstruktionen enligt referensutformningen är dimensionerad för följande laster:<sup>6</sup>

- Last från avfall
- Last från travers
- Invändig vattenlast i fack från sprinkling (maximal höjd 2 m)
- Gjutlast vid kringgjutning av fat (indelad 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)

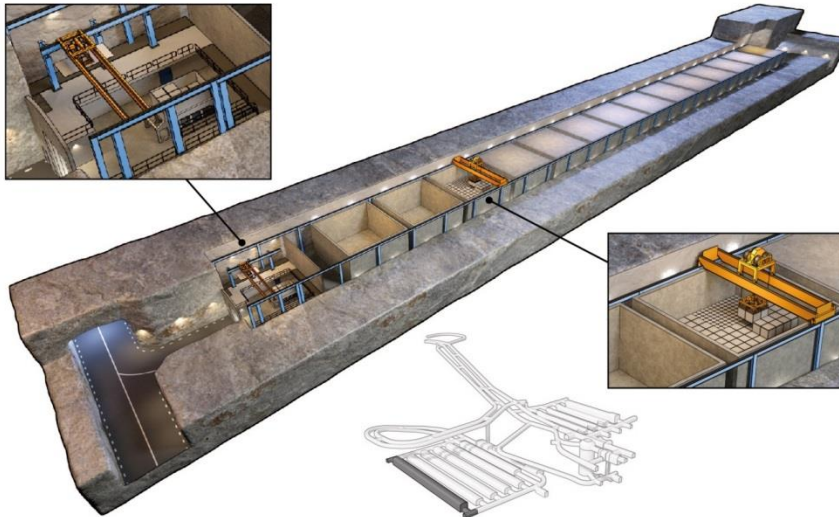
<sup>6</sup> Elfving M, Mårtensson P, Pettersson A, 2015. Rapport över aktuell status för 1BMA i SFR1. SKBdoc 1440875 ver 2.0, Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

## 2.2 2BMA

### 2.2.1 Utformning

Enligt referensutformningen så utgörs förvardsdelen 2BMA av en 275 meter lång bergssal i vilken 14 stycken betongkassuner i oarmerad betong, vardera med måtten (l × b × h) 16,2 × 16,2 × 8,2 meter ska uppföras, Figur 2.



**Figur 2.** Planerad bergssal för medelaktivt avfall, 2BMA, i den planerade utbyggnaden av SFR

Fyllda fack driftförsluts genom utplacering av strålskärmande prefabricerade betongelement följt av en tunn betongpågjutning. I samband med förslutning planeras även avfallet att kringgjutas med ett cementbaserat bruk. Slutligen planeras bergsalen att fyllas med ett genomsläppligt grusmaterial, företrädesvis krossad sten eller makadam och infartstunnlarna att förses med pluggar. En mer utförlig beskrivning av förvardsdelen återfinns i SKB (2015a).

### 2.2.2 Dimensionerande laster

Följande lastfall har beaktas vid dimensionering av betongkassun i 2BMA:<sup>7</sup>

#### **Laster under driftskedet**

- Last från det deponerade avfallet.
- Inre gjuttryck vid kringgjutning av avfallet.
- Oavsiktlig stöt från traverslast under drift.
- Last av tappad kokill under drift.

#### **Laster vid och efter förslutning**

- Yttre ensidigt vattenttryck vid återmättnad av förvaret efter förslutning.
- Yttre jordtryck från återfyllnadsmassor vid förslutning.
- Inre gastryck på grund av nedbrytning av metalliska material i avfallet.
- Inre tryck på grund av svällande avfall, primärt på grund av volymförändring vid korrosion av metalliska material.
- Last av fallande block efter förslutning.

<sup>7</sup> Elfving M, Lundin M, von Schenck, 2017. Vidareutvecklad utformning av förvarsutrymmet 2BMA i SFR3. SKBdoc 1569813 ver 1.0. Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.



## 3 Utvecklade utformningar av betongkonstruktionerna i 1BMA och 2BMA

### 3.1 Utformning av förstärkt betongkonstruktion i 1BMA

#### 3.1.1 Bakgrund

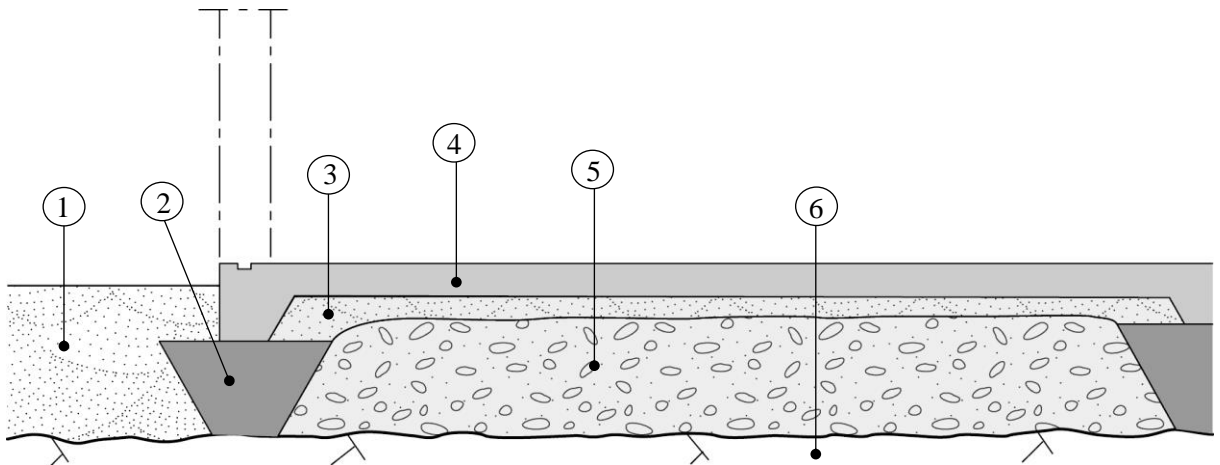
SKB har under de senaste åren genomfört ett omfattande undersökningsprogram med syftet att klarlägga den nuvarande statusen på den befintliga betongkonstruktionen i 1BMA.<sup>8</sup> Med grund i dessa undersökningar har SKB även identifierat och rekommenderat olika reparations- och förstärkningsåtgärder för att säkerställa förvarsdelen säkerhet efter förslutning.<sup>9</sup>

#### 3.1.2 Föreslagna förstärkningsåtgärder: översikt

Den genomförda utredningen<sup>10</sup> rekommenderar att förslutningsplanen för 1BMA kompletteras med följande förstärkningsåtgärder för att säkerställa säkerheten efter förslutning:

- förstärkning av betongkonstruktionens ytterväggar med en utanpåliggande betonginstallation,
- en något kraftigare pågjutning på locket, samt
- injektering av bottenbädden med cementbruk för att skapa ett fundament med låg hydraulisk konduktivitet och förmåga att ta upp laster, Figur 3.

Åtgärderna föreslås genomföras i samband med förslutningen av 1BMA, eftersom de inte har någon funktion kopplad till förvarets säkerhet under driftskedet. Genom att genomföra åtgärderna i samband med förslutning minimeras påverkan på den ordinarie driftverksamheten, liksom de strålsäkerhetsmässiga konsekvenserna av att genomföra åtgärderna. Med en kortare tid mellan åtgärd och förslutning minskar riskerna för att händelser och processer under driftskedet orsakar skador som påverkar möjligheten att uppfylla initialtillståndet.



**Figur 3.** Schematisk bild över grundläggningen i 1BMA efter injektering. 1) Stenmaterial 2) Sockel av grovbetong 3) Injekterat lager med makadam 4) Bottenplatta 5) Injekterat lager med sprängsten 6) Berg.

<sup>8</sup> Elfving M, Mårtensson P, Pettersson A, 2015. Rapport över aktuell status för 1BMA i SFR1. SKBdoc 1440875 ver 2.0, Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

<sup>9</sup> Elfving M, 2015. Huvudrapport – handlingsalternativ och åtgärder i 1BMA i SFR1. SKBdoc 1440857 ver 2.0. Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

<sup>10</sup> Elfving M, 2015. Huvudrapport – handlingsalternativ och åtgärder i 1BMA i SFR1. SKBdoc 1440857 ver 2.0. Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

### 3.1.3 Dimensionering och utformning av betongkonstruktionens olika delkomponenter

I detta avsnitt redovisas slutsatserna från de dimensionerande beräkningar som genomförts för de olika komponenterna i betongkonstruktionen i förvarsdelen 1BMA. Som utgångspunkt används de förstärkningsåtgärder som föreslås<sup>11</sup> av men där inga dimensionerande beräkningar redovisades. Beräkningarna har gjorts under förutsättningen att avfallet inte kringgjuts och konstruktionen dimensioneras därför för den fulla spännvidden mellan ytterväggarna respektive mellan mellanväggarna. Utöver detta har antagits att betongen är så tät att ett ensidigt vattentryck från 85 mvp kommer att utvecklas när förvaret återmätts efter förslutning.

#### **Bottenplatta**

Bottenplattans hållfasthet har beräknats<sup>12</sup> med huvudsakligt fokus på hållfasthet gentemot ett ensidigt vattentryck motsvarande 85 mvp. Det visas där att den nuvarande dimensioneringen av bottenplattan endast klarar 14,8 mvp trots att avfallet ansätts bidra med ett visst mottryck.

Stenbädden injekteras med ett cementbaserat material så att ett tätt betongliknande material bildas. För att detta alternativ ska uppfylla kravbilden krävs att materialet är tillräckligt tätt för att förhindra att vatten kan ledas genom sprickor eller svaga och otäta zoner så att vattentrycket kan nå bottenplattans undersida. Utöver detta krävs att vidhäftningen mellan den underliggande berggrunden och den injekterade stenbädden är minst 0,85 MPa för att funktionen ska kunna säkerställas.

**I den fortsatta analysen ansätts att betongkonstruktionens bottenplatta är 250 mm tjock och tillverkad av armerad betong klass K300 och att undergrunden injekterats med ett cementbruk så att ett styvt betongliknande material bildas. Dessa värden används vid analysen av betongkonstruktionens långsiktiga hållfasthet som redovisas i avsnitt 5.2.**

#### **Lock**

Locket på betongkonstruktionen i 1BMA dimensioneras för att hantera ett ensidigt vattentryck motsvarande 85 mvp.<sup>13</sup> Det visas att lockets hållfasthet klaras vid en minsta effektiv tjocklek på 800 mm med en kraftig armering under förutsättningen att mellanväggarnas funktion är intakt och att lockets spännvidd längs med betongkonstruktionen därmed kan begränsas. Alternativet är att lockets effektiva tjocklek ökas till 1200 mm och att armeringsmängden minskas något.

Även dimensionerande krav från laster (här jordtrycket från återfyllnadsmaterialet) vilka verkar under hela förvarets livstid har beräknats.<sup>14</sup> Beräkningarna visar här att jordtrycket är mycket litet i förhållande till det ensidiga vattentrycket och att betydligt lägre krav ställs på betongkonstruktionens tjocklek och armeringsmängd.

<sup>11</sup> **Elfving M, 2015.** Huvudrapport – handlingsalternativ och åtgärder i 1BMA I SFR1. SKBdoc 1440857 ver 2.0. Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

<sup>12</sup> **Westerberg B, 2017.** 1BMA – Beräkningar för 85 m vattentryck, jordtryck m.m. SKBdoc 1583182 ver 1.0. Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

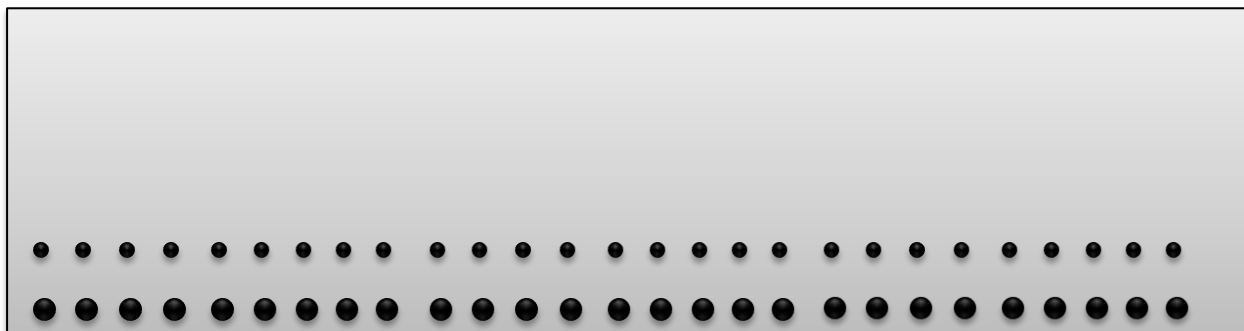
<sup>13</sup> **Westerberg B, 2017.** 1BMA – Beräkningar för 85 m vattentryck, jordtryck m.m. SKBdoc 1583182 ver 1.0. Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

<sup>14</sup> **Westerberg B, 2015.** 1BMA Kontrollberäkning med avseende på 6 m överfyllnad. SKBdoc 1466364 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

Med bakgrund i de dimensionerande beräkningarna för de olika tidsåldrar efter förslutning som de olika lasterna verkar föreslås<sup>15</sup> att betongkonstruktionens lock utformas med två lager armering vilka placeras i lockets underkant. Det undre lagret inplaceras med ett täckskikt av 50 mm och dimensioneras för att hantera lasten från ensidigt vattentryck.

Det andra lagret placeras 150-200 mm från lockets undersida och dimensioneras för att hantera lasterna från jordtrycket. Genom att armeringen läggs djupt inne i betongen samtidigt som korrosionshastigheten i alkalisk syrefri miljö är mycket låg, se avsnitt 4.6, förväntas korrosionsprodukterna inte kunna spräcka detta täckskikt. Armeringen bedöms därmed behålla sin lastupptagande förmåga under de första 20 000 åren efter förslutning. En schematisk illustration av armeringens placering i locket på betongkonstruktionen i 1BMA visas i Figur 4.



**Figur 4.** En schematisk illustration av underkantsarmeringens placering i locket på betongkonstruktionen i 1BMA. Till den armering som visas här tillkommer en viss överkantsarmering vilken placeras ovanför mellanväggarna för att hantera de dragkrafter som uppkommer då locket trycks ner på båda sidorna av mellanväggarna.

**I den fortsatta analysen ansätts att betongkonstruktionens lock har en effektiv tjocklek om 1000 mm och att betongklass C 45/55 används. Locket armeras med två lager underkantsarmering och ett lager överkantsarmering för hantering av de krafter som påverkar locket under olika tidsperioder efter förslutning. Dessa värden används vid analysen av betongkonstruktionens långsiktiga hållfasthet som redovisas i avsnitt 5.2.**

### **Ytterväggar**

Väggarna på betongkonstruktionen i 1BMA dimensioneras för att hantera ett ensidigt vattentryck motsvarande 85 mvp.<sup>16</sup> Det visas att väggarnas hållfasthet klaras om en pågjutning med en minsta effektiv tjocklek på 1000 mm alternativt 800 eller 600 mm beroende på val av armering genomförs. Det bör noteras att effektiv tjocklek inte inräknar betongens täckskikt varför pågjutningens totala tjocklek kommer att vara maximalt 200 mm ytterligare vilket medför att pågjutningens totala tjocklek blir 800-1200 beroende på armeringsalternativ.

**I den fortsatta analysen ansätts att betongkonstruktionens ytterväggar förstärks med en utanpåliggande betongkonstruktion med en total tjocklek om 1200 mm vilken gjuts mot befintlig vägg utan samverkan och att betongklass C 45/55 används. Dessa värden används vid analysen av betongkonstruktionens långsiktiga hållfasthet som redovisas i avsnitt 5.2.**

<sup>15</sup> Westerberg B, Muntlig kommunikation.

<sup>16</sup> Westerberg B, 2017. 1BMA – Beräkningar för 85 m vattentryck, jordtryck m.m. SKBdoc 1583182 ver 1.0. Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

## **Mellanväggar**

Mellanväggarna i 1BMA är 400 mm tjocka och tillverkade av armerad betong, klass K300 med en täcksiktstjocklek på 30 mm<sup>17</sup>. Beräkningar av hållfasthet för lock och ytterväggar har genomförts med förutsättningen att mellanväggarna kan utgöra stöd och därmed begränsa spännvidderna<sup>18</sup>. Genomförda beräkningar visar även att betongens hållfasthet bör vara minst 37 MPa för att mellanväggarna ska kunna fungera som stöd. Beräkningarna visar. Detta är något över det nominella värdet för denna betongklass men bedömningen är ändå den att den hållfasthetstillväxt som skett sedan anläggningen uppfördes medför att befintliga mellanväggar idag har tillräcklig bärförmåga.

Det bedöms slutligen inte möjligt att förstärka de befintliga mellanväggarna.

**I den fortsatta analysen ansätts att betongkonstruktionens mellanväggar är 400 mm tjocka och tillverkade av armerad betong av klass K300. Dessa värden används vid analysen av betongkonstruktionens långsiktiga hållfasthet som redovisas i avsnitt 5.2.**

## **3.2 Utvecklade utformning av betongkonstruktionerna i 2BMA**

### **3.2.1 Bakgrund**

SKB har under perioden efter det att ansökan inlämnades fortsatt arbetet med att detaljera utformningen av kassunerna i 2BMA. I den utvecklade konstruktionen ger ett rutnät av innerväggar stöd till ytterväggar och lock och där avfallsbehållare och kringgjutningsbruk inte förväntas ta någon last.<sup>19</sup>

### **3.2.2 Föreslagen ny utformning av betongkonstruktionerna i 2BMA: översikt**

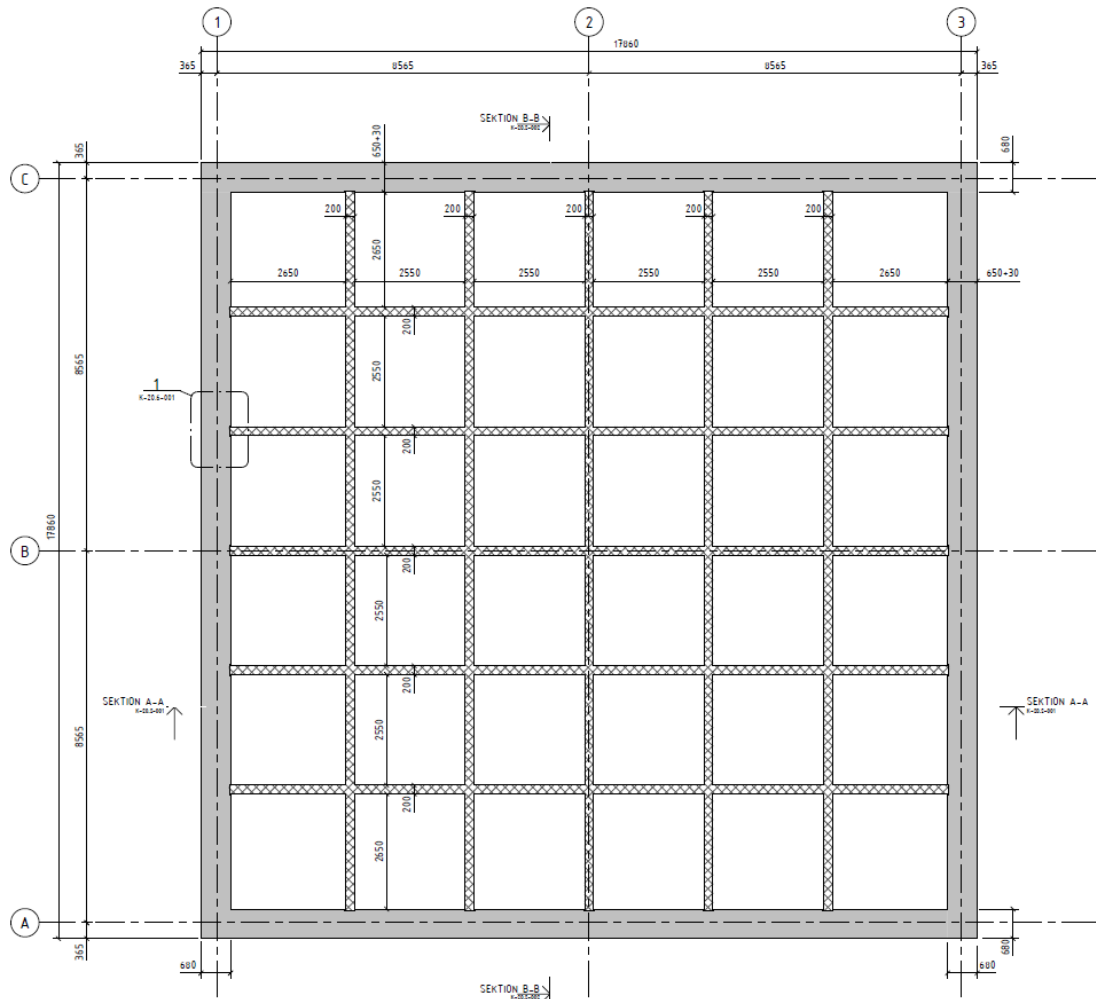
Den utvecklade utformningen innebär att betongkonstruktionerna förses med ett rutnät av innerväggar av betong liknande de som finns i den befintliga silon, Figur 5. Dessa innerväggar uppförs i samband med uppförande av anläggningen, antingen genom platsgjutning eller genom inplacering av prefabricerade betongelement vilka sedan gjuts samman.

<sup>17</sup> Elfving M, Mårtensson P, Pettersson A, 2015. Rapport över aktuell status för 1BMA i SFR1. SKBdoc 1440875 ver 2.0, Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

<sup>18</sup> Westerberg B, 2017. 1BMA – Beräkningar för 85 m vattentryck, jordtryck m.m. SKBdoc 1583182 ver 1.0. Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

<sup>19</sup> Elfving M, Lundin M, von Schenck, 2017. Vidareutvecklade utformning av förvarsutrymmet 2BMA i SFR3. SKBdoc 1569813 ver 1.0. Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning



Figur 5. Plan över betongkassan i 2BMA med rutnät av innerväggar.<sup>20</sup>

Under drift placeras avfallet i de olika facken med hjälp av en travers. Genom att avfallet inte kringgjuts kan spalten mellan innervägg och avfallsbehållare fungera som en avlastningsväg för den gas som kan bildas vid nedbrytning av avfallet men även som expansionsutrymme för eventuellt svällande avfall. På så sätt minimeras risken att barriären skadas till följd av dessa laster.

### 3.2.3 Dimensionering och utformning av betongkonstruktionens olika delkomponenter

I detta avsnitt redovisas slutsatserna från de dimensionerande beräkningar som genomförts för de olika komponenterna i betongkonstruktionen i förvarsdelen 2BMA. Beräkningarna har gjorts under förutsättningen att avfallet inte kringgjuts och konstruktionen är därför dimensionerad för spännvidden för de fack som bildas av innerväggarna.

#### Bottenplatta

Några separata dimensionerande beräkningar för bottenplattan har inte genomförts för 2BMA utan bottenplattan dimensioneras utifrån de beräkningar som gjorts för locket. Detta motiveras av att bottenplattan stöds på samma sätt som locket, alltså med ett rutnät av innerväggar, och att lastsituationen

<sup>20</sup> Elfving M, Lundin M, von Schenck, 2017. Vidareutvecklad utformning av förvarsutrymmet 2BMA i SFR3. SKBdoc 1569813 ver 1.0. Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

är likartad om än något lättare då endast last från 150 mvp behöver beaktas medan något jordtryck inte kommer att påverka denna. Last från avfall motverkar i viss mån det ensidiga vattentrycket men till detta tas här ingen hänsyn.

**I den fortsatta analysen ansätts att betongkonstruktionens bottenplatta är 650 mm tjock och att betongklass C50/60 används. Armering används ej. Dessa värden används i analysen av betongkonstruktionens långsiktiga hållfasthet som redovisas i avsnitt 5.3.**

### **Lock**

Dimensionerande beräkningar för locket på betongkonstruktionen för ett ensidigt vattentryck om 150 mvp. visar att lockets hållfasthet klaras vid en minsta tjocklek på 600-650 mm beroende på betongklass.<sup>21</sup>

**I den fortsatta analysen ansätts att betongkonstruktionens lock är 650 mm tjockt och att betongklass C50/60 används. Armering används ej. Dessa värden används i analysen av betongkonstruktionens långsiktiga hållfasthet som redovisas i avsnitt 5.3.**

### **Ytterväggar**

Dimensionerande beräkningar för kassunernas ytterväggar för ett ensidigt vattentryck om 150 mvp. visar att ytterväggarnas hållfasthet klaras vid en minsta tjocklek på 650-700 mm beroende på betongklass.<sup>22</sup>

**I den fortsatta analysen ansätts att betongkonstruktionens ytterväggar är 680 mm tjocka och att betongklass C50/60 används. Armering används ej. Dessa värden används i analysen av betongkonstruktionens långsiktiga hållfasthet som redovisas i avsnitt 5.3.**

### **Innervägg**

Dimensionerande beräkningar för kassunernas innervägg för ett ensidigt vattentryck om 150 mvp. visar att innerväggarnas hållfasthet klaras vid en minsta tjocklek på 180-280 mm beroende på betongklass.<sup>23</sup> För en tjocklek på 200 mm krävs en minsta hållfasthet på 50 MPa, motsvarande klass C50/60.

**I den fortsatta analysen ansätts att betongkonstruktionens innervägg är 200 mm tjocka och att betongklass C 50/60 används. Armering används ej. Dessa värden används i analysen av betongkonstruktionens långsiktiga hållfasthet som redovisas i avsnitt 5.3.**

---

<sup>21</sup> **Westerberg B, 2017.** Beräkningar för fristående kassun med bärande innervägg. SKBdoc 1587450. ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

<sup>22</sup> **Westerberg B, 2017.** Beräkningar för fristående kassun med bärande innervägg. SKBdoc 1587450. ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

<sup>23</sup> **Westerberg B, 2017.** Beräkningar för fristående kassun med bärande innervägg. SKBdoc 1587450. ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

## 4 Degradering av betongkonstruktioner

### 4.1 Översikt

SKB har genomfört ett antal studier rörande utvecklingen av betongs egenskaper för tidsrymder upp till 100 000 år efter förslutning. Fokus har huvudsakligen legat på studier av förändringar i mineralogiska och kemiska egenskaper, se exempelvis (Höglund 2014) men även studier av hur lakning av cementmineralerna påverkar materialets fysikaliska och mekaniska egenskaper har genomförts (Babaahmadi 2015).

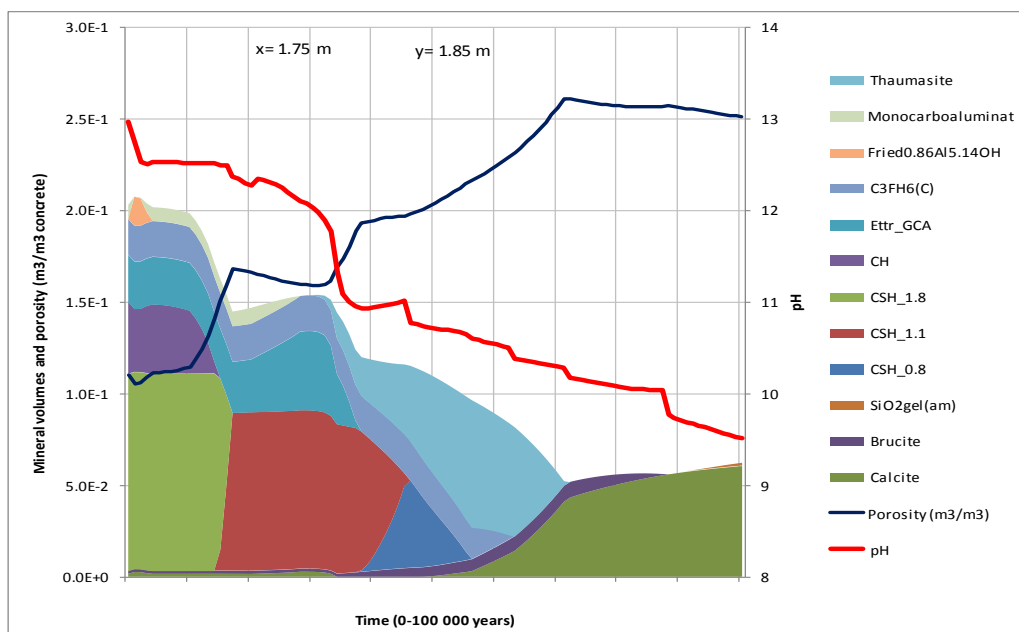
I detta kapitel beskrivs översiktligt de två processer vilka bedöms ha störst inverkan på betongens hållfasthet under de första 20 000 åren efter förslutning, lakning av cementmineralerna samt armeringskorrosion.

Tillsammans med beskrivningen av initialtillståndet för 1BMA och 2BMA redovisat i kapitel 3 utgör detta sedan en grund för den analys av hållfasthetsutvecklingen under de första 20 000 åren som presenteras i kapitel 5.

### 4.2 Lakning av betong

#### 4.2.1 Översikt

Inverkan av lakning av betong och dess påverkan på materialets kemiska och mineralogiska utveckling har studerats ingående och god kunskap om de inblandade processerna och mineralomvandlingsstegen finns idag tillgänglig. Översiktligt sker lakningen stegvis där först de mycket lösliga alkalihydroxiderna lakas ut. Detta följs av lakning av portlandit och slutligen av CSH-gelen. De olika lakningsstegen är förknippade med en stegvis sänkning av betongens pH, en ökning av dess porositet samt vissa övriga förändringar i betongens mineralsammansättning, se Figur 6. För en mer utförlig beskrivning av lakningsprocessen hänvisas till Höglund (2014).

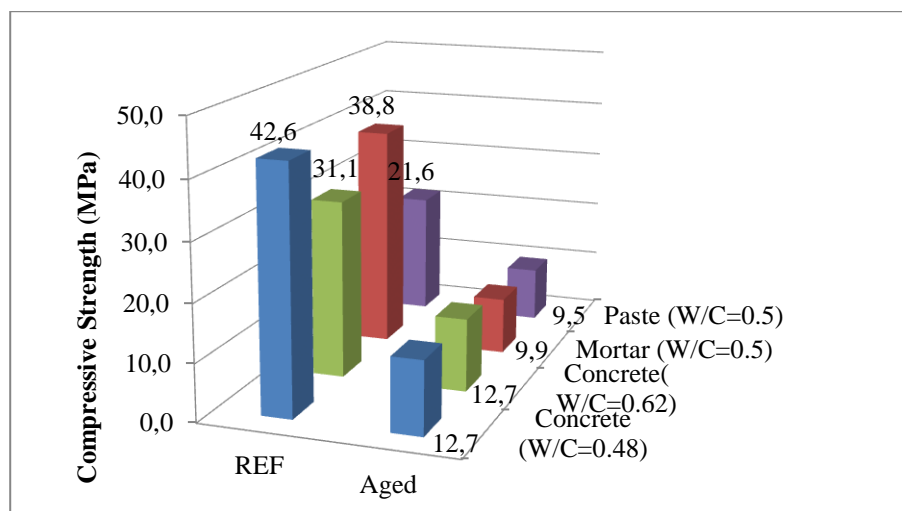


**Figur 6.** Exempel på hur resultat från en modellering av betongdegradering kan presenteras. Notera hur lakning av portlandit och de olika CSH-faserna förknippas med en sänkning av pH och en ökning av betongens porositet. Notera även att denna figur gäller under vissa specifika förutsättningar och tidskalan kan därför bortses från (Höglund 2014).

Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

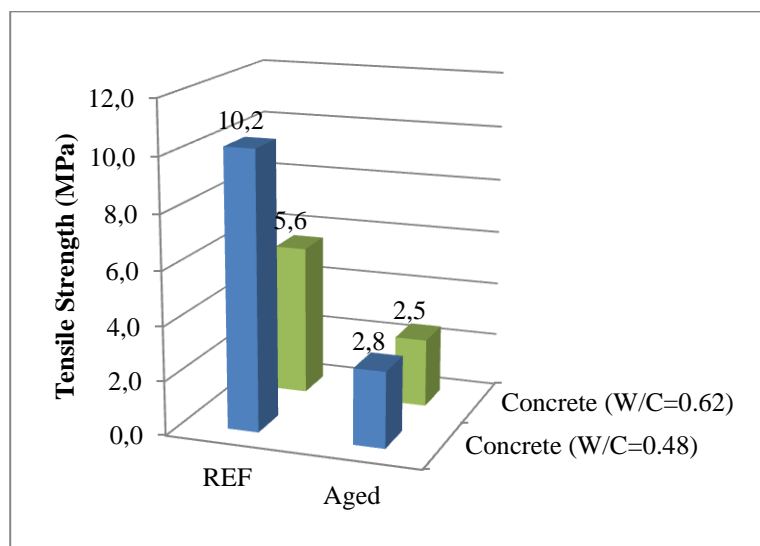
#### 4.2.2 Förändringar av betongens hållfasthet vid lakning

Utvecklingen av hållfasthetsegenskaperna hos degraderad betong har för SKB:s räkning studerats av Babaahmadi (2015). Studier av tryck- och draghållfasthet hos portlanditlakade prover uppvisade här en kraftigt minskad hållfasthet jämfört med ursprungligt material, se Figur 7 och 8.



**Figur 7.** Tryckhållfasthet före och efter lakning för prover av pasta, bruk samt betong. Proverna har lakats så att det inte längre finns någon portlandit i dessa (Babaahmadi 2015).

Så som visas i Figur 7 så minskar tryckhållfastheten hos betong (gröna och blå staplar) i vilken all portlandit har lakats till 12,7 MPa för både betong tillverkad med ett vct på 0,48 (motsvarande silobetongen) respektive 0,62 (motsvarande 1BMA) och en ursprunglig tryckhållfasthet om 42,6 respektive 32,1 MPa.



**Figur 8.** Draghållfasthet före och efter lakning för prover av pasta, bruk samt betong. Proverna har lakats så att det inte längre finns någon portlandit i dessa men CSH-gelerna är relativt oförändrade (Babaahmadi 2015).



Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

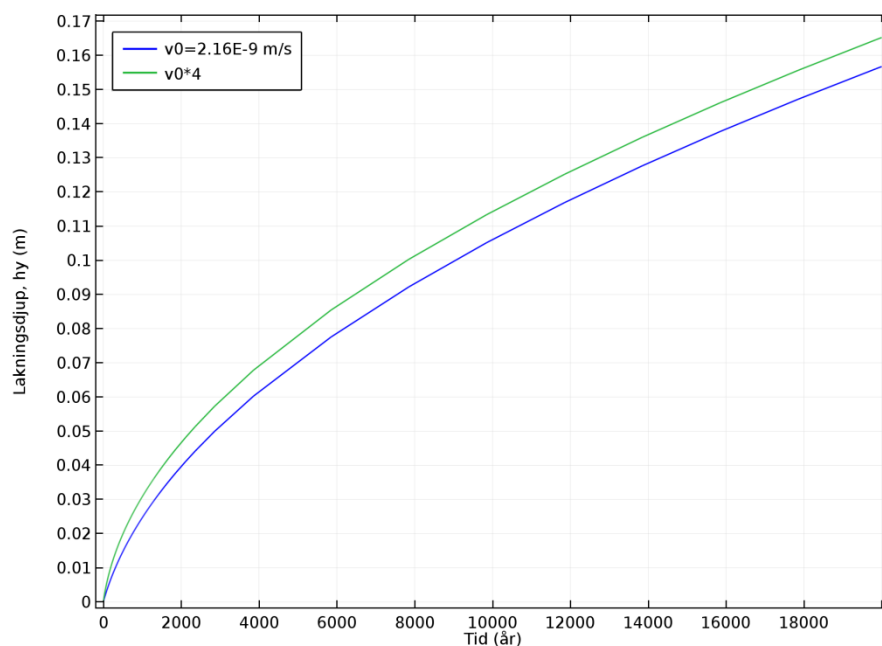
Så som visas i Figur 8 så minskar draghållfastheten hos betong i vilken all portlandit har lakats till 2,8 till 2,5 MPa för betong tillverkad med ett vct på 0,48 (motsvarande silobetongen) respektive 0,62 (motsvarande 1BMA) och en ursprunglig draghållfasthet om 10,2 respektive 5,6 MPa.

### 4.2.3 Lakningsprocessens hastighet i ett slutförvar

Degradering av betong utgörs översiktligt av en kombination av processerna i) upplösning av lösliga mineral i betongens porvatten och ii) transport av joner lösta i porvattnet ut ur betongen. Den senare processen kan antingen vara advektiv, d.v.s. transport sker genom att vatten rör sig genom betongen eller diffusiv där jonerna påverkade av en koncentrationsgradient rör sig ut ur betongen i ett stillastående medium. Vanligtvis antas att uttransporten sker genom diffusion i ett stillastående medium.

Hastigheten med vilken portlanditen lakas har beräknats och i Höglund (2014) studeras dels lakning på intakt betongkonstruktion men även effekten av sprickor och reparationsåtgärder har inkluderats

Beräkningar av hastigheten för portlanditlakning i en betongkonstruktion placerad i en bergssal genom vilken ett grundvatten sakta rör sig har genomförts.<sup>24</sup> Beräkningarna visar att portlanditlakningen över längre tidsperioder approximativt är 1 cm/1000 år. I de inledande skedena är den dock högre då diffusionsvägarna är kortare, se Figur 9.



Figur 9. Lakat djup av portlandit (m) som funktion av tid (år).<sup>25</sup>

### 4.2.4 Lakningsfrontens utsträckning och form

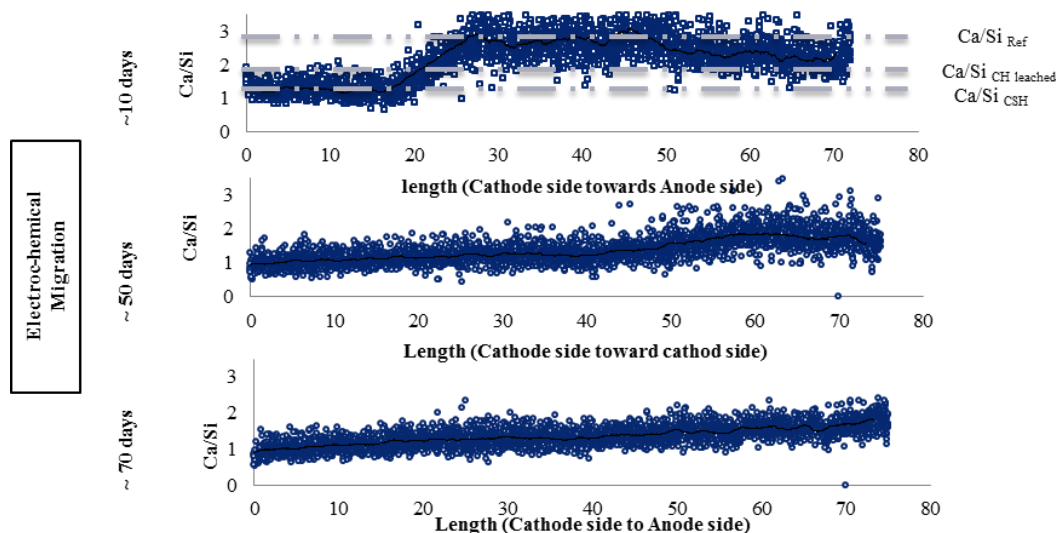
Det faktum att lakningsprocessen till allra största delen är diffusionsstyrd kommer att innebära att lakningen kommer att ske med en betydande fördröjning i de inre delarna av betongkonstruktionen jämfört med i de yttre och en sammansättningsprofil med varierande Ca:Si-förhållande, pH och porositet kommer

<sup>24</sup> von Schenck H, 2017. Vattenflöde genom 2BMA- känslighet för parametrering av bergets egenskaper. SKBdoc 1564134 ver 1.0. Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

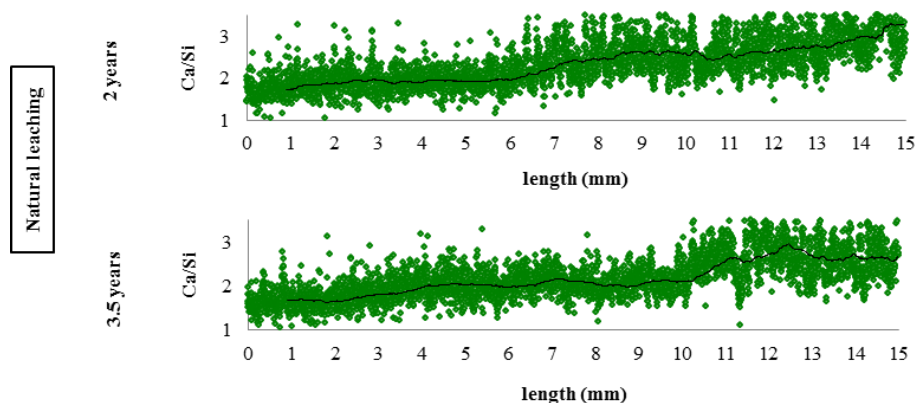
<sup>25</sup> von Schenck H, 2017. Vattenflöde genom 2BMA- känslighet för parametrering av bergets egenskaper. SKBdoc 1564134 ver 1.0. Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

att utvecklas. Studier genomförda av Babaahmadi (2015) har visat att prover som lakats både på elektrokemisk och naturlig väg i ett rinnande vatten utvecklar en sammansättningsprofil av denna typ, se Figur 10 och Figur 11.



**Figur 10.** Prover av cementpasta som lakats på elektrokemisk väg under 10, 50 respektive 70 dygn (Babaahmadi 2015).



**Figur 11.** Prover av cementpasta som lakats på naturlig väg under 2 respektive 3.5 år i ett flödande grundvatten i Åspölaboratoriet (Babaahmadi 2015).

Det faktum att en sammansättningsprofil utvecklas kommer att innebära att de yttre delarna av betongkonstruktionen efter en tid kan vara helt degraderade (här innebärande att samtliga de mineral som har en inverkan på materialets mekaniska egenskaper har lösts upp) medan samtidigt andra delar av betongkonstruktionen är helt opåverkade och har kvar sina ursprungliga mekaniska egenskaper och därmed den ursprungliga bärförmågan. Slutligen har mellanliggande delar egenskaper någonstans mellan dessa extremer.

Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

#### 4.2.5 Sammanfattning

Med bakgrund i det som visats ovan ansätts tillväxthastigheten med vilken den zon i vilken betongens mekaniska egenskaper har degraderat till 1.5 cm/1000 år och att hållfastheten för detta material är 0 MPa. Detta är 50% högre än vad som visas i Figur 9 och motiveras av att även den zon där endast partiell portlanditlakning har skett kan förväntats ha utsatts för en viss hållfasthetsförlust.

### 4.3 Armeringskorrosion och dess inverkan på hållfastheten hos en betongkonstruktion

Processen metallkorrosion beskrivs i exempelvis SKB (2014a) medan data rörande förväntade korrosionshastigheter i SFR sammanfattas i SKB (2014b). Korrosionshastigheten för armeringsjärnen i en slutförvarskonstruktion tillverkad av armerad betong anges i SKB (2014b) till 0.05  $\mu\text{m}/\text{år}$  under alkaliska anoxiska förhållanden. Detta motsvarar en korrosion om 1 mm på 20 000 år vilket ger en minskning av armeringens tvärsnitt om 2 mm under denna period.

I SKB (2014a) diskuteras de volymsökningar som sker när rent järn (eller stål) korroderar, något som här skulle kunna leda till att höga spänningar uppstår i betongen och eventuellt även till att sprickor uppkommer, se även Höglund (2014).

Vilken effekt denna process har är inte bara direkt beroende av volymsförhållandet mellan den rena metallen och korrosionsprodukterna utan även av täcksiktets tjocklek, betongens kvalitet samt i vilken omfattning korrosionsprodukterna transporteras iväg eller bildar ett tätt skikt runt armeringsjärnen genom vilket vidare jontransporter inte kan ske.

I detta dokument förutsätts att de armeringsjärn som ska bidra till att betongkonstruktionen i 1BMA kan hantera jordtryckslasterna från återfyllandsmaterialet placeras tillräckligt långt in i betongen för att betongen inte ska kunna spräckas av de korrosionsprodukter som kan bildas. I och med detta bedöms armeringen kunna bibehålla sin funktion under de första 20 000 åren efter förslutning.

## 5 Analys av hållfasthet under de första 20 000 åren efter förslutning

### 5.1 Översikt

I detta kapitel redovisas en analys av hållfastheten hos betongkonstruktionerna i 1BMA och 2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning givet att konstruktionerna degraderar i enlighet med beskrivningen i kapitel 4. Initialtillståndet utgörs av den förstärkta utformningen av 1BMA (avsnitt 3.1) samt den utvecklade utformningen av 2BMA (avsnitt 3.2). Det huvudsakliga lastfallet utgörs i båda fallen av jordtrycklasten från återfyllnadsmaterialet. I övrigt beaktas egentyngd från avfall och konstruktionens lock.

### 5.2 1BMA

#### 5.2.1 Bottenplatta

Så som nämns i avsnitt 3.1.3 så avser SKB att i samband med förslutning injektera bottenbädden med ett cementbruk så att ett betongliknande material med god täthet och god vidhäftning till underliggande berggrund och bottenplattans undersida erhålls.

Studier av bottenplattans hållfasthet gentemot interna visar att om undergrunden injekteras med ett cementbruk och dess styvhet därmed ökar betydligt så blir bottenplattans kapacitet mot inre tryck mycket hög och kan med god marginal hantera den kombinerade lasten från avfallets vikt och eventuella tryck orsakade av gas och svällning utan att riskera knäckning och medföljande sprickbildning.<sup>26</sup> Dock förväntas här inga tryck från gas och svällning varför marginalerna blir ytterligare större, se avsnitt 3.1.3.

Långsiktigt förväntas armeringen i bottenplattan förlora sin funktion och all last behöva bäras av undergrunden då bottenplattans bärighet utan armering är mycket låg. Dock görs bedömningen att det lakade materialet i undergrunden kommer att vara tillräckligt styvt för att ge ett tillräckligt stöd åt bottenplattan så att den kan hantera lasten från avfallet. Detta resonemang motiveras av de studier som genomförts av Babaahmadi (2015) vilka visar att även ett kraftigt lakat material har kvar sin integritet och även en viss del av sin ursprungliga tryckhållfasthet.

#### 5.2.2 Lock

Dimensionerande beräkningar för locket gentemot jordtryckslasten från återfyllnadsmaterialet visar att om locket dimensioneras och konstrueras på det sätt som föreslås i avsnitt 3.1.3 så kommer detta att kunna hantera jordtryckslasterna under de första 20 000 åren efter förslutning.<sup>27</sup> Denna slutsats gäller under förutsättningen att betongen degraderar enligt den modell som beskrivs i avsnitt 4.2 och förlorar det yttre lagret av den armering som illustreras i Figur 4.

#### 5.2.3 Ytterväggar

Dimensionerande beräkningar för ytterväggarna gentemot jordtryckslasten från återfyllnadsmaterialet visar att om ytterväggarna dimensioneras och konstrueras på det sätt som föreslås i avsnitt 3.1.3 så

<sup>26</sup> Olsson D, 2016. 1BMA – utredning kring gas och svällning. SKBdoc 1535025 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

<sup>27</sup> Westerberg B, 2017. 1BMA – Beräkningar för 85 m vattentryck, jordtryck m.m. SKBdoc 1583182 ver 1.0. Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

kommer dessa att kunna hantera jordtryckslasterna under de första 20 000 åren efter förslutning även vid förlust av armering och tjockleksförlust orsakad av betongdegradering.<sup>28</sup>

#### 5.2.4 Mellanväggar

För degradering av betong i mellanväggarna är situationen en annan än vid degradering av betongen i ytterväggarna då det grundvatten som tränger in i avfallsdomänen och vilket interagerar med betongen i mellanväggarna redan är mättat med betonglakningsprodukter från ytterväggarna. Utöver detta är vattenutbytet i de inre delarna av betongkonstruktionen betydligt lägre än i det återfyllnadsmaterial som omger betongkonstruktionens yttre delar. Detta innebär att lakningen av betongen i mellanväggarna kan förväntas gå betydligt långsammare än lakningen av betongen i ytterväggarna.

Vid uppskattning av den lakade volymens tillväxt i mellanväggarna kan två alternativ användas. Antingen ansätts en långsammare genomsnittlig hastighet eller så ansätts en betydande fördröjning av initiering av lakningen av innerväggarna. Med bakgrund i redovisningen i avsnitt 4.2 väljs här det andra alternativet. Detta motiveras av att aggressivt vatten inte förväntas kunna tränga in i avfallsdomänen förrän all portlandit lakats ur övriga konstruktionsdelar. Givet dessas tjocklek och förväntad lakningshastighet kommer detta inte att ske under de första 20 000 åren efter förslutning.

Mellanväggarna anses dock påverkas av armeringskorrosion och det tunna täcksiktet (30 mm enligt avsnitt 3.1.3) kommer att spjälkas bort under perioden fram till 20 000 år efter förslutning. Av denna anledning bör mellanväggarna behandlas som oarmerade med ett tvärsnitt på 340 mm.

Då minskningen av tvärsnittets tjocklek är mycket begränsad i förhållande till de betydligt lägre laster som måste hanteras långsiktigt görs bedömningen att mellanväggarna kommer att kunna motstå jordtryckslasterna under tiden fram till 20 000 år efter förslutning.

#### 5.2.5 Sammanfattning 1BMA

I detta avsnitt har de fyra huvudkomponenterna i barriärkonstruktionen i 1BMA utvärderats med avseende på lastbärande förmåga under de första 20 000 åren efter förslutning av förvaret.

Analysen visar att ytterväggar och lock kan förstärkas på ett sådant sätt att de klarar både ett ensidigt vattentryck om 85 mvp kortsiktigt samt lasterna från återfyllnadsmaterialet under de första 20 000 åren efter förslutning. Vidare visar analysen att mellanväggarnas hållfasthet ligger på gränsen till vad som krävs för att dessa ska kunna utgöra stöd för lock och ytterväggar vid ett ensidigt vattentryck om 85 mvp men bedömningen är att god marginal finns för hantering av den långsiktiga jordtrycklasten trots viss degradering. Någon förstärkning av mellanväggarna bedöms inte möjlig.

För bottenplattan visar slutligen analysen att dess hållfasthet i dess nuvarande skick inte är tillräcklig för att motstå ett ensidigt vattentryck om 85 mvp. I det fallet att bottenbädden injekteras så att ett betongliknande material bildas kan strukturen bära de långsiktiga interna lasterna från avfallet.

Sammanfattningsvis visar de genomförda analyserna att betongkonstruktionen i 1BMA kan förstärkas på ett sådant sätt att de kan bära dels de laster som kan uppstå i samband med återmättnad av förvaret och dels de långsiktiga lasterna. I och med detta kommer det inte att ske någon sprickbildning i konstruktionerna på grund av dessa laster och den hydrauliska konduktiviteten kommer därmed inte att påverkas.

<sup>28</sup> Westerberg B, 2017. 1BMA – Beräkningar för 85 m vattentryck, jordtryck m.m. SKBdoc 1583182 ver 1.0. Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

## 5.3 2BMA

### 5.3.1 Bottenplatta

Bottenplattan är ursprungligen 650 mm tjock och grundlagd på ett material med hög styvhet, företrädesvis en gjuten betongplatta vilken utgör arbetsyta vid uppförandet. Långsiktigt utgörs de dimensionerande lasterna av interna laster från avfallet och innerväggarna vilka även kommer att överföra lasten från locket och återfyllnadsmaterialet. Några externa laster förväntas dock ej efter det att vattentrycket utjämnats.

Lakning av cementmineralerna i grundläggning och bottenplatta kan leda till att deras styvhet minskar vilket skulle kunna påverka bottenplattans hållfasthet. Dock är bedömningen den att det kvarvarande materialet i grundläggningen kommer att vara tillräckligt styvt för att ge ett tillräckligt stöd åt bottenplattan så att den kan hantera lasten från avfallet och innerväggarna. Detta motiveras av de studier som genomförts av Babaahmadi (2015) vilka visar att även ett kraftigt lakat material har kvar sin integritet och även en viss del av sin ursprungliga tryckhållfasthet.

### 5.3.2 Lock

Locket är ursprungligen 650 mm tjockt och dimensionerat för att hantera den sammanlagda lasten från ett ensidigt vattentryck om 150 mvp och 6 meters återfyllnad i samband med återmättnad av förvaret, avsnitt 3.2.3. Långsiktigt ska dock locket endast bära lasten från återfyllnadsmaterialet vilken utgör cirka 6% av den dimensionerande lasten.

Under tidigare i denna rapport givna förutsättningar kan locket efter 20 000 år förväntas ha en hållfasthet motsvarande en tjocklek av cirka 350 mm.

Dimensionerande beräkningar visar att lockets hållfasthet gentemot jordtrycklasterna vid en tjocklek av 350 mm klaras om betongens tryckhållfasthet överstiger 50 MPa.<sup>29</sup> Slutsatsen är därför att locket kommer att klara de dimensionerande jordtrycklasterna under de första 20 000 åren efter förslutning om det dimensioneras för ett ensidigt vattentryck om 150 mvp.

I och med att avfallet inte kommer att kringgjutats och att ett system för gastransport kommer att installeras förväntas inte locket utsättas för några interna laster.

### 5.3.3 Ytterväggar

Dimensionerande beräkning visar att ytterväggarnas hållfasthet gentemot jordtrycklasterna visar att jordtrycket är mycket litet i förhållande till det ensidiga vattentrycket och att jordlasten klaras vid en väggjocklek på ytterväggarna om 320-420 mm beroende på betongklass under förutsättningen att innerväggarna kan bära laster så att spännvidden därmed kan begränsas.<sup>30</sup>

Detta kan jämföras med den förväntade degraderingen. Under förutsättningen att väggens ursprungliga tvärsnitt är 680 mm och att degraderingen sker enligt beskrivningen i kapitel 4 kommer väggarnas tjocklek efter 20 000 år ha en verksam tjocklek av cirka 400 mm.

I och med att avfallet inte kommer att kringgjutats och att ett system för gastransport kommer att installeras förväntas inte väggarna utsättas för några interna laster varför sådana laster ej beaktas.

<sup>29</sup> **Westerberg B, 2017.** Beräkningar för fristående kassun med bärande innerväggar. SKBdoc 1587450. ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

<sup>30</sup> **Westerberg B, 2017.** Beräkningar för fristående kassun med bärande innerväggar. SKBdoc 1587450. ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

Slutsatsen är därför att väggarna kommer att klara de långsiktiga lasterna om de utformas enligt den utvecklade utformningen som presenteras i avsnitt 3.2 givet en utveckling av betongens egenskaper enligt beskrivningen i kapitel 4.

### 5.3.4 Innerväggar

För degradering av betong i innerväggarna gäller samma analys för 2BMA som för degradering av mellanväggarna 1BMA, avsnitt 5.2.3, med den skillnaden att innerväggarna i 2BMA inte innehåller någon armering som kan orsaka spjälkning och tvärsnittsminskning.

Med denna ansats kommer innerväggarnas tjocklek att vara oförändrad under de första 20 000 åren efter förslutning. Då dimensionerande beräkningar<sup>31</sup> visar att innerväggarna endast behöver vara cirka 40 mm tjocka för att hantera jordtrycket vid vattenfylld kassun är den uppenbara slutsatsen att innerväggarna kommer att kunna utgöra ett stöd för att yttreväggarna ska kunna bära den långsiktiga lasten från återfyllnadsmaterialet under de första 20 000 åren efter förslutning.

Det bör här även beaktas att innerväggarna även måste kunna utgöra ett stöd åt locket under denna period. Här kan det enkla resonemanget föras att eftersom innerväggarna kan ge stöd för att locket ska kunna bära den kombinerade lasten från 150 mvp, locket och återfyllnadsmaterialet så kommer de även att kunna bära lasten från endast locket och återfyllnadsmaterialet.

### 5.3.5 Sammanfattning 2BMA

I detta avsnitt har hållfastheten hos de fyra huvudkomponenterna i barriärkonstruktionen i 2BMA analyserats med avseende på lastbärande förmåga under de första 20 000 åren efter förslutning av förvaret.

Analysen visar att om de olika komponenterna i betongkonstruktionen dimensioneras enligt beskrivningen i avsnitt 3.2 så kommer de även att motstå de laster som kan uppstå under perioden efter förslutning givet en utveckling av betongens egenskaper enligt beskrivningen i kapitel 4. I och med detta kommer det inte att ske någon sprickbildning i konstruktionerna på grund av dessa laster och den hydrauliska konduktiviteten kommer därmed inte att påverkas.

## 6 Osäkerheter

I denna PM har en analys av hur hållfastheten hos betongkonstruktionerna i 1BMA och 2BMA förändras över tid och vilken inverkan denna förändring har på konstruktionernas förmåga att motstå de laster som verkar på dessa under olika tider efter förslutning presenterats. Med denna analys som grund har en bedömning av hur dessa laster påverkar den hydrauliska konduktiviteten hos betongkonstruktionerna genomförts.

Analysen har tagit avstamp i kunskaper erhållna från experimentella och teoretiska studier över utvecklingen av de kemiska, mekaniska och fysikaliska egenskaperna hos betong upp till 100 000 år efter förslutning.

Modelleringsarbetet har i sin tur utgått från förutsättningar givna av betongens initialtillstånd samt den förväntade hydrogeologiska utvecklingen av förvaret. Med utgångspunkt i termodynamiska data över aktuella mineraler samt en förväntat sammansättning av grundvattnet och grundvattenflöden har sedan den mineralogiska utvecklingen av betong kunnat beräknas över långa tidsperioder.

---

<sup>31</sup> **Westerberg B, 2017.** Beräkningar för fristående kassun med bärande innerväggar. SKBdoc 1587450. ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB. Internt dokument.

Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

I analysen av förvarets säkerhet efter förslutning utgör utvecklingen av betongens hydrauliska konduktivitet en viktig parameter då den anger hur flödesmotståndet i betongkonstruktionen förändras över tiden. Denna parameter påverkas av de förändringar som orsakas av de processer som påverkar betongens övriga egenskaper.

Tvivelsutan föreligger det osäkerheter i de modeller som SKB använder för att beskriva förändringarna i betongens egenskaper över tid, inklusive den hydrauliska konduktiviteten. I stället för att hantera varje osäkerhet enskilt har SKB här valt att hantera osäkerheterna genom scenarioanalys och genom att göra konservativa antanden rörande exempelvis hur betongens hydrauliska konduktivitet utvecklas över tiden.

I Figur 9-1 i Höglund (2014) redovisas en jämförelse mellan beräknad hydraulisk konduktivitet och den hydrauliska konduktivitet som ingår i SKB:s analyser av förvarets säkerhet efter förslutning. Här framgår att antaget värde under långa perioder ligger flera 10-potenser över det värde som framkommer ur genomförda analyser.

Med denna bakgrund finns alltså ingen anledning att gå in på varje enskild osäkerhet utan bedömningen är att osäkerheter hanteras på ett adekvat sätt genom scenarioanalys och konservativa antaganden



Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning

## Referenser

**Babaahmadi A, 2015.** Durability of cementitious materials in long-term contact with water. Doktorsavh. Chalmers tekniska högskola.

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

**SKB, 2014a.** Waste form and packaging process report for the safety assessment SR-PSU. SKB TR-14-03, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2014b.** Data report for the safety assessment SR-PSU. SKB TR-14-10, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2015a.** Safety analysis for SFR. Long-term safety. Main report for the safety assessment SR-PSU. Revised edition. SKB TR-14-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.

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

**SSM, 2016.** Begäran omkomplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – Utveckling av betongegenskaper i 1-2BMA. SSM2015-725-36, Strålsäkerhetsmyndigheten.