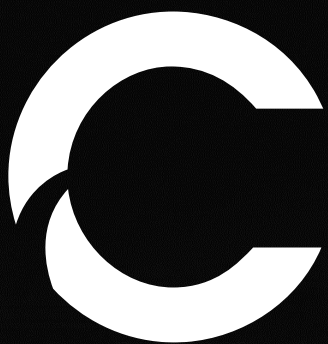




# Kalkudfældninger 2.0

## *Udvikling af forsøgsmetode*

Jens Mouritsen Møller





# | Hvorfor ønsker vi at genoptage emnet?

- Udvikling af forsøgsmetode
- Undersøge og forstå kalkudfældninger m. Forskellige additiver
- Undersøge og forstå kalkudfældninger m. FutureCEM



# | Hvad skal vi igennem i dag?

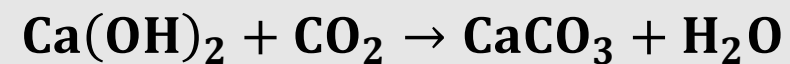
- Hvad er kalkudfældninger?
- Udvikling af forsøgsmetode
- Test af additiver
- Test af FUTURECEM



# Reaktionen bag udfældningen – Alle typer beton

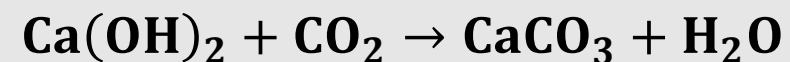


Calciumhydroxid (Let opløselig). Gør betonen basisk og kan omdannes til  $\text{CaCO}_3$  ved reaktion med  $\text{CO}_2$ .



# Reaktionen bag udfældningen – Alle typer beton

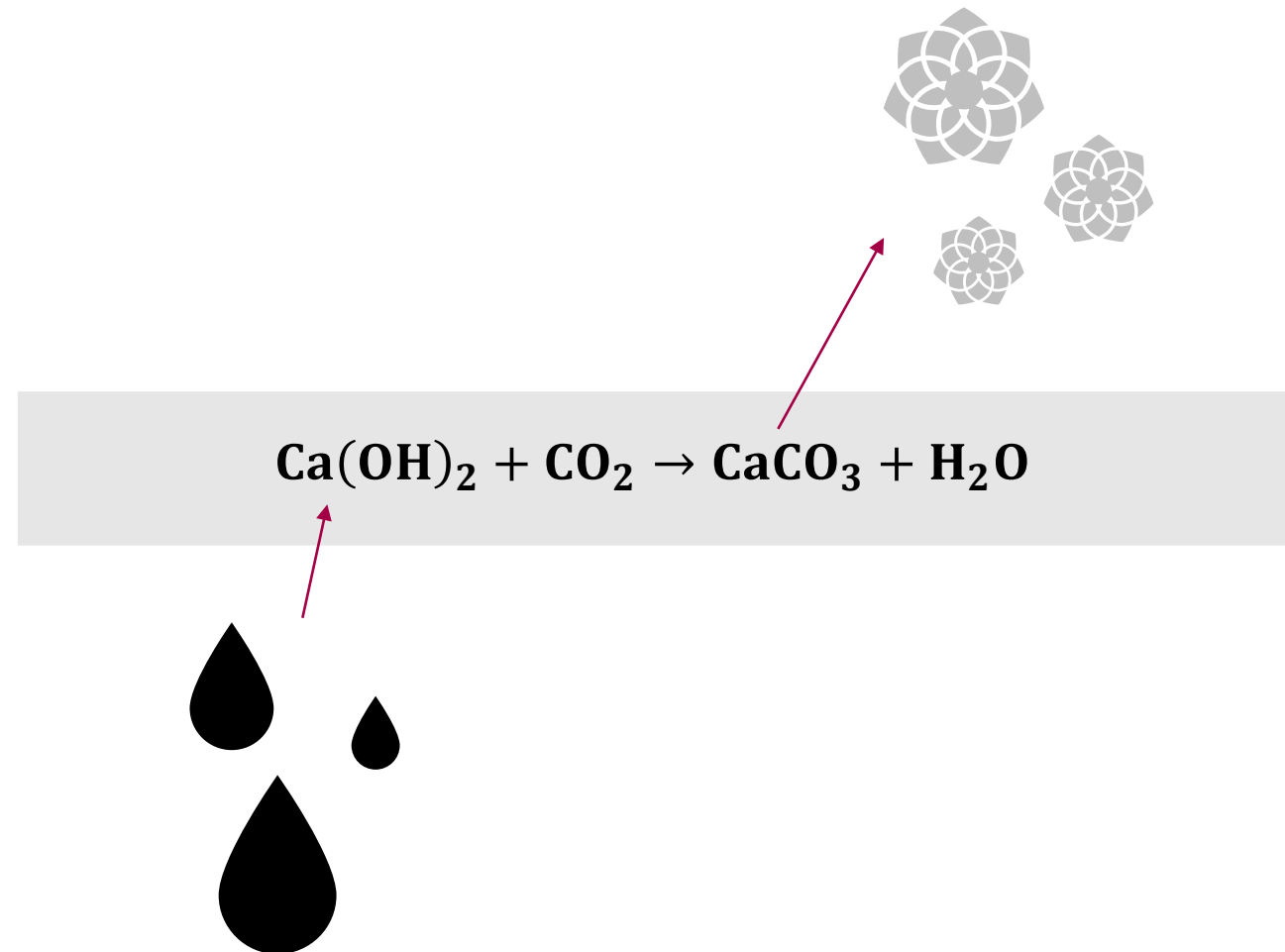
|                           |                                                                                                                              |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ca(OH)<sub>2</sub></b> | Calciumhydroxid (Let opløselig). Gør betonen basisk og kan omdannes til CaCO <sub>3</sub> ved reaktion med CO <sub>2</sub> . |
| <b>CO<sub>2</sub></b>     | Kuldioxid. Atmosfærisk luft indeholder ca. 0,04% kuldioxid.                                                                  |





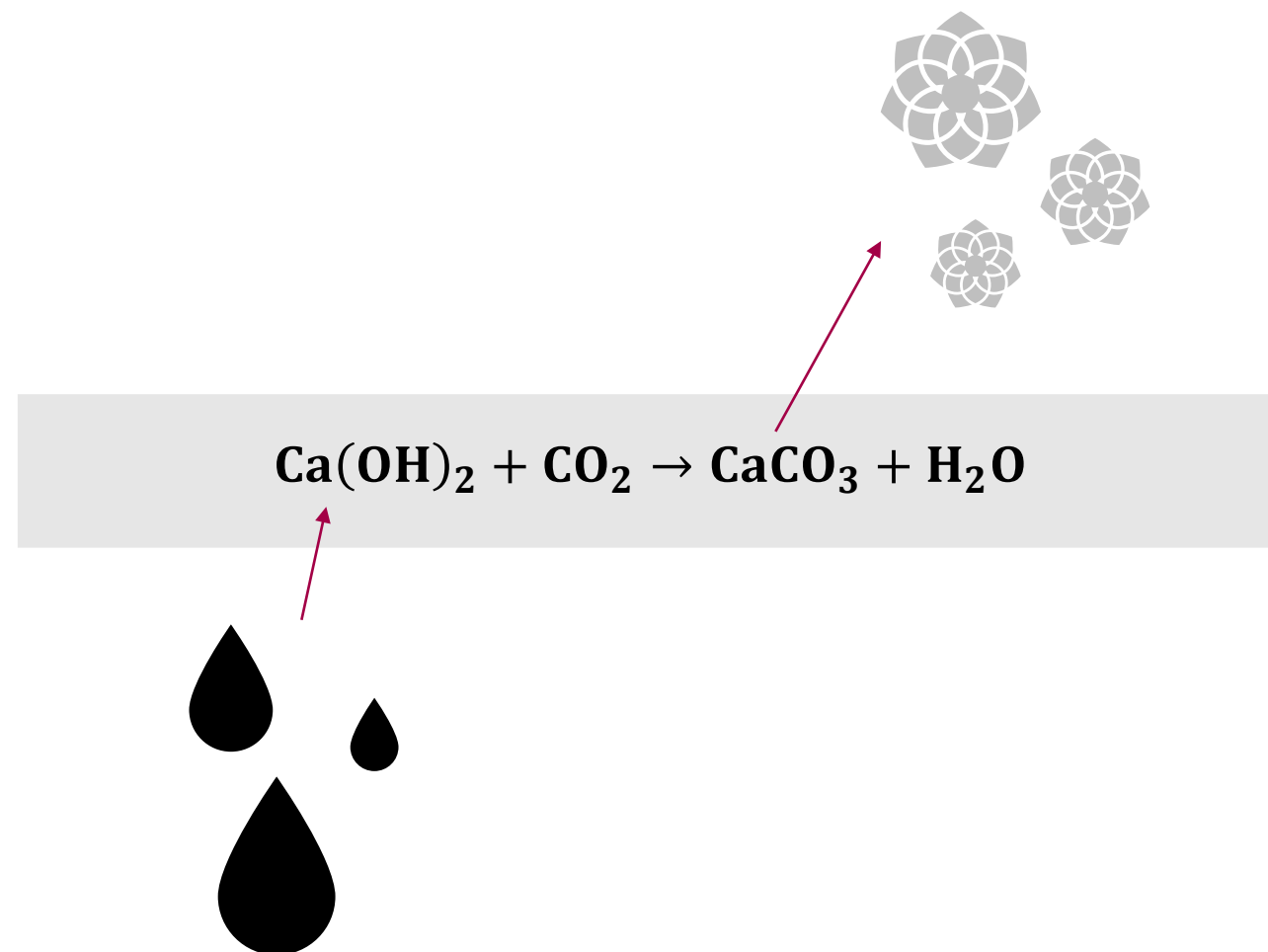
# Reaktionen bag udfældningen – Alle typer beton

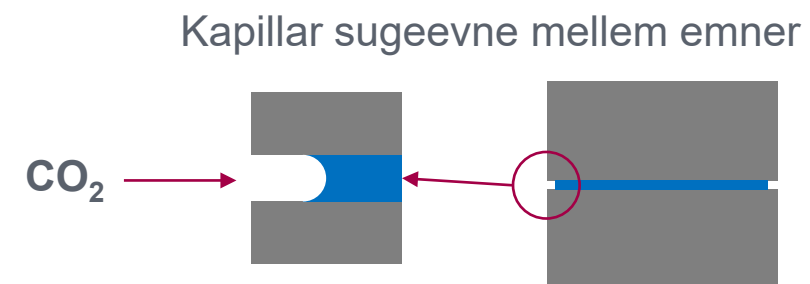
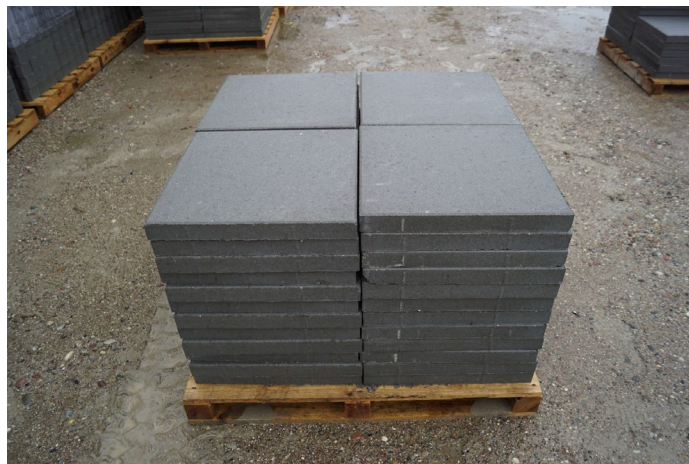
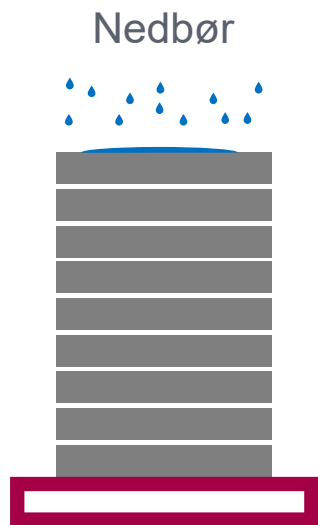
|                           |                                                                                                                              |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ca(OH)<sub>2</sub></b> | Calciumhydroxid (Let opløselig). Gør betonen basisk og kan omdannes til CaCO <sub>3</sub> ved reaktion med CO <sub>2</sub> . |
| <b>CO<sub>2</sub></b>     | Kuldioxid. Atmosfærisk luft indeholder ca. 0,04% kuldioxid.                                                                  |
| <b>CaCO<sub>3</sub></b>   | Calciumkarbonat (Tungtopløselig). Findes som kalk, kridt, marmor eller udfældninger på overflader.                           |



# Reaktionen bag udfældningen – Alle typer beton

|                           |                                                                                                                              |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ca(OH)<sub>2</sub></b> | Calciumhydroxid (Let opløselig). Gør betonen basisk og kan omdannes til CaCO <sub>3</sub> ved reaktion med CO <sub>2</sub> . |
| <b>CO<sub>2</sub></b>     | Kuldioxid. Atmosfærisk luft indeholder ca. 0,04% kuldioxid.                                                                  |
| <b>CaCO<sub>3</sub></b>   | Calciumkarbonat (Tungtopløselig). Findes som kalk, kridt, marmor eller udfældninger på overflader.                           |
| <b>H<sub>2</sub>O</b>     | Vand. Kan fungere som transportmedie for Ca(OH) <sub>2</sub> i betonens porer.                                               |



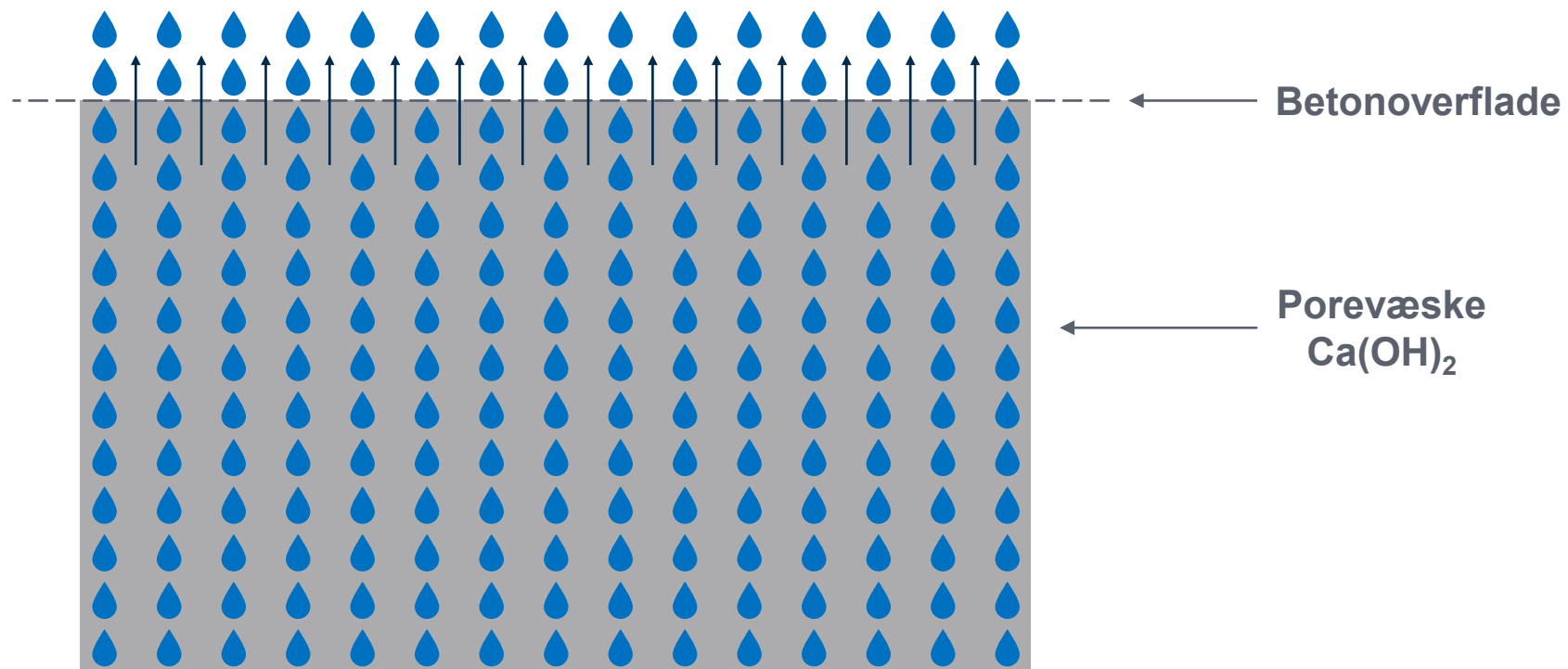


# Udfældningsprocessen

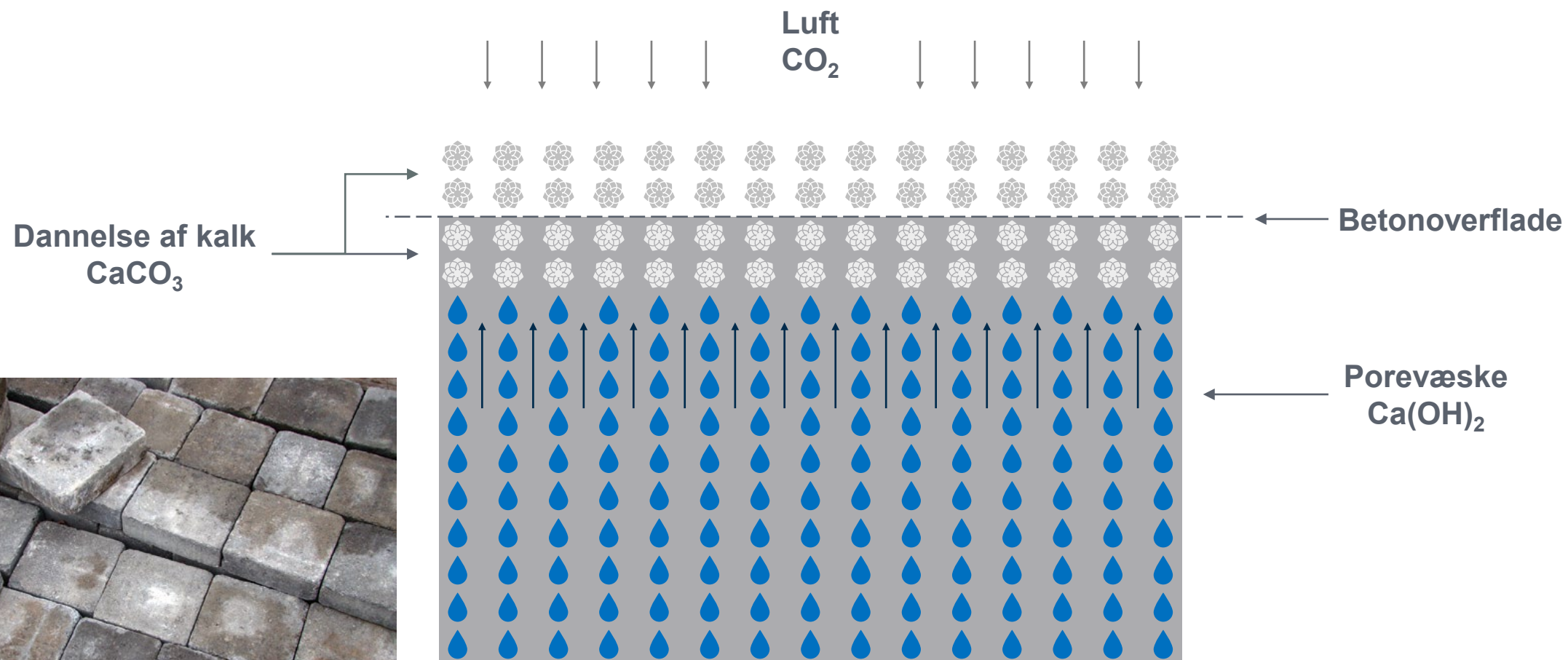
## Primære kalkudfældninger



# Udfældningsprocessen – Vandmætning af overflade



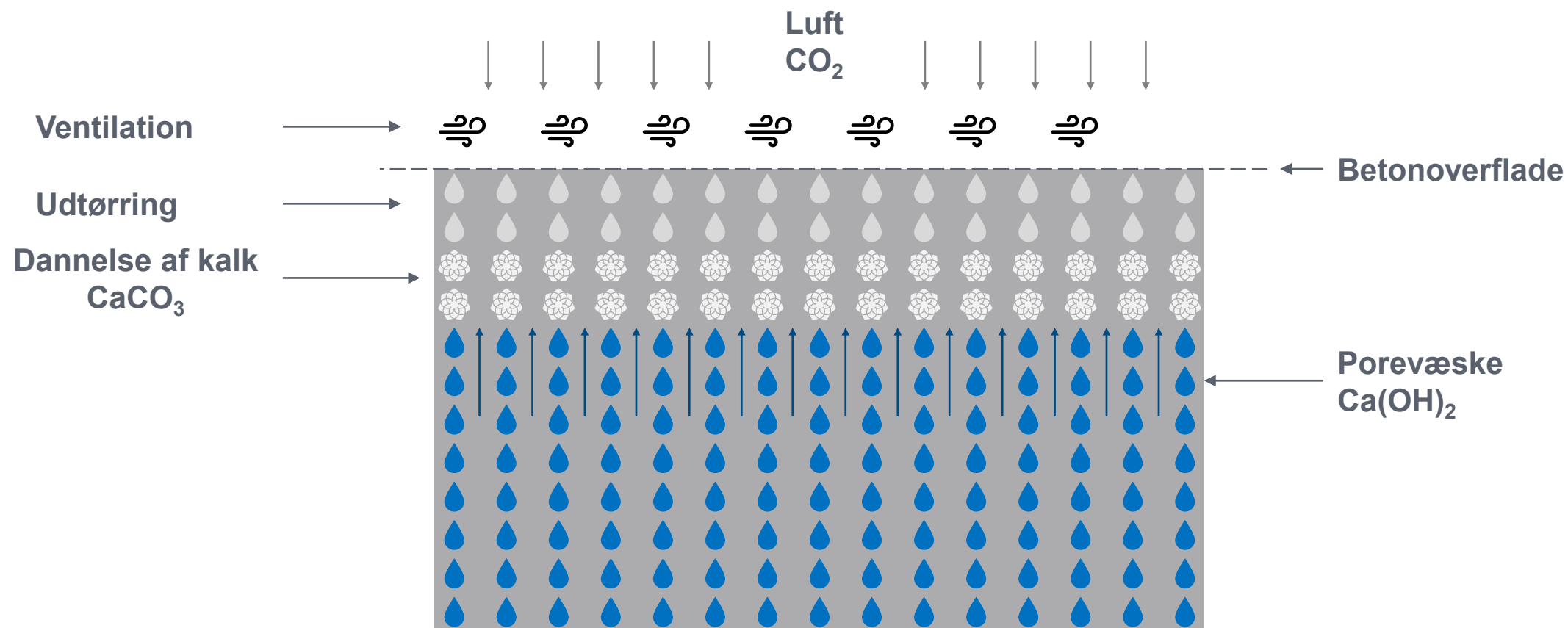
# Udfældningsprocessen – Kalkdannelse uden på overfladen



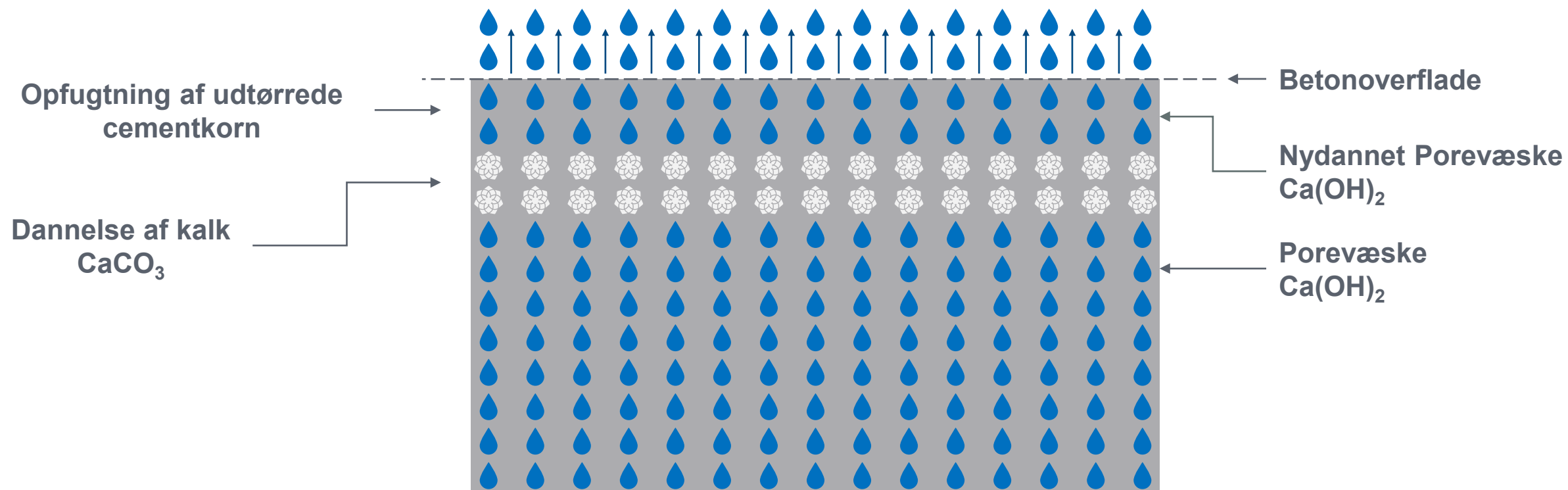
# Udfældningsprocessen - Sekundære kalkudfældninger



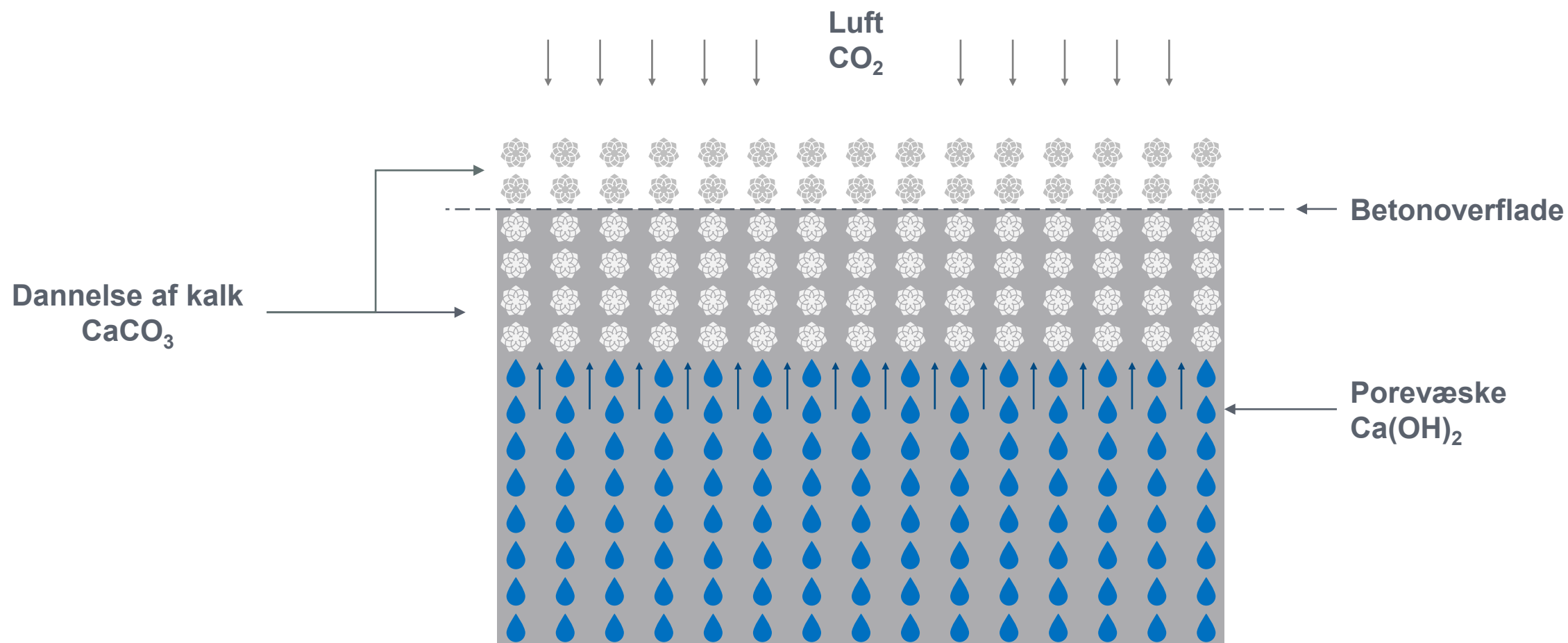
# Udfældningsprocessen – Udtørring af frisk betonoverflade



# Udfældningsprocessen – Opfugtning af udtørret overflade



# Udfældningsprocessen – Kalkdannelse uden på overfladen



# |Udvikling af forsøgsmetode

Krav #1  
Repetérbarhed

Krav #2  
Gengive primære udfældninger

Krav #3  
Gengive sekundære udfældninger

Krav #4  
Gengive felteksponering

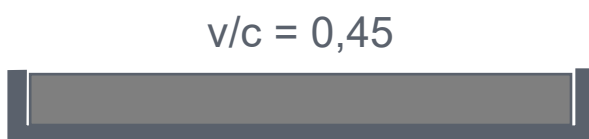




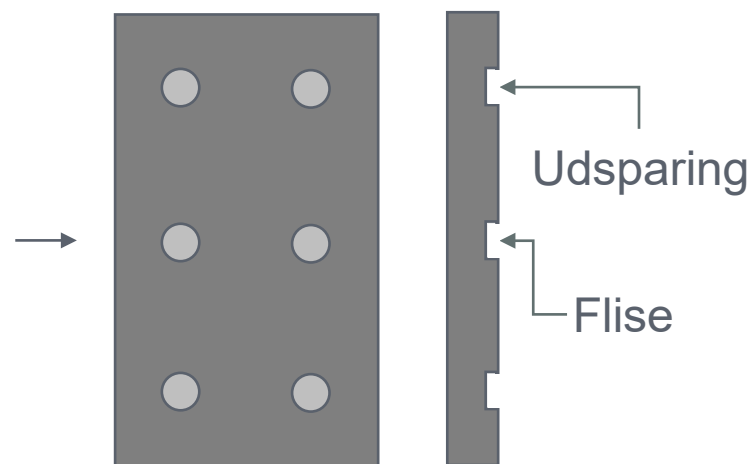
# Forsøgsopstilling

AP undersøgelse af metode til eftervisning af kalkudfældninger

## Støbning af fliser

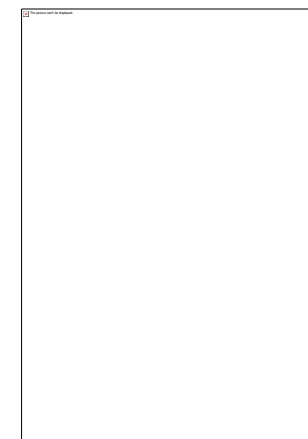


## Form og opstilling



Set oppefra

## Lagring og vandpåvirkning



19t

2d

7d

Klimaskab  
[°C] / [%RF]

# Repetérbarhed

## Forsøg

Krav #1

Repetérbarhed

Krav #2

Gengive primære udfældninger

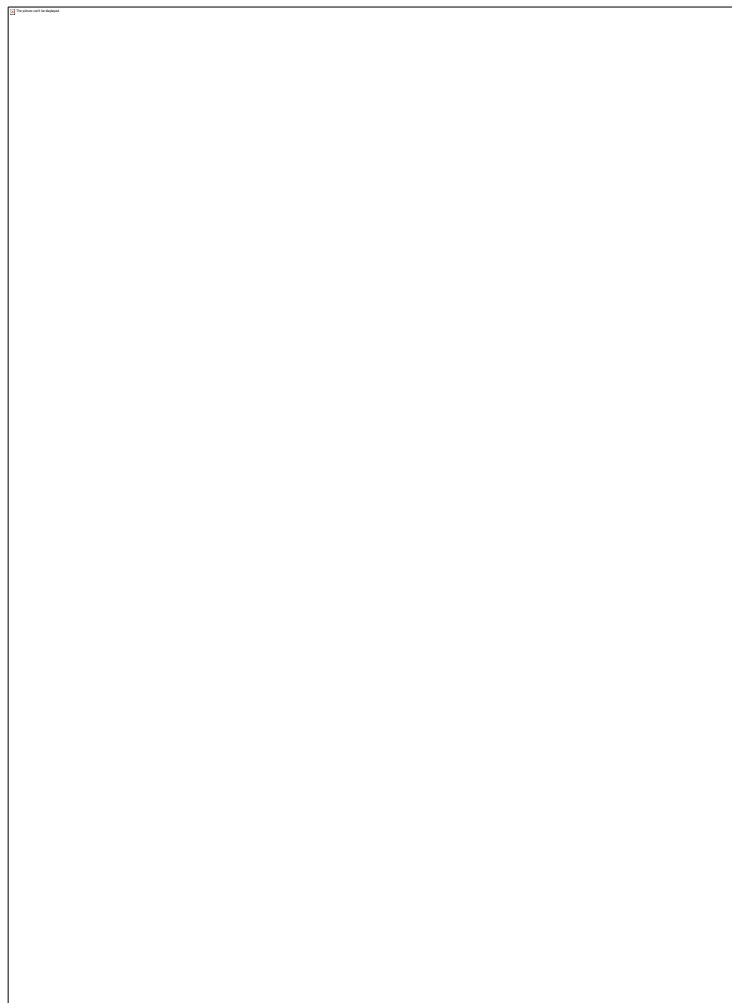
## Emner

- Emne 5 – REF 20°C / 95%RF
- Emne 8 – REF Gent. 20°C / 95%RF

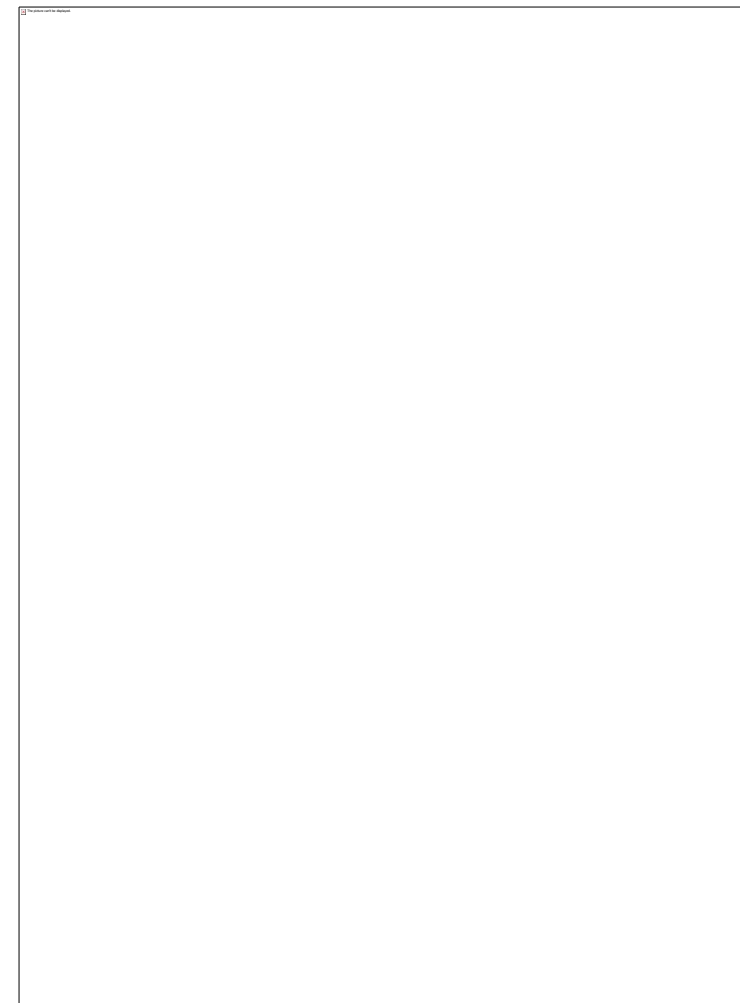
## Test/Hypotese

Det forventes at to emner af samme beton udsat for samme eksponering vil udvise samme udfældningsmønster

Emne 5  
Reference 20°C / 95%RF



Emne 8  
Reference 20°C / 95%RF



# Repetérbarhed – Opsummering

|                                                         | Emne 5<br>Reference 20°C / 95%RF | Emne 8<br>Reference 20°C / 95%RF |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| • Samme udfældning på begge emner ved alle tre terminer |                                  |                                  |
|                                                         |                                  | 19 timer                         |
| • Udfældningen reduceres ved forsinket vandeksponering  |                                  |                                  |
|                                                         |                                  | 2 døgn                           |
|                                                         |                                  | 7 døgn                           |

# | Udvikling af forsøgsmetode

Krav #1   
Repetérbarhed

Krav #2   
Gengive primære udfældninger

Krav #3  
Gengive sekundære udfældninger

Krav #4  
Gengive felteksporer

# | Sekundære udfældninger, udtørring

Emne 5  
Reference 20°C / 95%RF

Emne 9  
Reference 20°C / 40%RF

## Forsøg

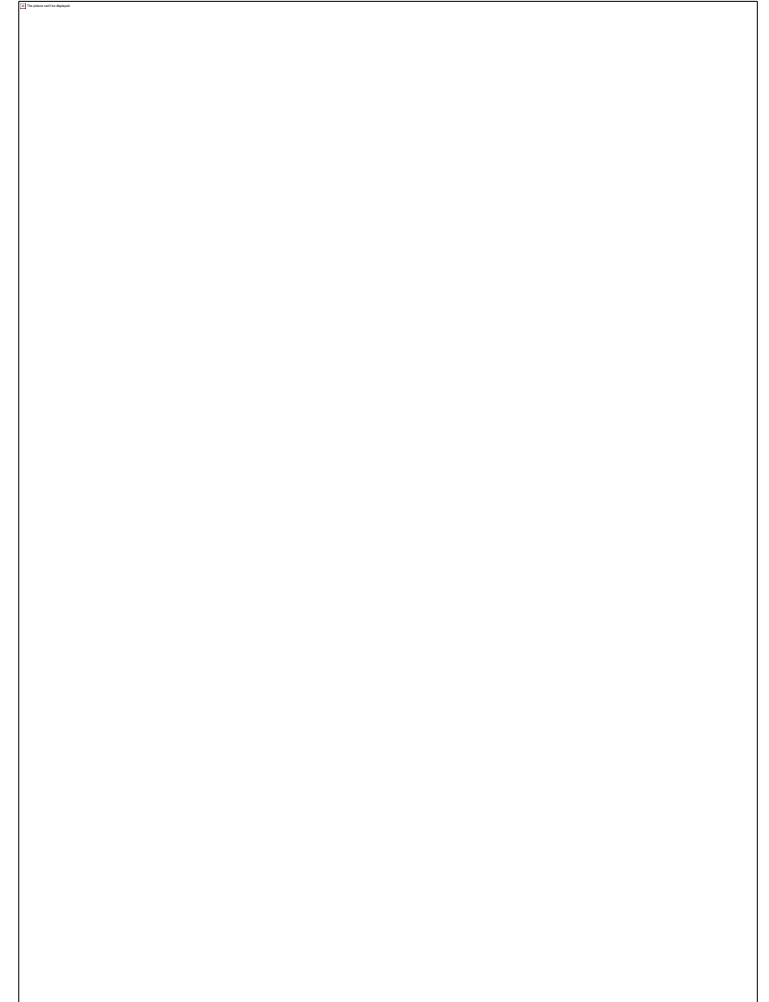
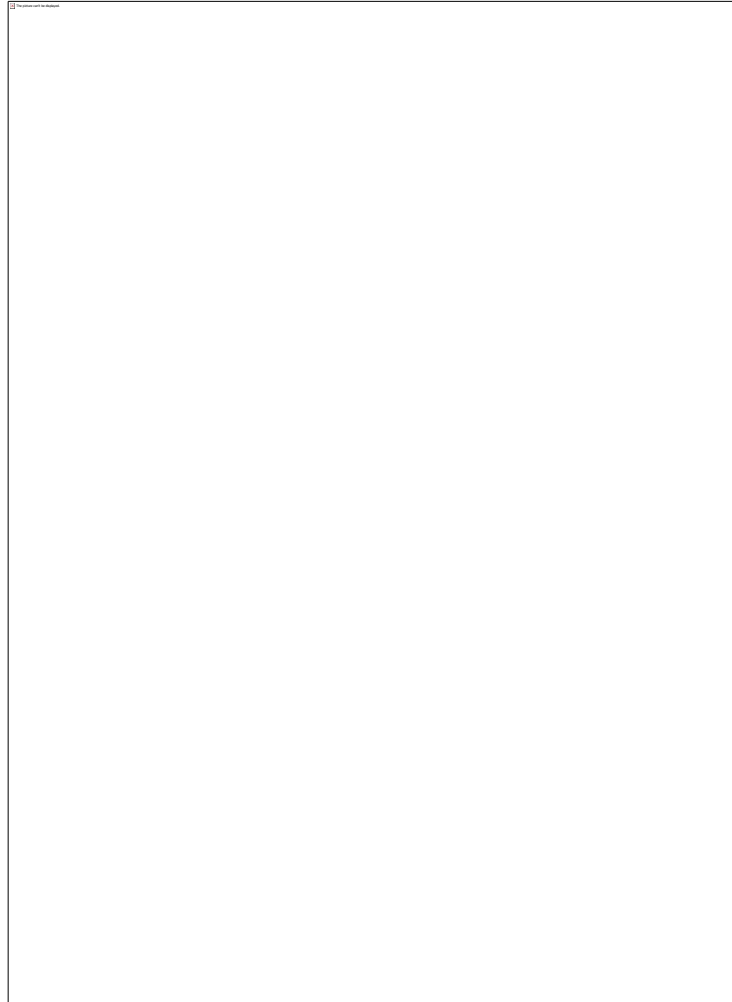
Krav #3  
Gengive sekundære udfældninger

## Emner

- Emne 5 – REF 20°C / 95%RF
- Emne 9 – REF 20°C / 40%RF

## Test/Hypotese

Det forventes at emner udsat for kraftig udtørring vil udvise større mængder udfældninger på de sene terminer sammenlignet med referencen.





# Sekundære udfældninger, udtørring - Opsummering

Emne 5  
Reference 20°C / 95%RF

Emne 9  
Reference 20°C / 40%RF

- Mindre udfældning efter 19 timer på emner med kraftig udtørring

19 timer

# Sekundære udfældninger, udtørring - Opsummering

Emne 5  
Reference 20°C / 95%RF

Emne 9  
Reference 20°C / 40%RF

- Mindre udfældning efter 2 døgn på emner med kraftig udtørring

2 døgn

# Sekundære udfældninger, udtørring - Opsummering

Emne 5  
Reference 20°C / 95%RF

Emne 9  
Reference 20°C / 40%RF

- Større udfældning efter 7 døgn på emner med kraftig udtørring

7 døgn

# | Udvikling af forsøgsmetode

Krav #1   
Repetérbarhed

Krav #2   
Gengive primære udfældninger

Krav #3   
Gengive sekundære udfældninger

Krav #4  
Gengive felteksporer

# Felteksponerering

## Forsøg

Krav #4

Gengive felteksponerering

## Emner

- Emne 13 – REF 0-10°C / 70-90%RF (ude)
- Emne 1 – REF 10°C / 95%RF

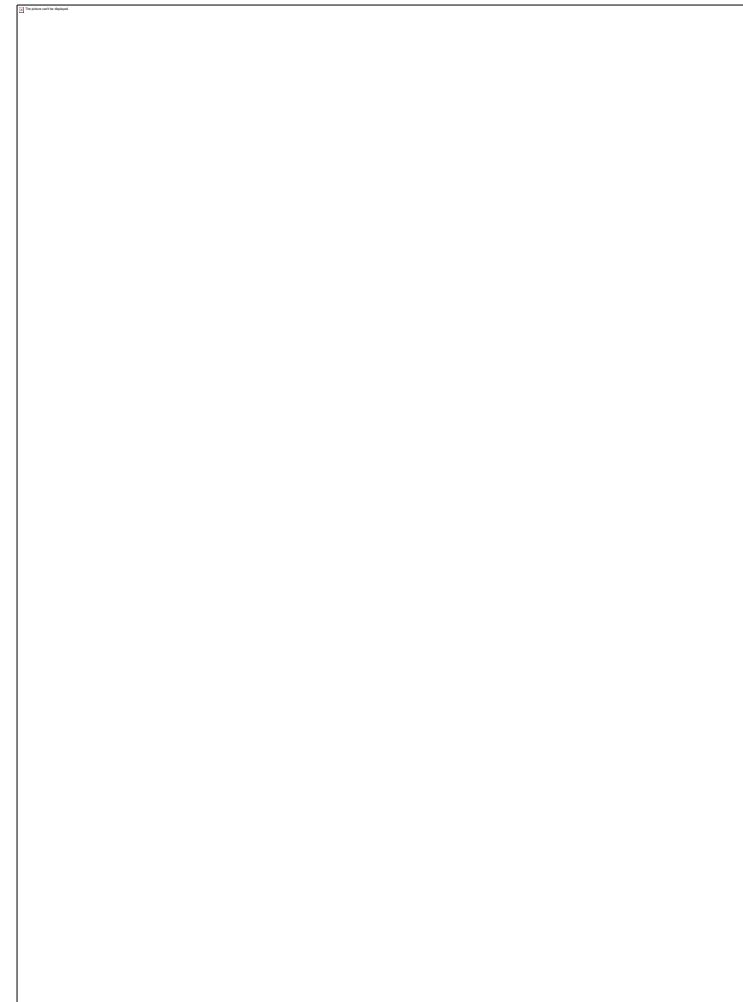
## Test/Hypotese

Det forventes at emner lagret ved felteksponerering vil udvise sammenlignelig udfældning ved lignende eksponering i hærdekammer.

Emne 13  
Felteksponerering



Emne 1  
Reference 10°C / 95%RF



# Felt eksponering

- Emner fra felteksponering viser sammen tendens til udfældning som emner lagret op kontoret.

Emne 13  
Reference 0-10°C / 70-90%RF

Emne 1  
Reference 10°C / 95%RF

19 timer

2 døgn

7 døgn

# | Udvikling af forsøgsmetode

Krav #1   
Repetérbarhed

Krav #2   
Gengive primære udfældninger

Krav #3   
Gengive sekundære udfældninger

Krav #4   
Gengive feltekspatering



# | Undersøgelse af forskellige additivers indvirkning

Additiv test #1

Indblandet hydrofobering

Additiv test #2

Coating, hydrofobering

Additiv test #3

Indblandet plastificering

# Indblandet hydrofobering

Emne 10  
Additiv 20°C / 40%RF

Emne 9  
Reference 20°C / 40%RF

## Forsøg

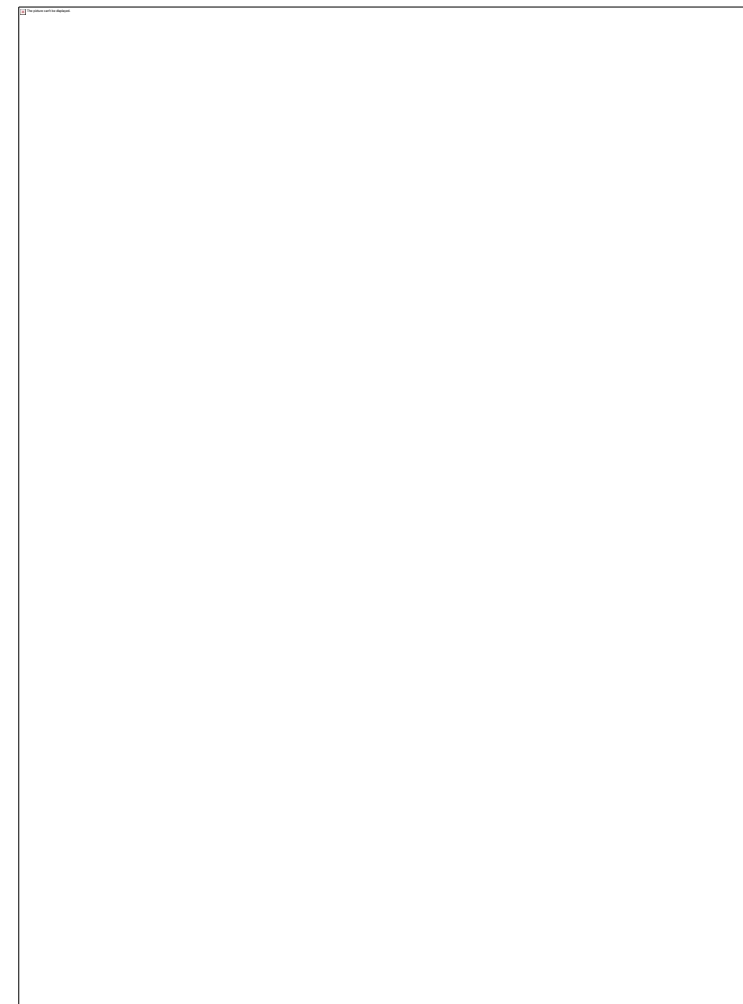
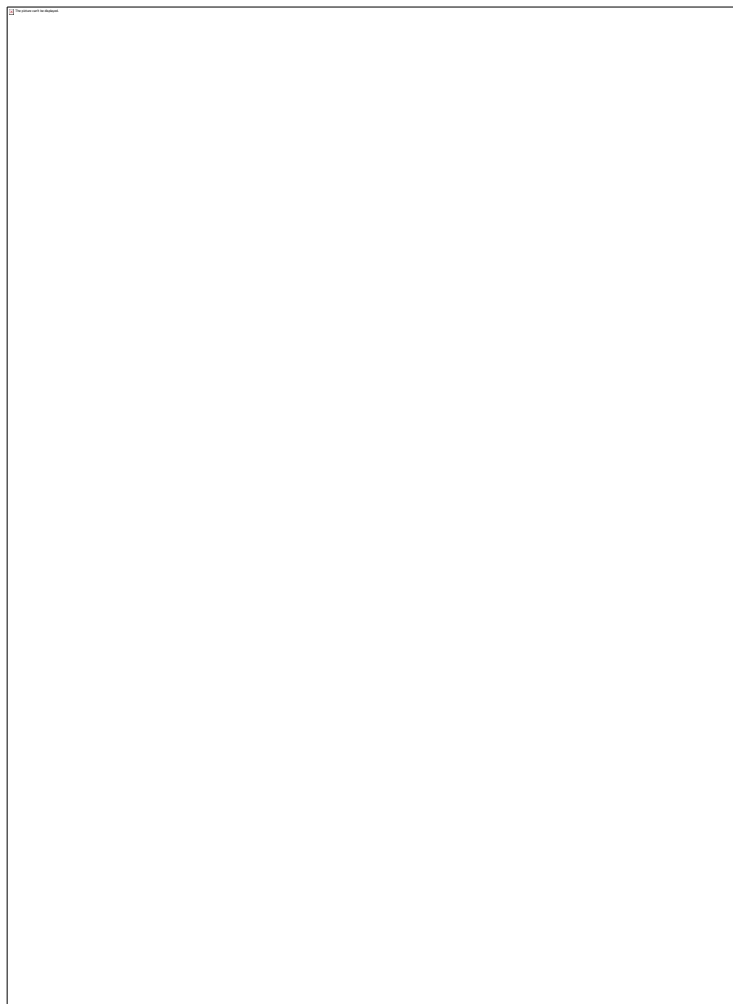
- Variabel Indblandet hydrofobering

## Emner

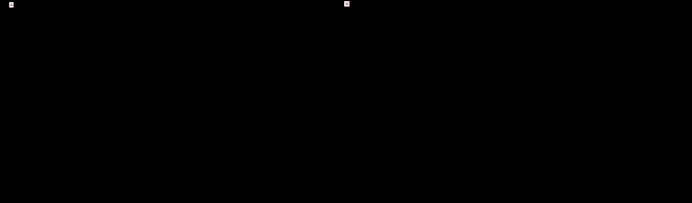
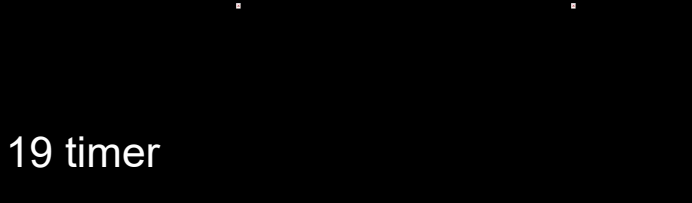
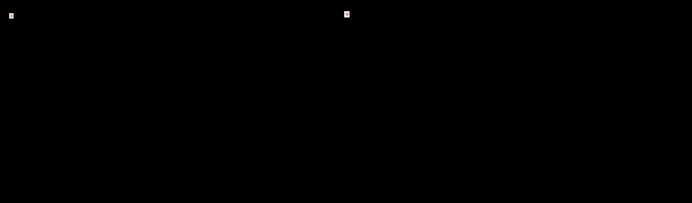
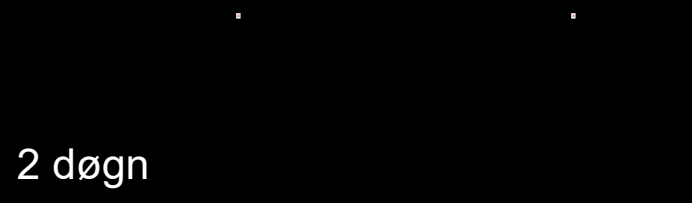
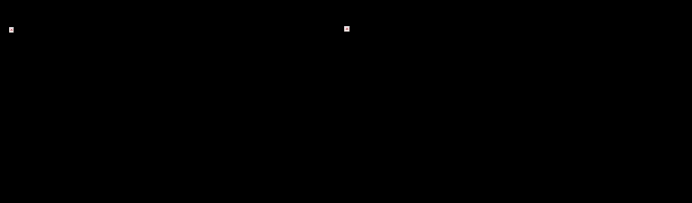
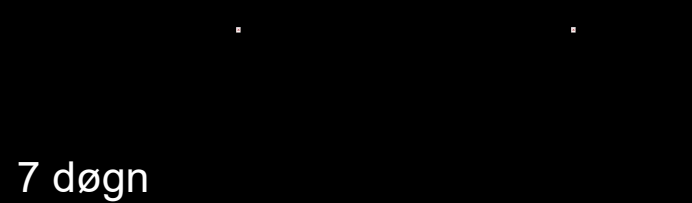
- Emne 9 – REF 20°C / 40%RF
- Emne 10 – ADD 20°C / 40%RF

## Test/Hypotese

Det forventes at emner med indblandet hydrofobering udviser mindre udfældninger



# Indblandet hydrofobering - Opsummering

|                                                                                                  | Emne 10<br>M. Additiv 20°C / 40%RF                                                  | Emne 9<br>Reference 20°C / 40%RF                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| • Ingen tydelig ændring mht. udfældninger                                                        |   |   |
|                                                                                                  | 19 timer                                                                            |                                                                                      |
| • Samme tendens ses også på forsøg med lavere temperatur (Emne 1 og Emne 2) som ikke er vist her |   |   |
|                                                                                                  | 2 døgn                                                                              |                                                                                      |
|                                                                                                  |  |  |
|                                                                                                  | 7 døgn                                                                              |                                                                                      |

# Coating

## Forsøg

- Variabel                      Coating

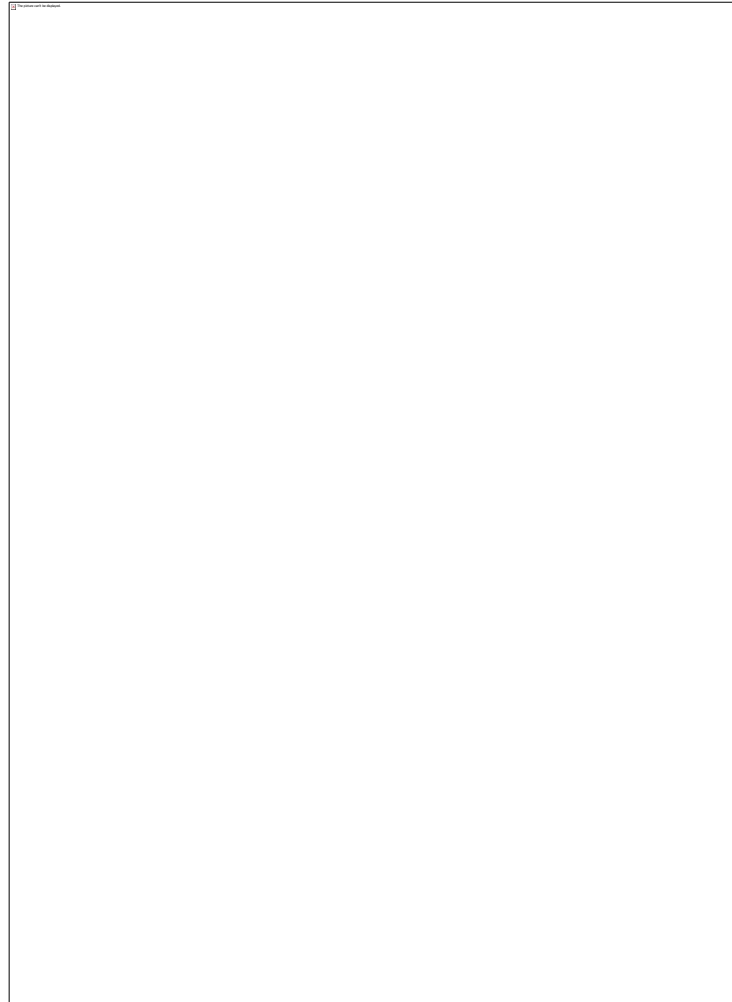
## Emner

- Emne 9 – REF 20°C / 40%RF
- Emne 11 – COA 20°C / 40%RF

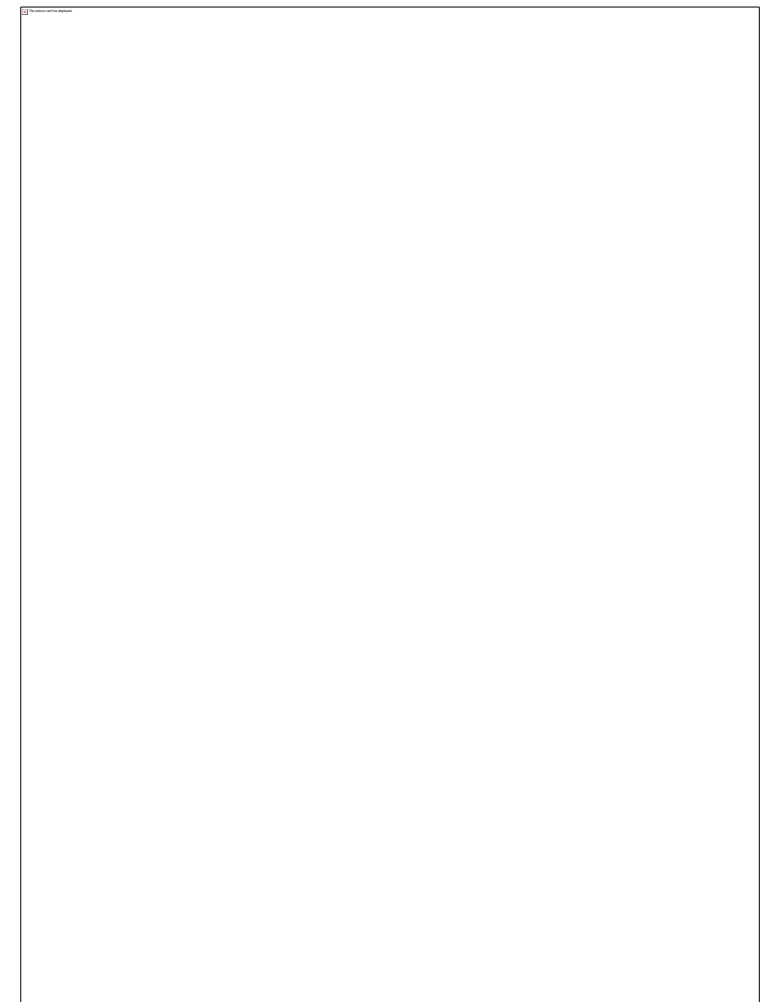
## Test/Hypotese

Det forventes at emner med coating  
hydrofobering udviser mindre udfældninger

Emne 11  
Coating 20°C / 40%RF



Emne 9  
Reference 20°C / 40%RF



# Coating - Opsummering

|                                                                                                  | Emne 11<br>M. Coating 20°C / 40%RF | Emne 9<br>Reference 20°C / 40%RF |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| • Svag tendens til mere udfældning                                                               |                                    |                                  |
|                                                                                                  |                                    | 19 timer                         |
| • Samme tendens ses også på forsøg med lavere temperatur (Emne 1 og Emne 3) som ikke er vist her |                                    |                                  |
|                                                                                                  |                                    | 2 døgn                           |
|                                                                                                  |                                    | 7 døgn                           |

# | Plastificering

## Forsøg

- Variabel                      Plastificering

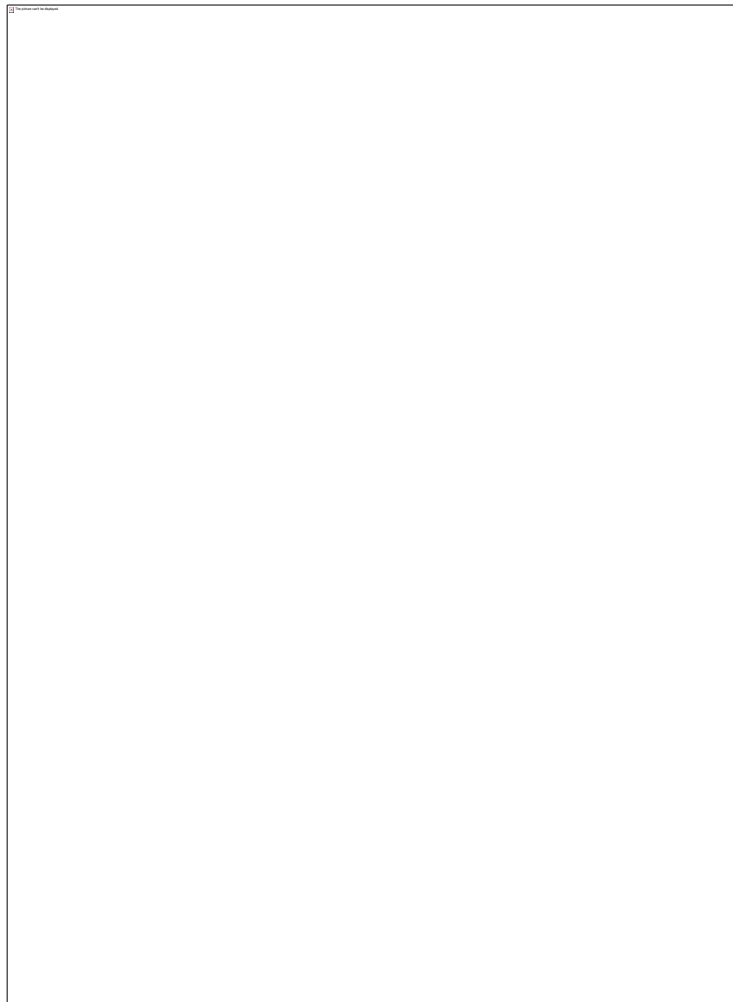
## Emner

- Emne 9 – REF 20°C / 40%RF
- Emne 12 – PLA 20°C / 40%RF

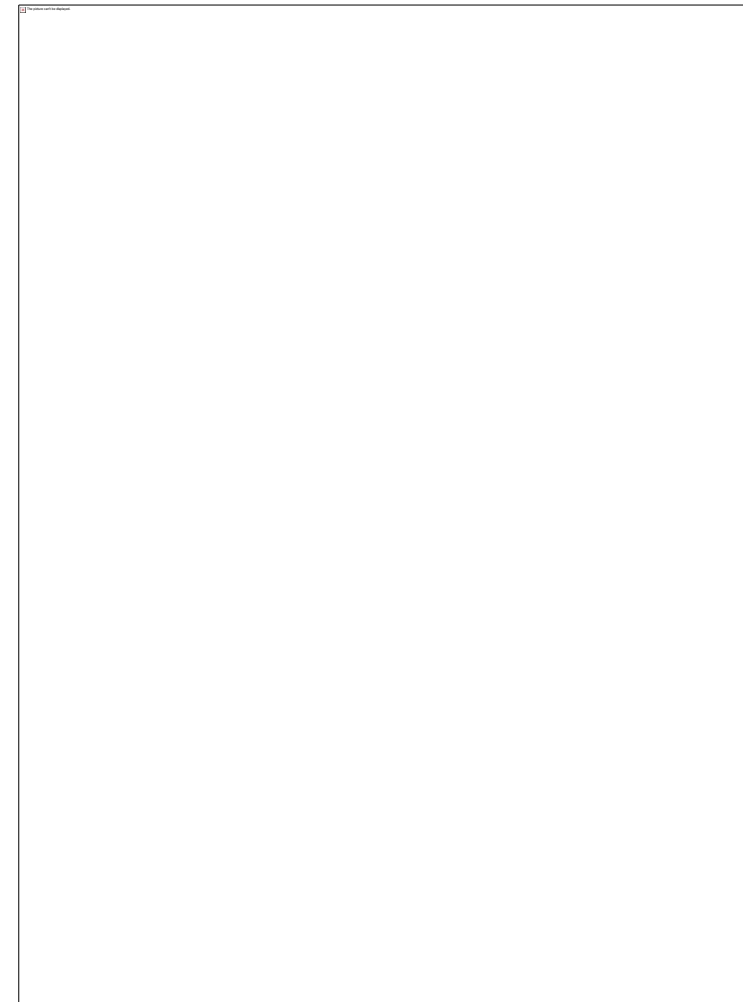
## Test/Hypotese

Det forventes at emner med plastificering udviser mindre udfældninger

Emne 12  
Plastificering 20°C / 40%RF



Emne 9  
Reference 20°C / 40%RF



# Plastificering - Opsummering

|                                                            | Emne 12<br>Plastificering 20°C / 40%RF | Emne 9<br>Reference 20°C / 40%RF |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| • Samme udfældning efter 19 timer og 2 døgn                |                                        |                                  |
|                                                            | 19 timer                               |                                  |
| • Færre udfældninger efter 7 døgn (sekundære udfældninger) |                                        |                                  |
|                                                            | 2 døgn                                 |                                  |
|                                                            | 7 døgn                                 |                                  |

## Forsøg

- Variabel FutureCEM

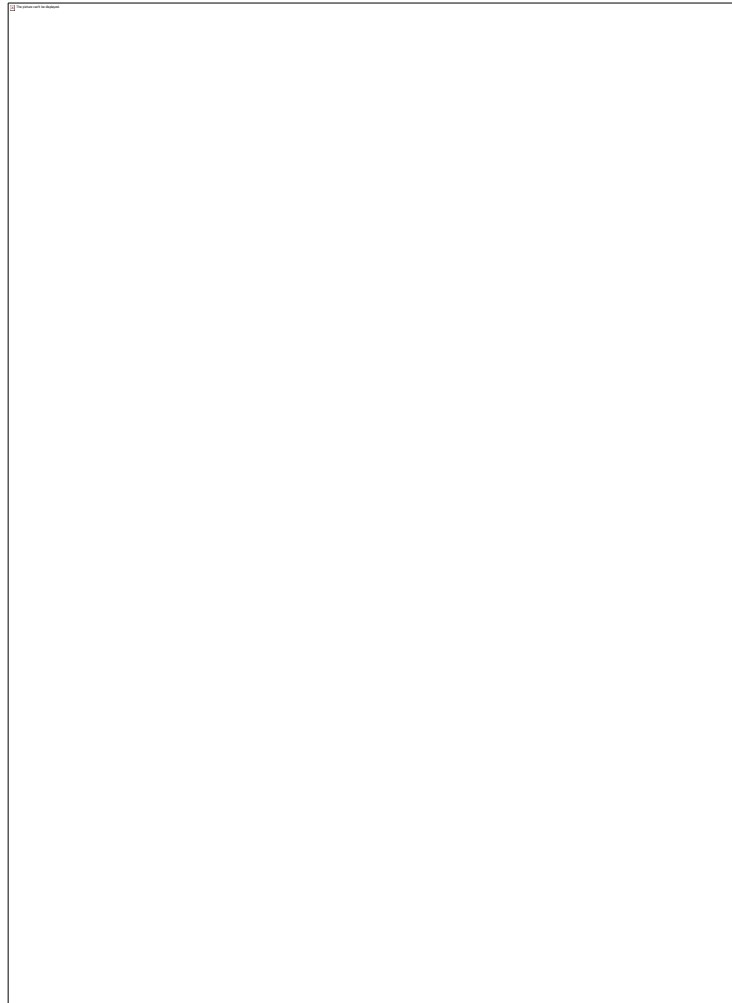
## Emner

- Emne 5 – REF 20°C / 95%RF
- Emne 7 – FUT 20°C / 95%RF

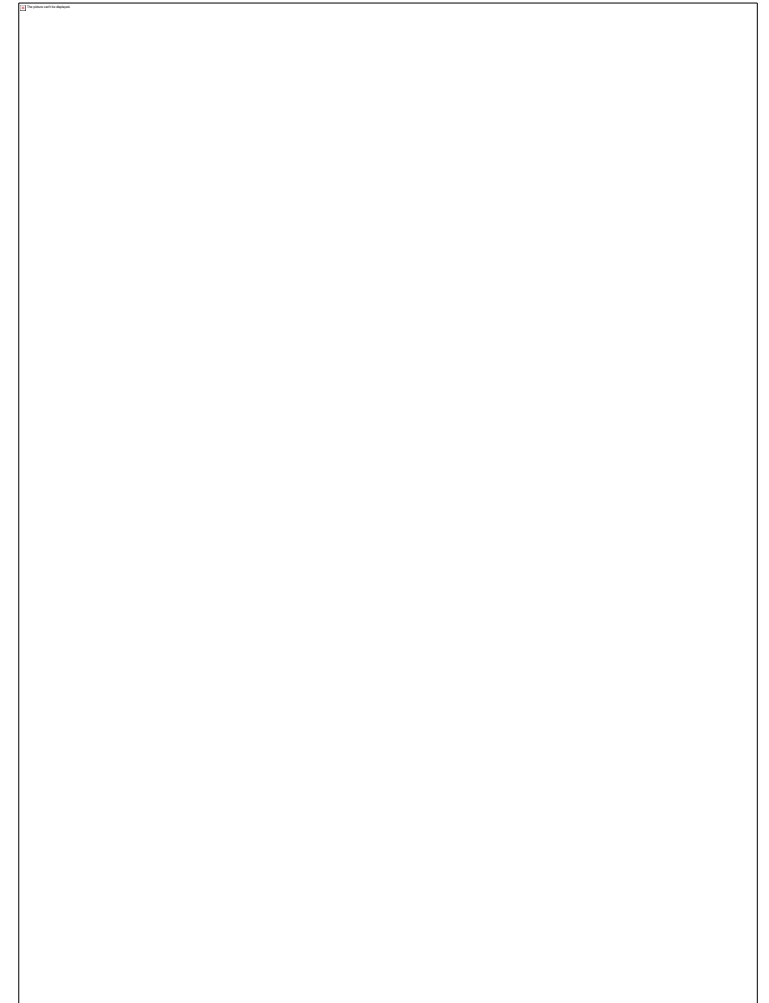
## Test/Hypotese

Det forventes at emner med FutureCEM har samme risiko for udfældning

Emne 5  
Reference 20°C / 95%RF



Emne 7  
FutureCEM 20°C / 95%RF





# FutureCEM – Opsummering

Emne 5  
Reference 20°C / 95%RF

Emne 7  
Reference 20°C / 95%RF

- Samme udfældning på begge emner ved 2 døgn
- Tendens til mindre udfældning v. 19 timer og 7 døgn.

19 timer

2 døgn

7 døgn

# | Samlet afrunding

- **Metode**  
Forsøgsmetoden fungerer.
- **Forsinket vandeksponering**  
Tidlig vandpåvirkning af overfladen giver større risiko for kalkudfældninger.
- **Udtørring reducerer tidlige kalkudfældninger**  
Kraftig udtørring reducerer kalkudfældning ved tidlig vandpåvirkning men øger risikoen for sekundære udfældninger.
- **Additiver**  
Plastificering har en reducerende effekt på sekundære udfældninger.
- **FutureCEM**  
CEM II/B-M (Q+LL) giver ikke større risiko for udfældninger end CEM I og CEM II/A-LL.



