

Kalkudfældninger

v. Jens Mouritsen Møller



Hvorfor ønsker vi at genoptage emnet?

- Ønske om at minimere problemet
- Ønske om at forstå alle delmaterialernes indvirkning på udfældningerne
- Ønske om at fastslå hvilke parametre, der har størst indvirkning på udfældningerne
- Ønske om at kortlægge udfældningspotentialer for kalkfillercement



| Hvad skal vi igennem i dag?

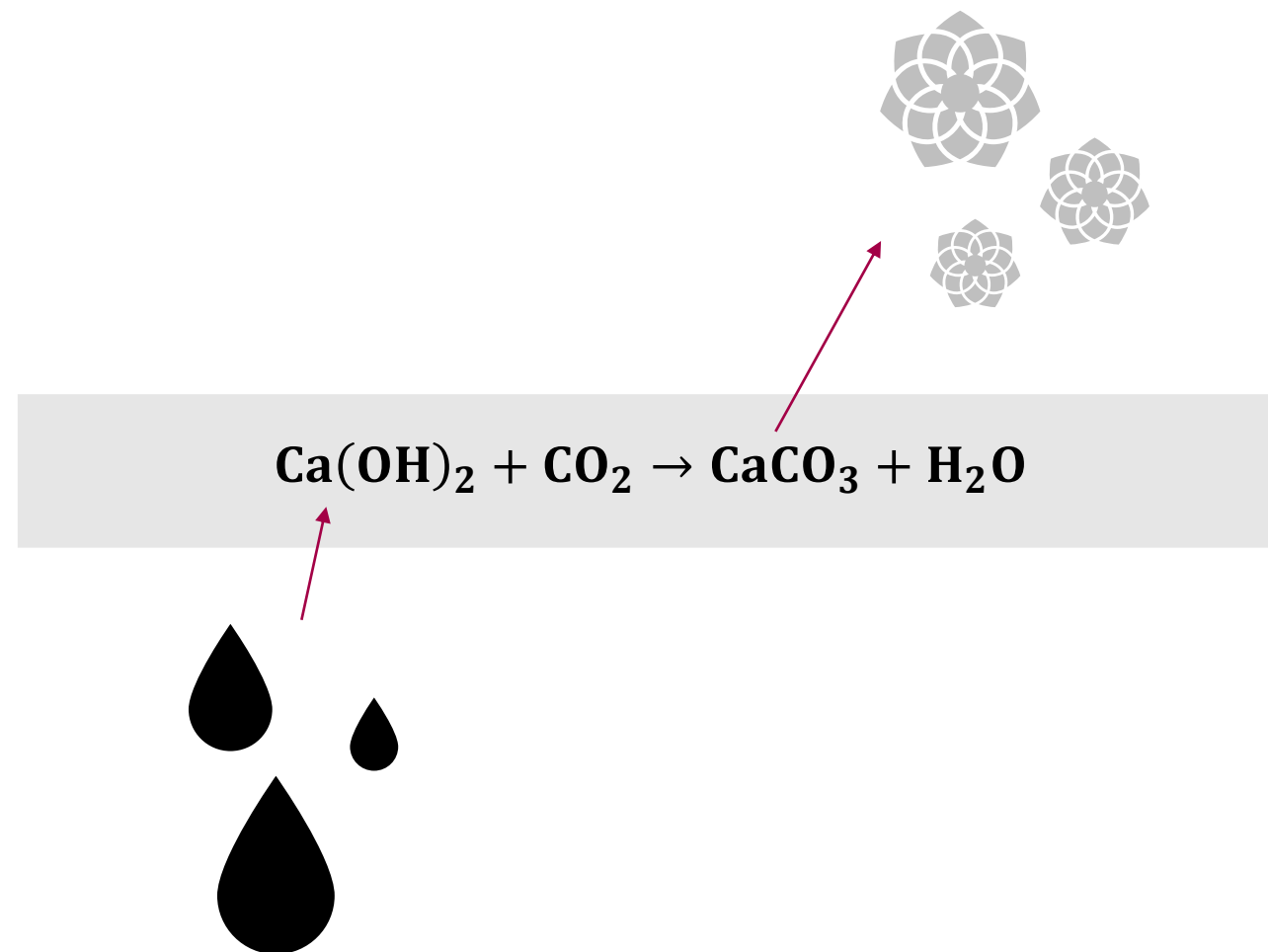
- Hvad er kalkudfældninger?
- Hvordan opstår kalkudfældninger?
- Hvilke eksponeringsparametre har betydning for udfældningspotentialiet?
- Hvilken betydning har valget af cementtype?
- Opsummering af tiltag for at reducere kalkudfældninger

| Hvad er kalkudfældninger og hvordan opstår de?



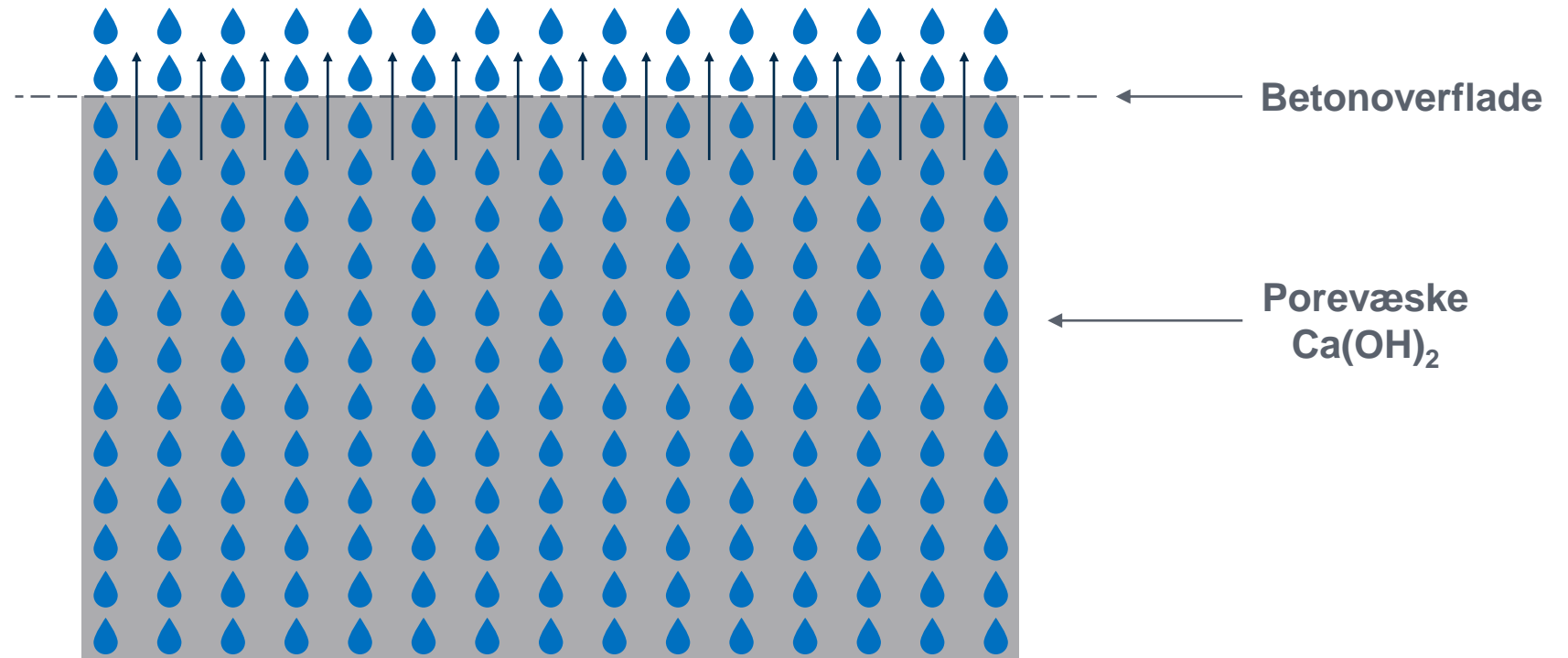
Reaktionen bag udfældningen – Alle typer beton

Ca(OH)₂	Calciumhydroxid (Let opløselig). Gør betonen basisk og kan omdannes til CaCO ₃ ved reaktion med CO ₂ .
CO₂	Kuldioxid. Atmosfærisk luft indeholder ca. 0,04% kuldioxid.
CaCO₃	Calciumkarbonat (Tungtopløselig). Findes som kalk, kridt, marmor eller udfældninger på overflader.
H₂O	Vand. Kan fungere som transportmedie for Ca(OH) ₂ i betonens porer.

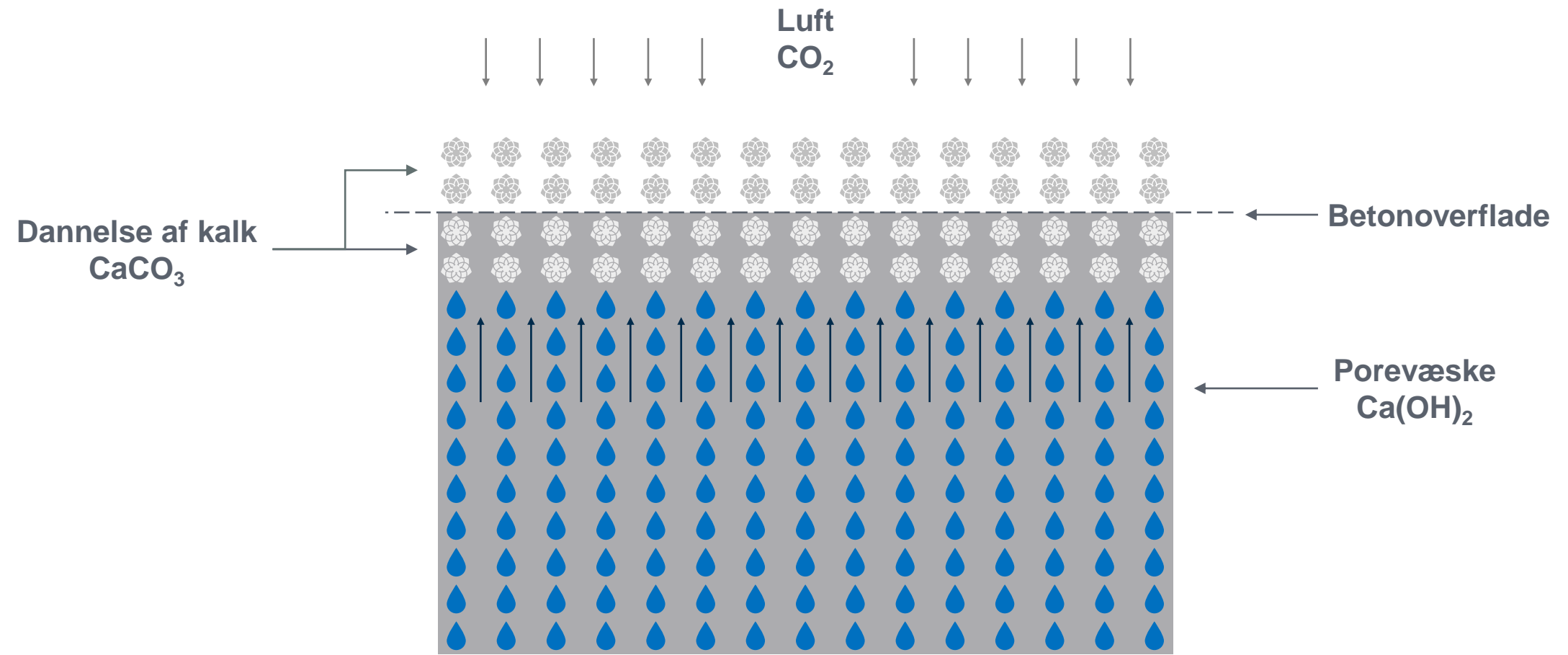


Udfældningsprocessen - Primære kalkudfældninger

Udfældningsprocessen – Vandmætning af overflade

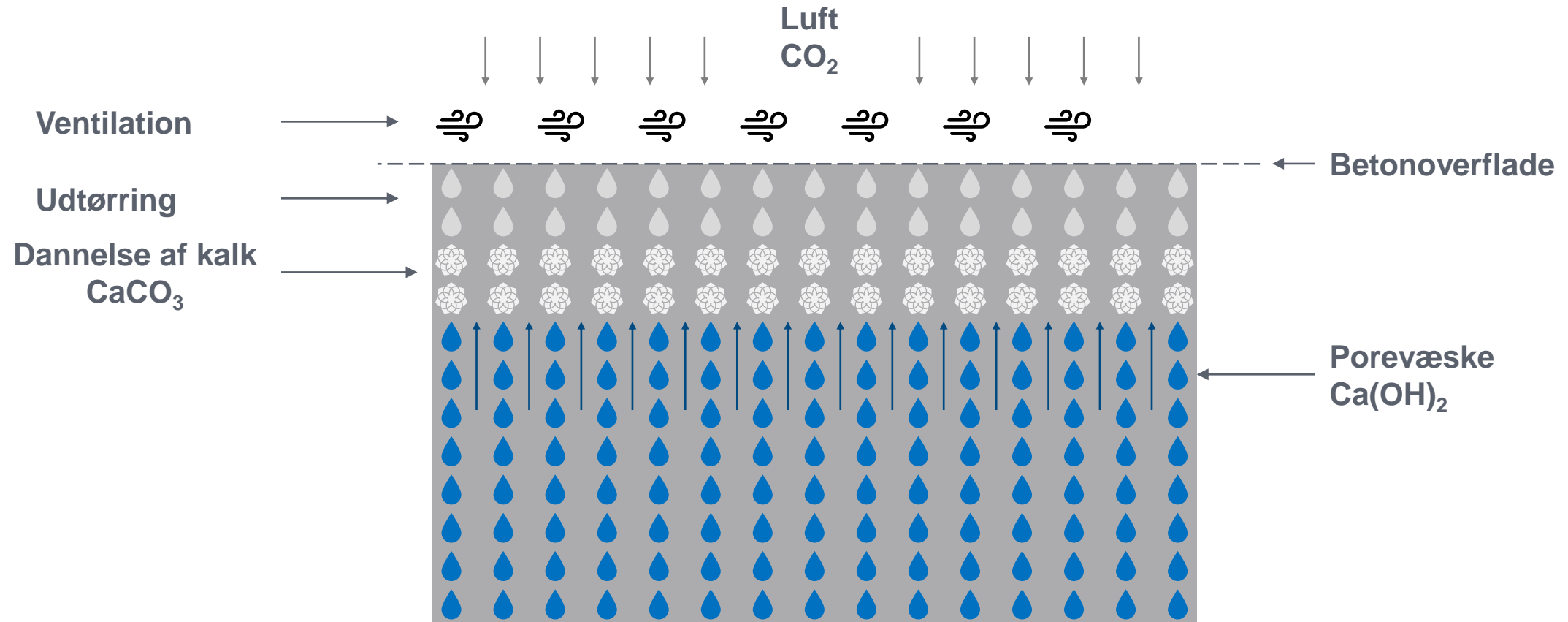


Udfældningsprocessen – Kalkdannelse uden på overfladen

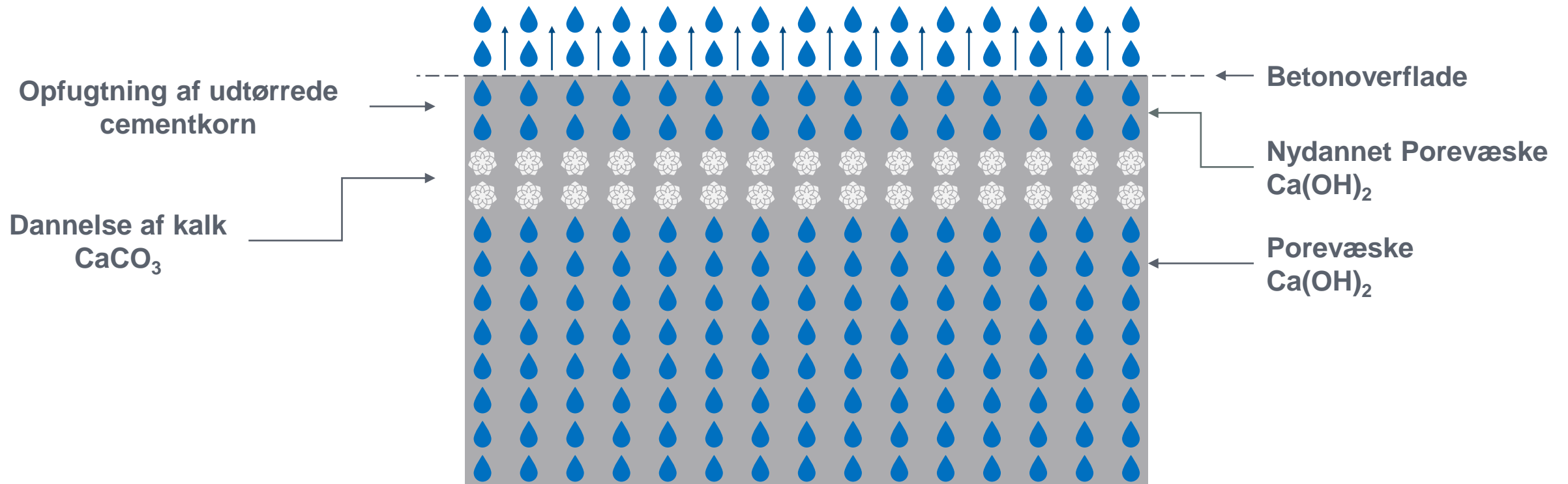


Udfældningsprocessen - Sekundære kalkudfældninger

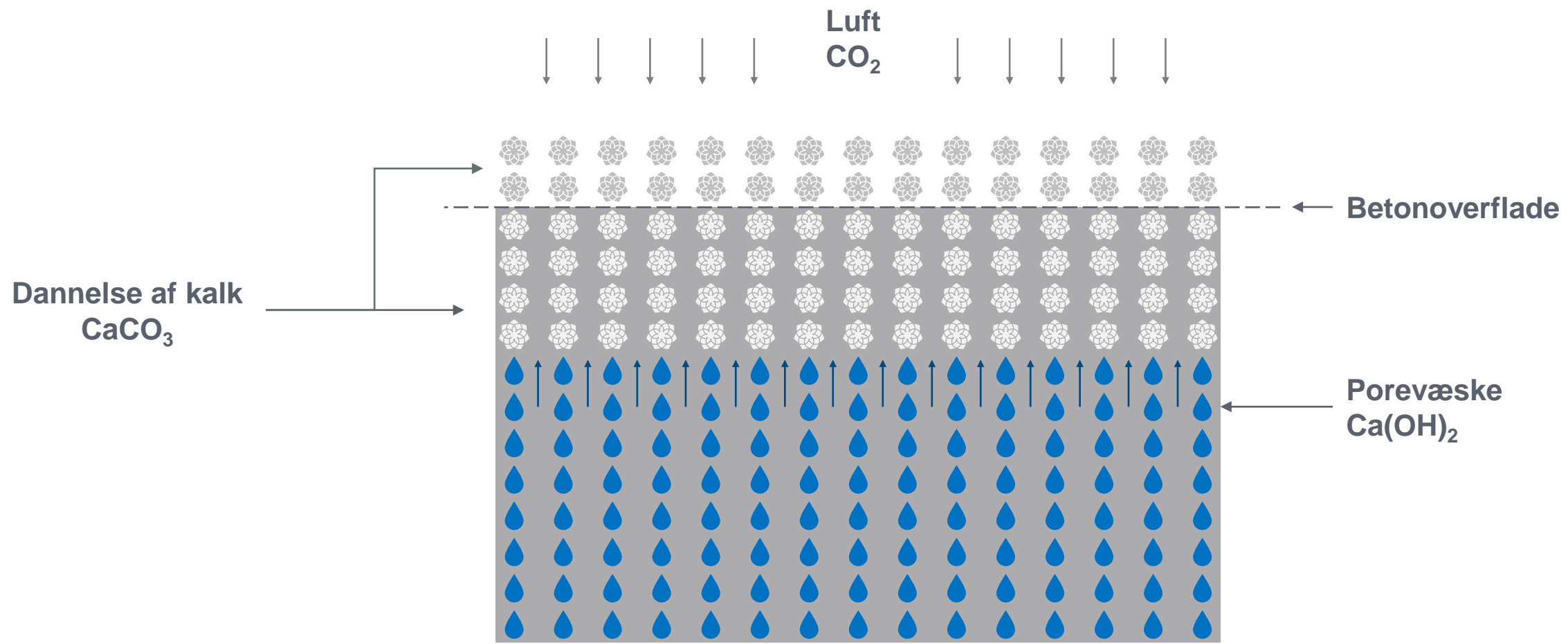
Udfældningsprocessen – Udtørring af frisk betonoverflade



Udfældningsprocessen – Opfugtning af udtørret overflade



Udfældningsprocessen – Kalkdannelse uden på overfladen



| Parametre som kan påvirke udfældningsprocessen

Cement
type

CO₂

RF%

Ca(OH)₂

?

Tidspunkt
for vandeksponering

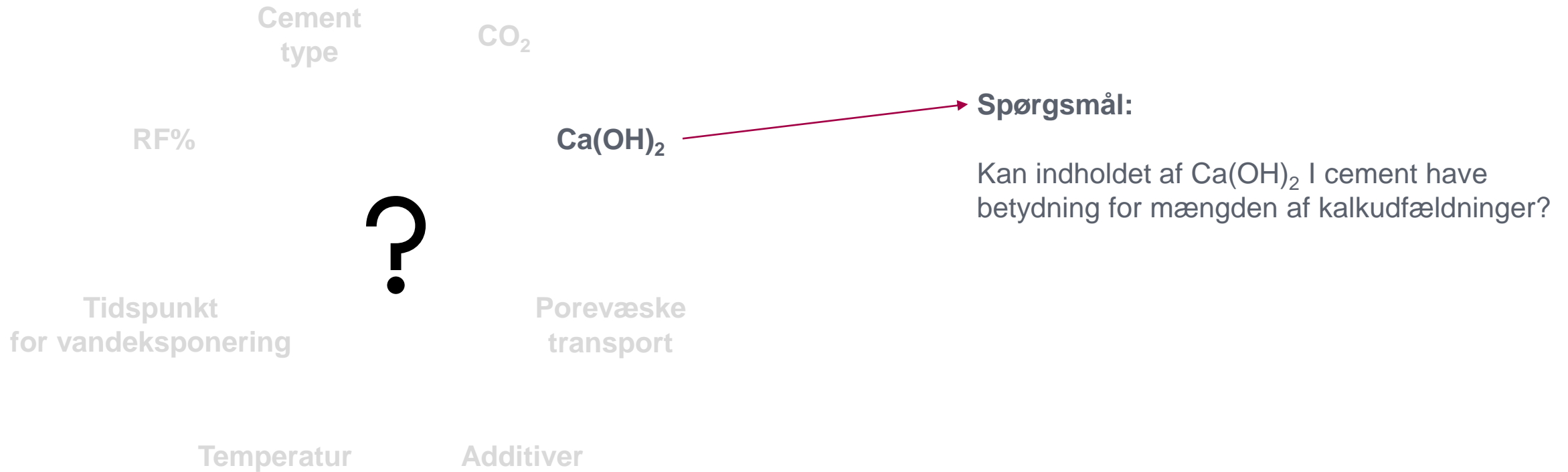
Porevæske
transport

Temperatur

Additiver



| Parametre som kan påvirke udfældningsprocessen



Indholdet af $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Beregning af tilgængeligt $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en betonflise

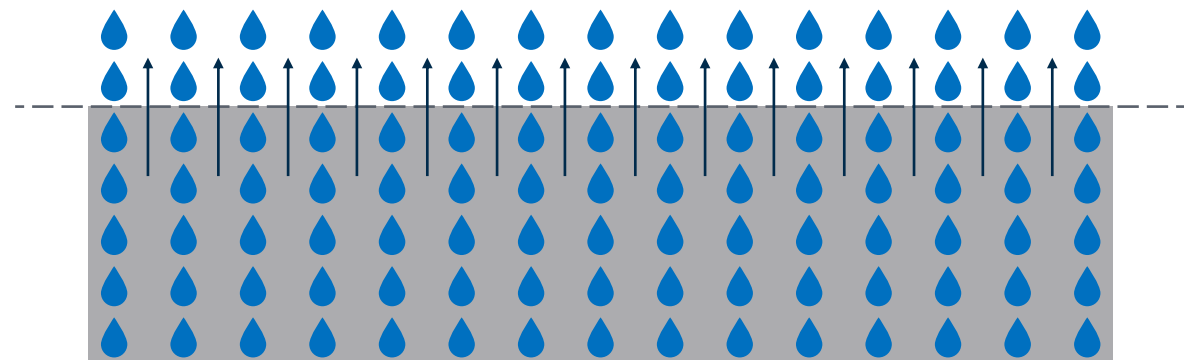
Cement indhold:	300 kg/m ³
Tykkelse af flise:	60mm
Tilgængeligt $\text{Ca}(\text{OH})_2$	25% af cementen

Indhold af $\text{Ca}(\text{OH})_2$ i flisen: 4500 g/m²

Nødvendigt indhold af $\text{Ca}(\text{OH})_2$ for at opnå synlige udfældninger, svensk undersøgelse [P. Samuelsson 1977].

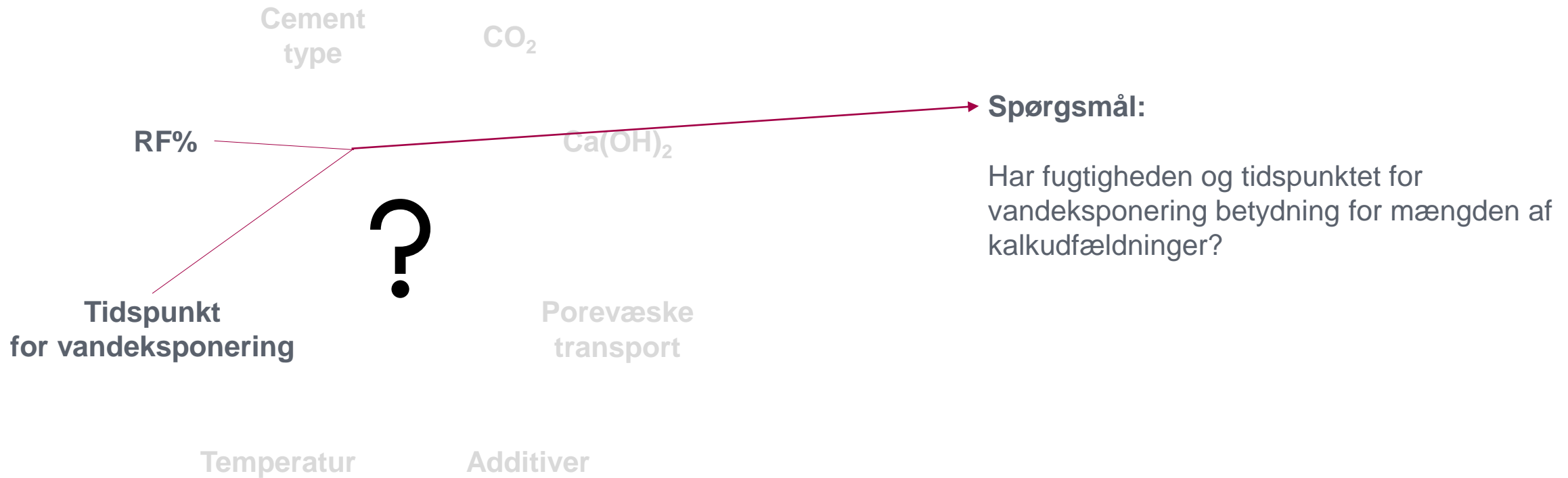
Grænseværdi: 1 g/m²

også svarende til indholdet af $\text{Ca}(\text{OH})_2$ i de øverste 0,013mm beton



Der vil altid være rigeligt $\text{Ca}(\text{OH})_2$ beton til at skabe kalkudfældninger

Parametre som kan påvirke udfældningsprocessen



Vandpytprøver

Svensk undersøgelse: "Kalkytfällningar på betongytor, Paul Samuelsson"

**Fugtighed
RF%**

**Tidspunkt
for vandeksponering**

Vandpytprøver - Forsøgsopstilling

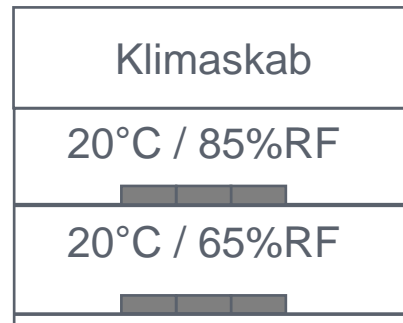
Svensk undersøgelse: "Kalkytfällningar på betongytor, Paul Samuelsson"

Støbning af fliser

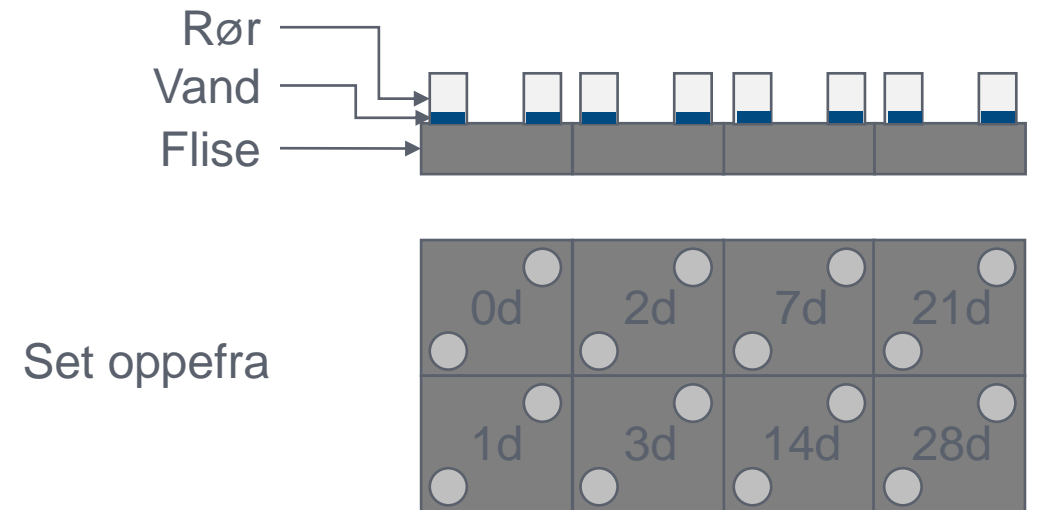
$v/c = 0,6$



Lagring



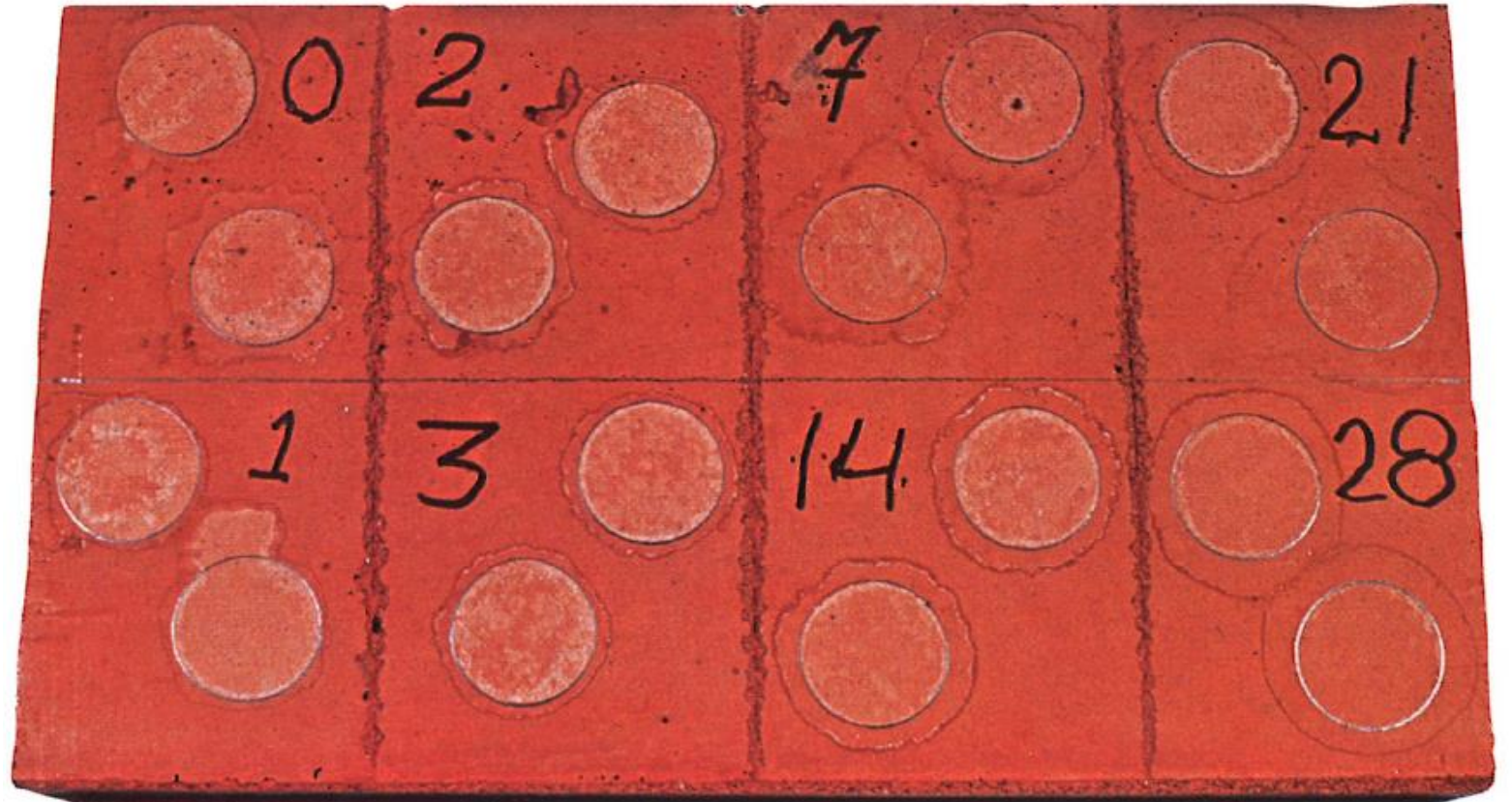
Vandpåvirkning



Vandpytprøver – Observationer: 20°C (65%)

Svensk undersøgelse: "Kalkytfällningar på betongytor, Paul Samuelsson"

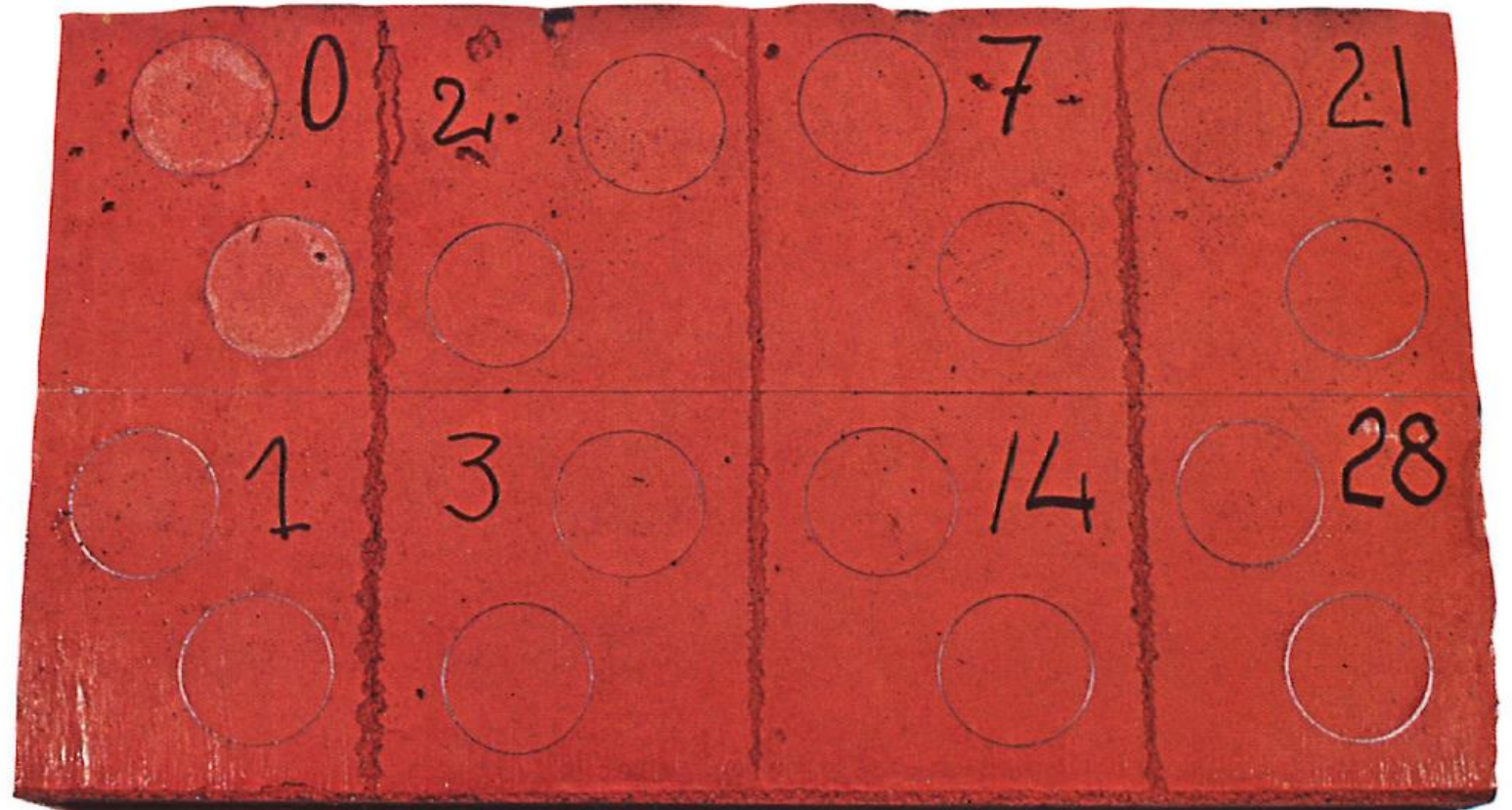
- Kalkudfældninger helt op til 14 døgn efter støbning



Vandpytprøver – Observationer: 20°C (85%)

Svensk undersøgelse: "Kalkytfällningar på betongytor, Paul Samuelsson"

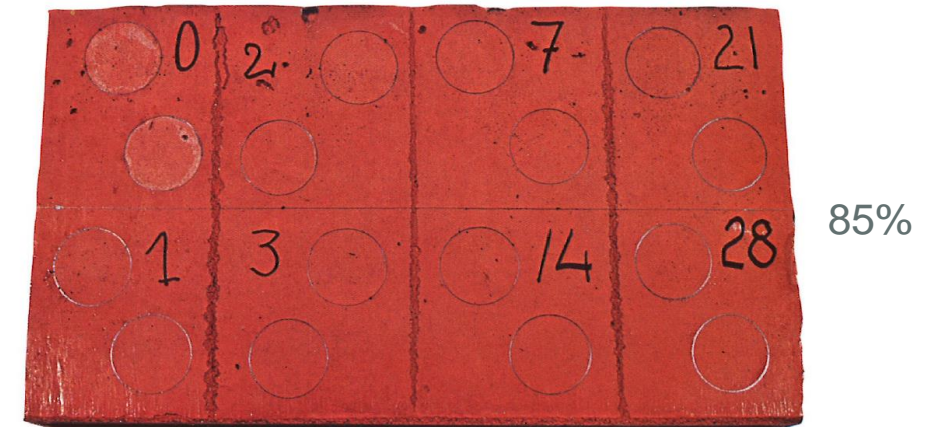
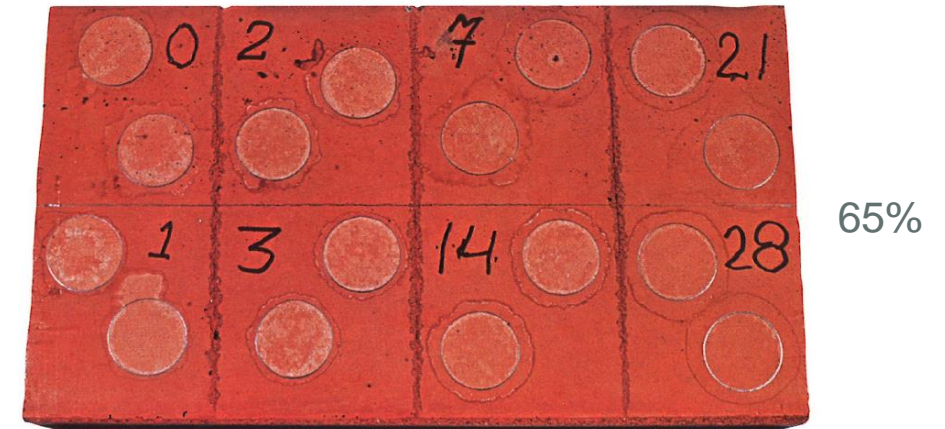
- Ingen kalkudfældninger er observeret efter 1 døgn



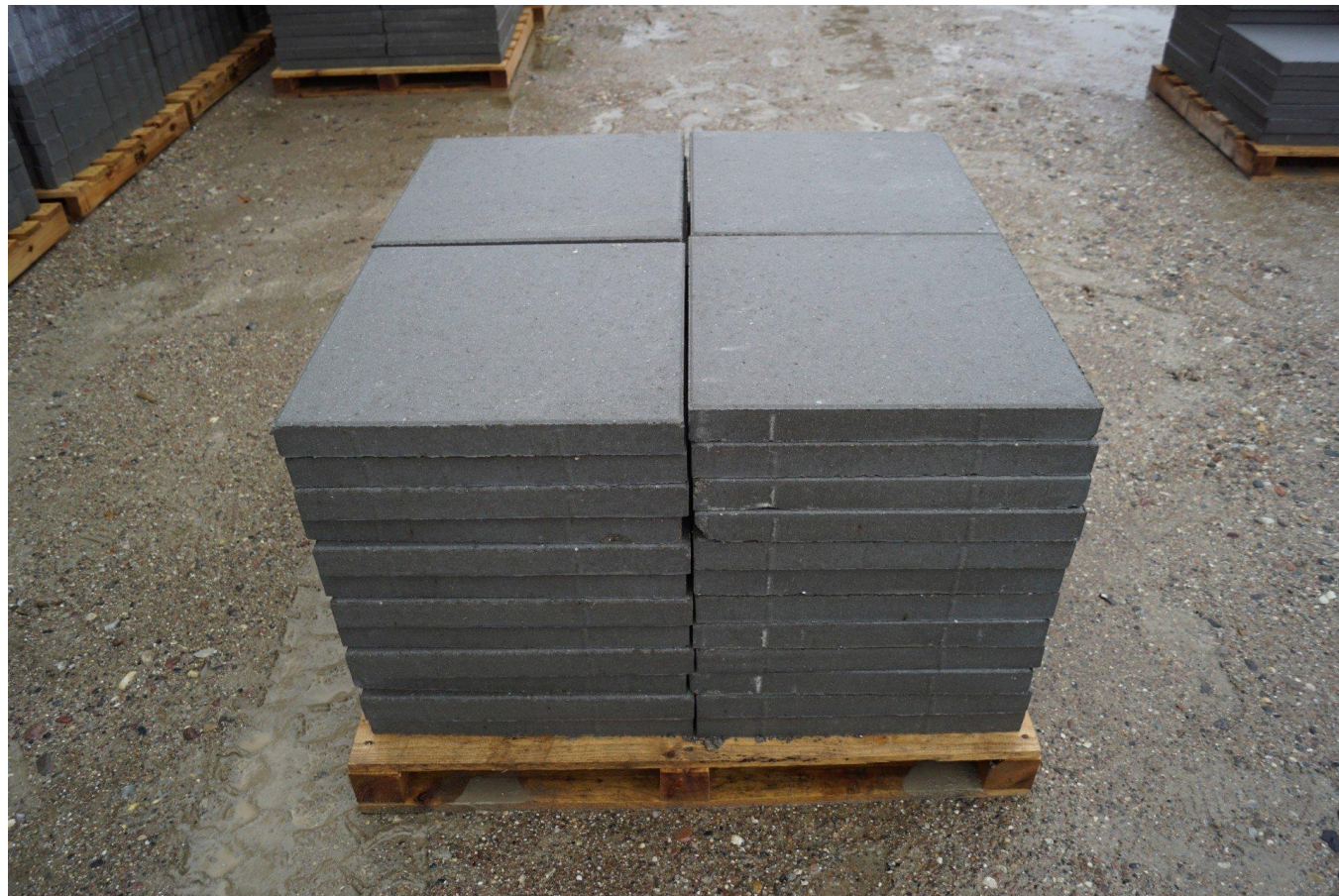
Vandpytprøver – Opsummering

Svensk undersøgelse: "Kalkytfällningar på betongytor, Paul Samuelsson"

- Øget relativ fugtighed (85%) reducerer risikoen for udfældninger
- Tidlig vandpåvirkning giver større risiko for kalkudfældninger

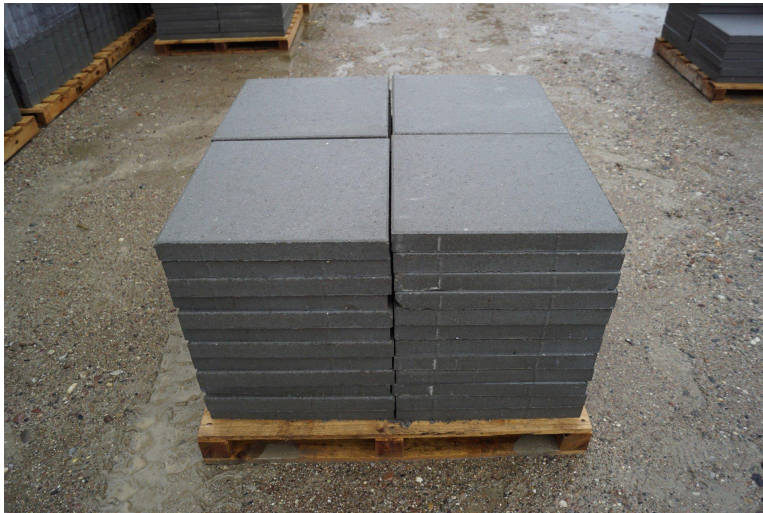
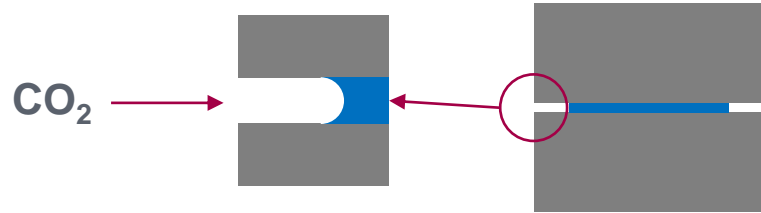


| Hvor opstår vandpåvirksomheden?



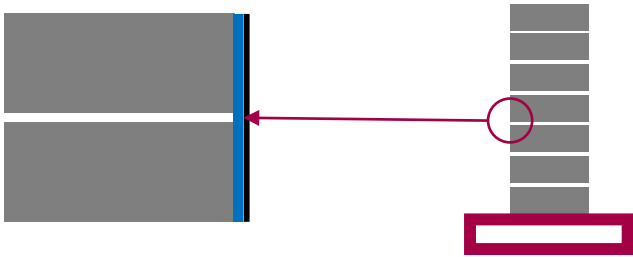
Årsager – Sugsevne mellem fliser

Kapillar sugsevne mellem emner

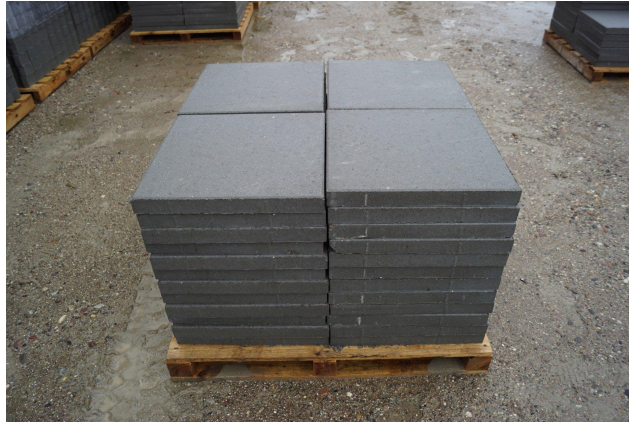
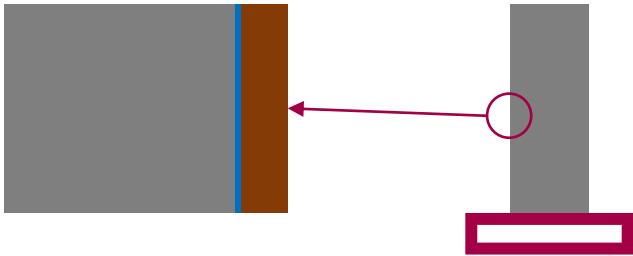


Årsager – Kontaktpunkter

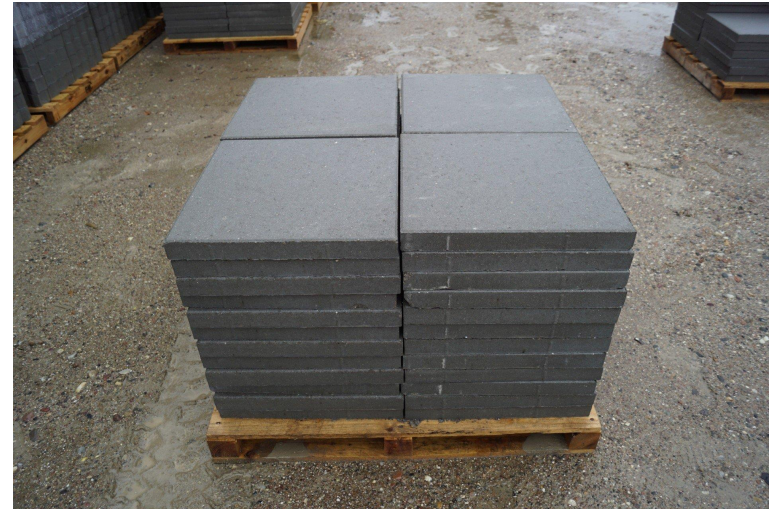
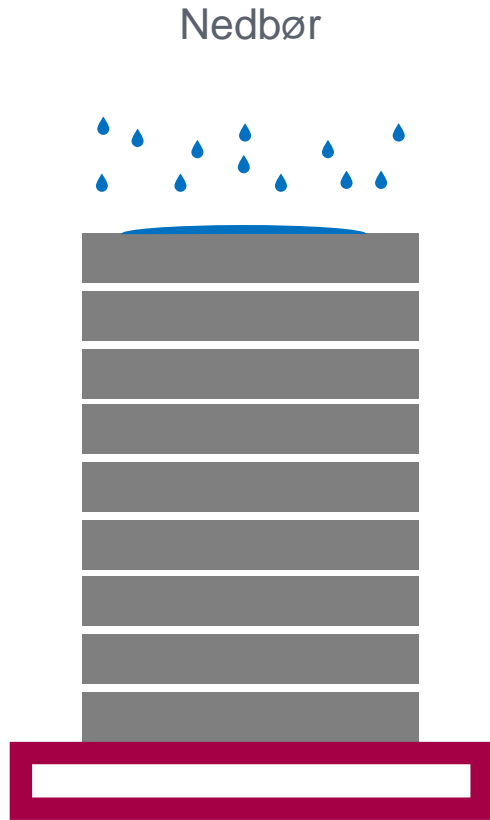
Kontaktpunkter med plastik



Kontaktpunkter med form



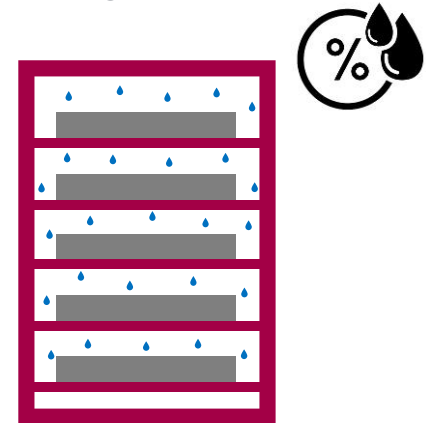
Årsager – Nedbør



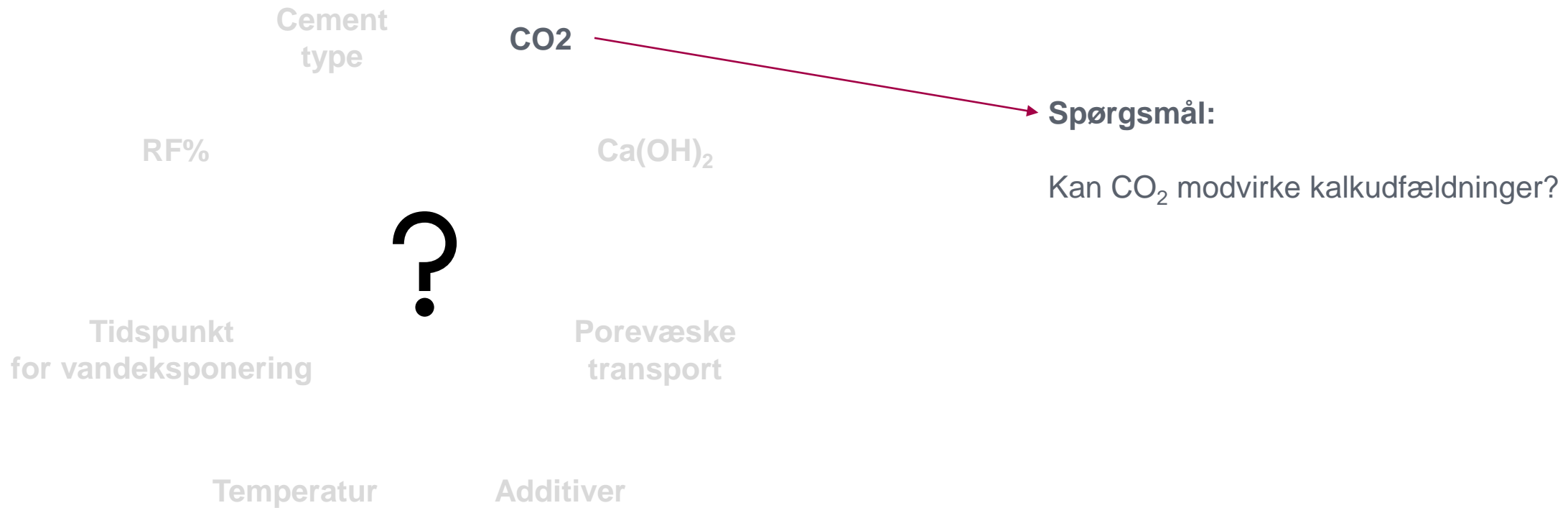
Årsager – Kondensering



Kondensering i hærdekammer

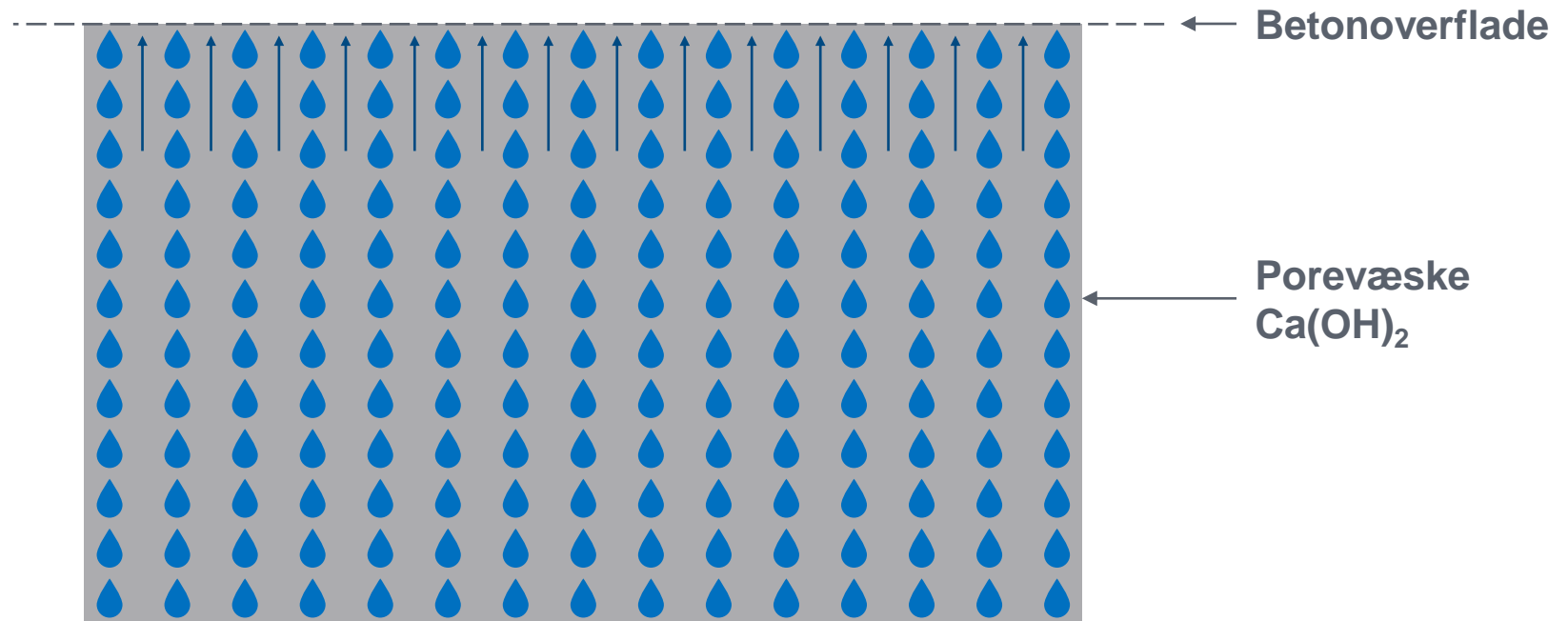


| Parametre som kan påvirke udfældningsprocessen

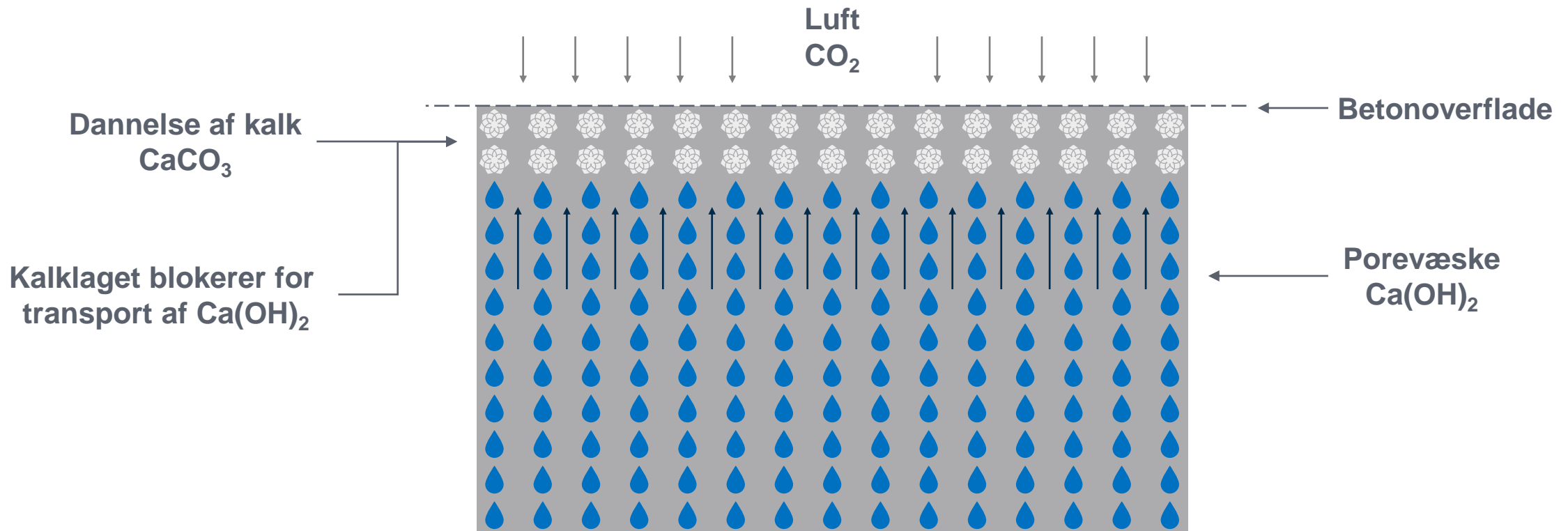


Udfældningsprocessen - Usynlige udfældninger

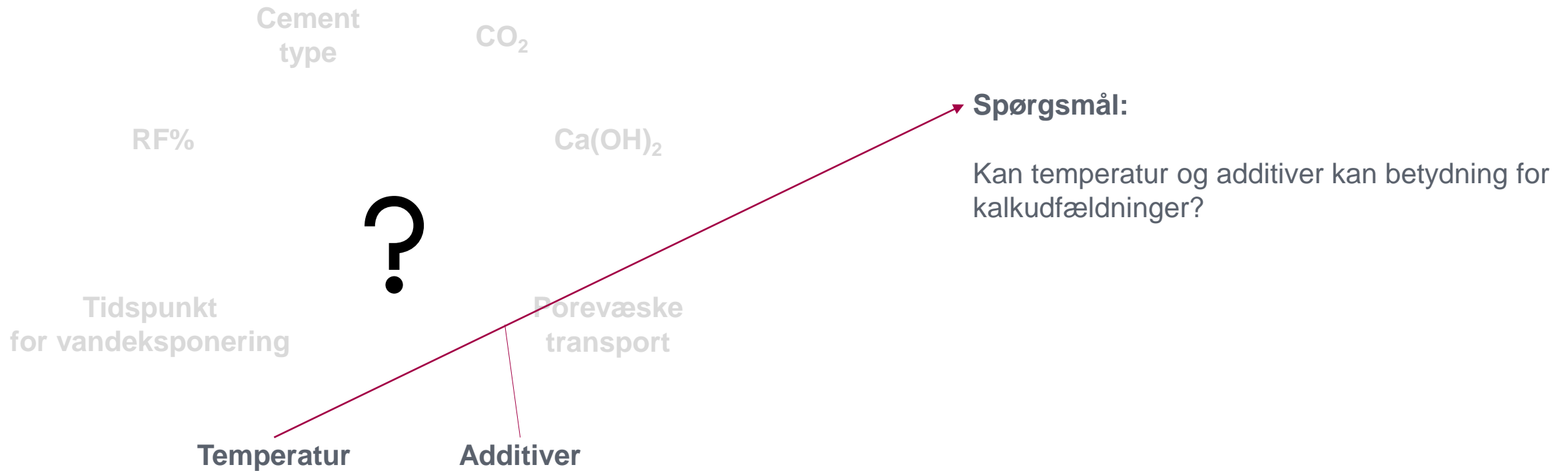
Reaktioner under overfladen – Frisk betonoverflade



Reaktionen under overfladen – Ingen udfældninger



Parametre som kan påvirke udfældningsprocessen

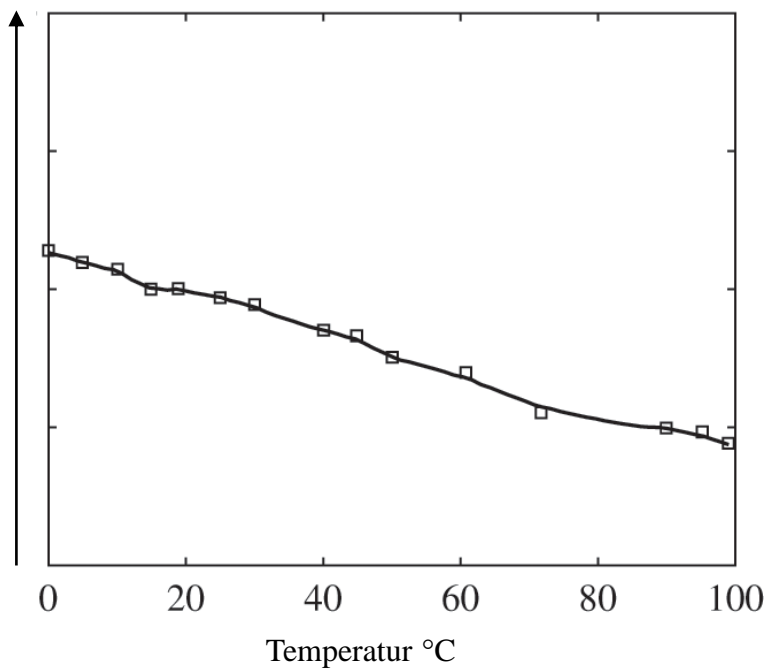


Temperatur og additiver

Temperatur

Opløseligheden af Ca(OH)_2 falder ved stigende temperatur.

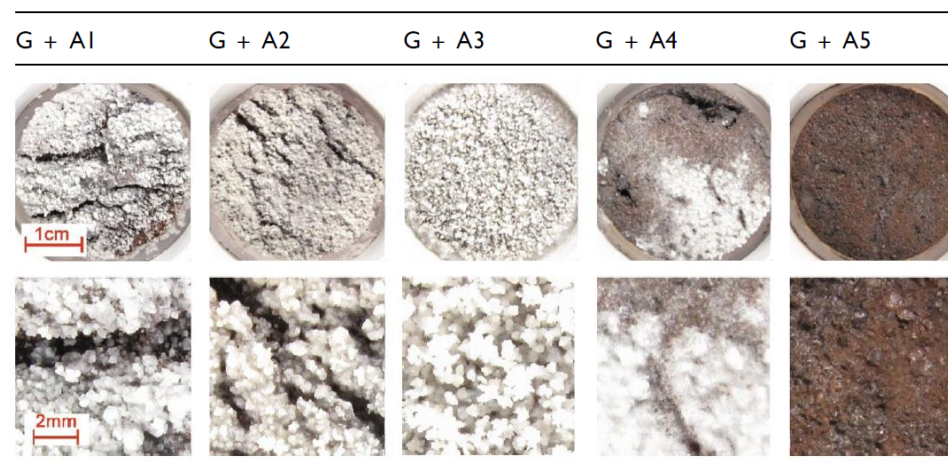
Opløselighed af Ca(OH)_2 i vand



Additiver

Det er vores erfaring at ens betoner produceret med forskellige additiver har givet anledning til kalkudfældninger på bestemte additiver.

Det samme er set i undersøgelser af gips og kalkudfældninger fra Belgien og England, som vist nedenfor.



Det bør undersøges

Parametre som kan påvirke udfældningsprocessen

Cement
type

CO₂

RF%

Ca(OH)₂



Spørgsmål:

Er der større risiko for kalkudfældninger ved brug af kalkfillercement såsom Basis cement?

Ny undersøgelse – Teori:

Kalkfiller er tungt opløseligt og der kan derfor ikke transporteres til overfladen via porevæsken.

Tidspunkt
for vandeksponering

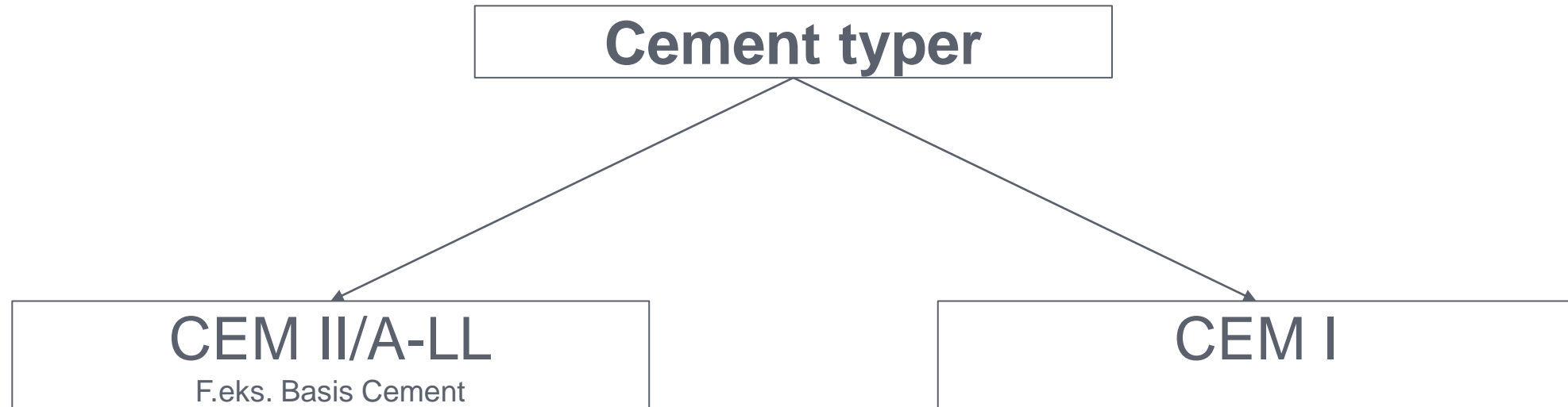
Porevæske
transport

Temperatur

Additiver

Vandpytprøver

AP undersøgelse af forskellige cementtyper




Vandpytprøver - Forsøgsopstilling

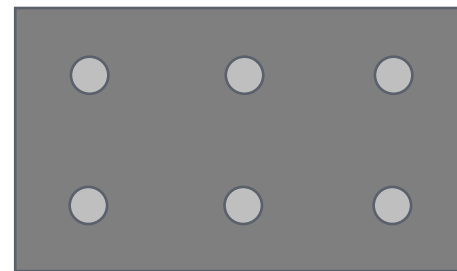
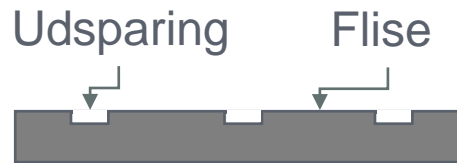
AP undersøgelse af forskellige cementer

Støbning af fliser

$v/c = 0,45$



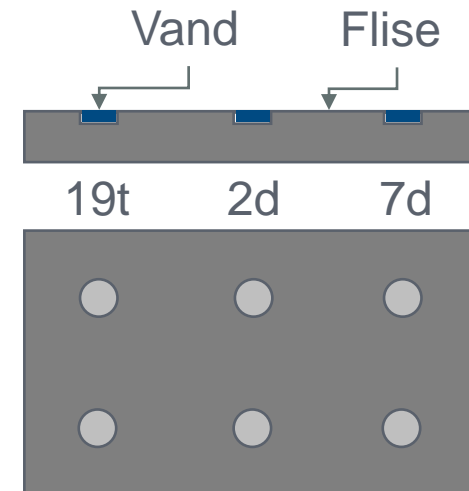
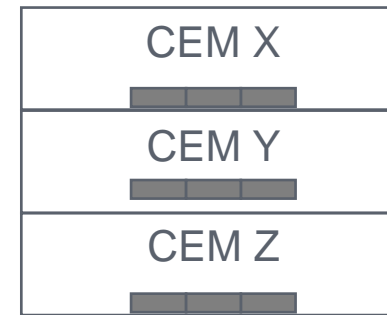
Form og opstilling



Set oppefra

Lagring og vandpåvirkning

Klimaskab
20°C / 95%RF



Vandpytprøver – Observationer

AP undersøgelse af forskellige cementer

- Flest kalkudfældninger efter 19 timer
- Samme mængde udfældning for alle tre cementtyper

19t



2d



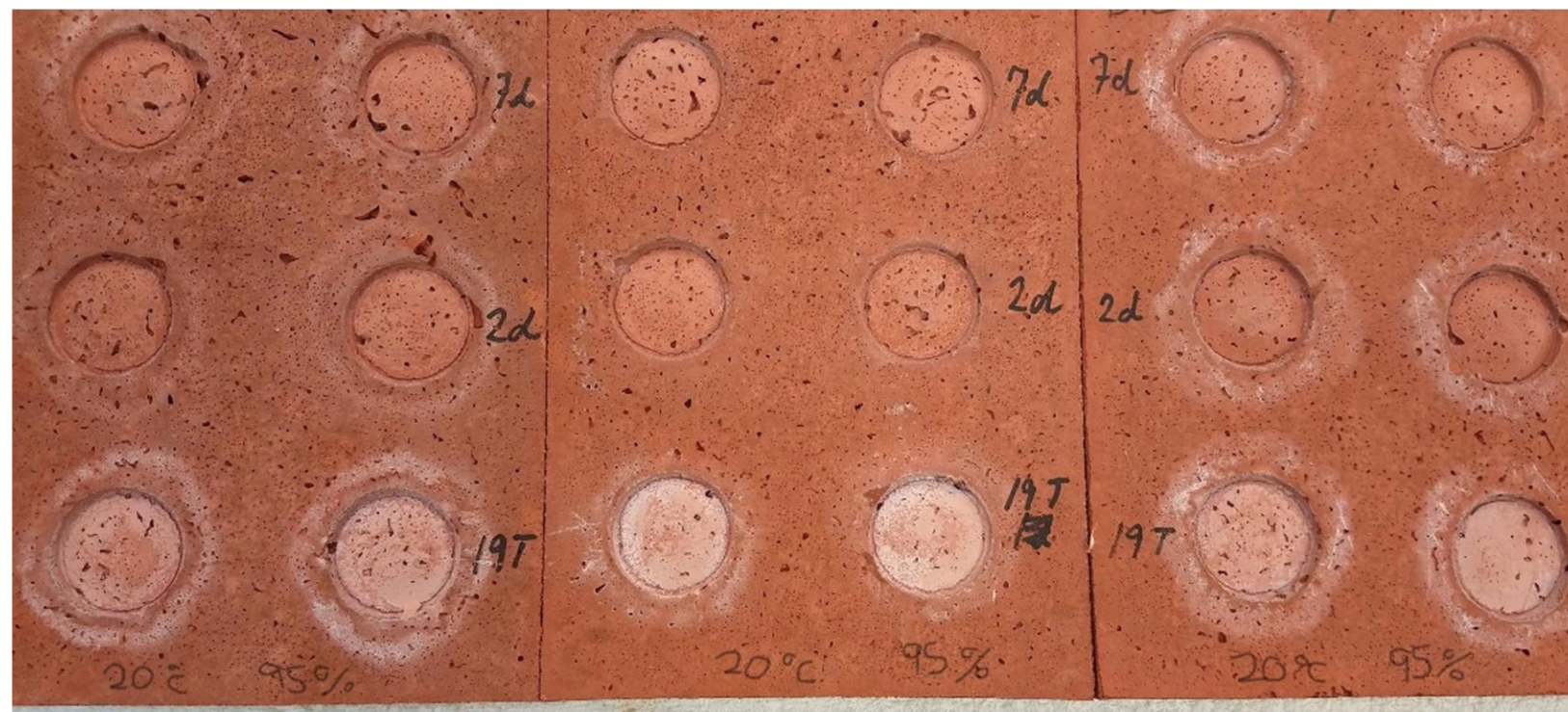
7d



CEM X
(CEM II/A-LL)
BASIS Aalborg Cement

CEM Y
(CEM I 52.5)

CEM Z
(CEM I 52.5)



Vandpytprøver – Opsummering

AP undersøgelse af forskellige cementer

- CEM II/A-LL giver samme risiko for kalkudfældninger
- Tidlig vandpåvirkning giver større risiko for kalkudfældninger

CEM X
(CEM II/A-LL)
BASIS Aalborg Cement



CEM Y
(CEM I 52.5)



CEM Z
(CEM I 52.5)



Samlet afrunding

- **Valg af cement**
Kalkfiller-cementer giver samme risiko for udfældninger som andre cement.
- **Overdækning af lager**
Tidlig vandpåvirkning af overfladen giver større risiko for kalkudfældninger.
- **Udfældning af kalk under overfladen**
Karbonatiserings-laget reducerer transport af Ca(OH)_2 og dermed risikoen for udfældninger.
- **Høj hærdetemperatur**
Nedsætter opløseligheden af Ca(OH)_2
- **CO2 påvirkning i hærdekammer**
Indre udfældninger blokerer for transport af Ca(OH)_2
- **Undersøg additivs indvirkning**



