



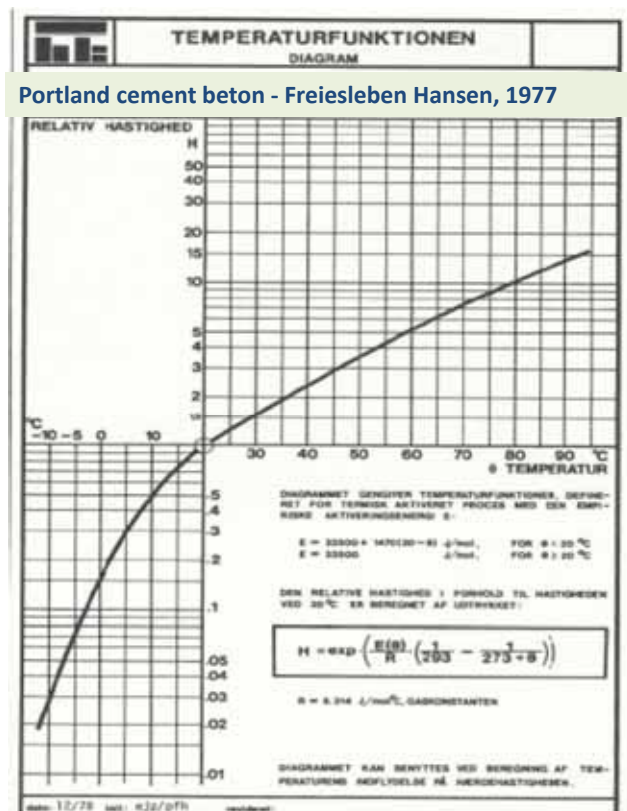
Styrkeudvikling og kloridindtrængning i moderne betontyper - gælder modenhedsfunktionen?

Martin Kaasgaard
Teknologisk Institut



Baggrund – modenhedsfunktionen

- Modenhedsfunktionen anvendes til at relatere hærdeprocessen ved forskellige temperaturer til 20 °C i forhold til styrkeudvikling.
- Optimering af curing strategi samt bestemmelse af afformningstidspunkt i forhold til temperaturmåling.
- Baggrundsdata er mere end 30 år gamle og baseret på ren Portland cement beton.
- **Gælder modenhedsfunktionen for nutidens betontyper med flyveaske og slagge?**
- **Gælder modenhedsfunktionen i forhold til kloridindtrængning?**



	V/C: 0,40	10°C	20°C	30°C	45°C	60°C
Rapid cement	Dmax: 22 mm	Styrke: 1, 2, 7, 28, 56 døgn	Styrke: 1, 2, 7, 28, 56 døgn	Styrke: 1, 2, 7, 28, 56 døgn	Styrke: 1, 2, 7, 28, 56 døgn	Styrke: 1, 2, 7, 28, 56 døgn
Lavalkali cement		Luft: 3,5-5,5 %	Klorid migration 28, 56, 90, 180	Klorid migration 28, 56, 90, 180	Klorid migration 28, 56, 90, 180	Klorid migration 28, 56, 90, 180
Rapid + 25% flyveaske	Sætmål: 120-180 mm		Klorid diffusion 28, 180	Klorid diffusion 28, 180	Klorid diffusion 28, 180	Klorid diffusion 28, 180
Lavalkali + 25% flyveaske						
Slagge cement						

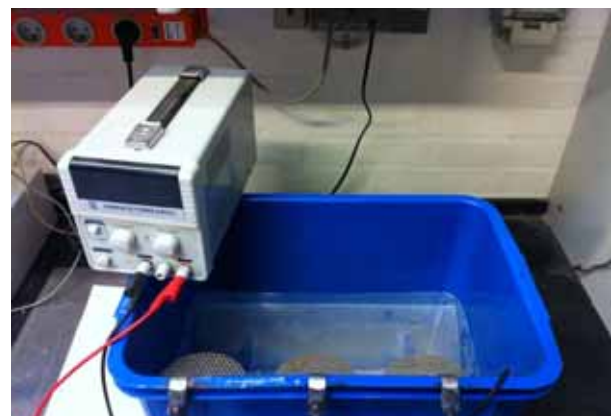
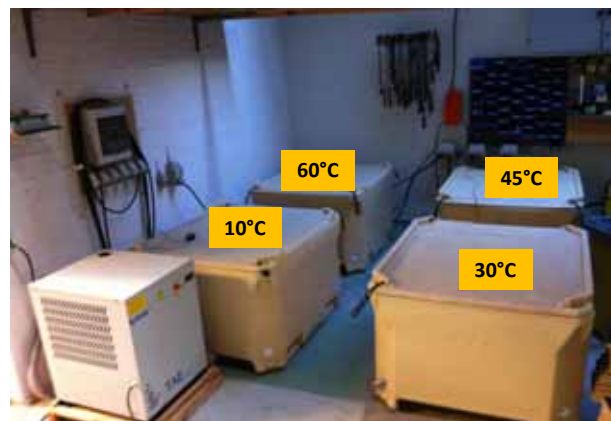
For hver betontype:

Styrke (DS/EN 12390-3): 3 cylindre/termin, 3 cylindre x 5 terminer x 5 temperaturer = 75 cylindre (Ø150)

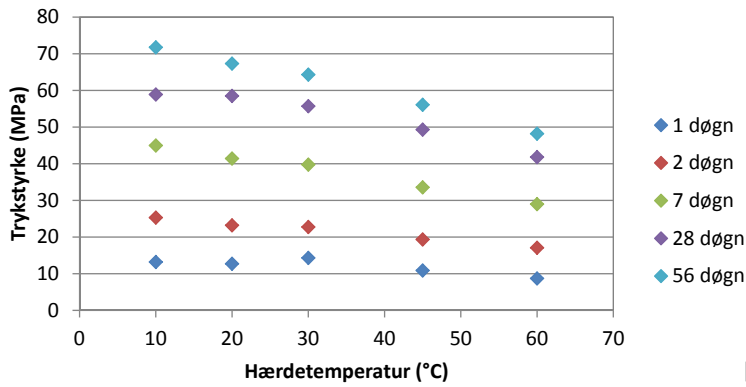
Kloridmigration (NTB492): 1 cylinder/termin, 1 cylinder x 4 terminer x 5 temperaturer = 20 cylindre (Ø100)

Kloriddiffusion (NTB443): 1 cylinder/termin, 1 cylinder x 2 terminer x 5 temperaturer = 10 cylindre (Ø100)

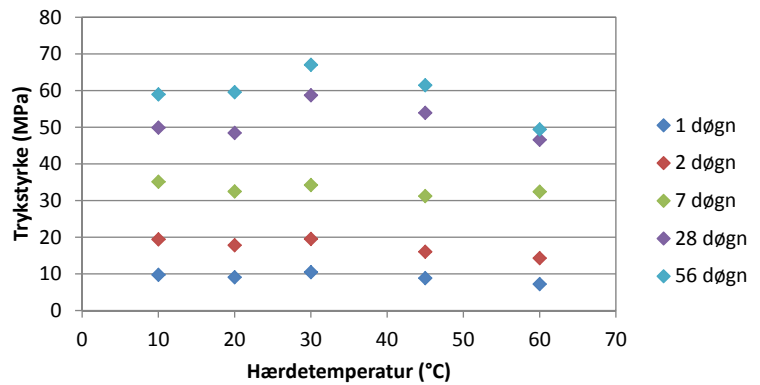
} 500 liter
beton



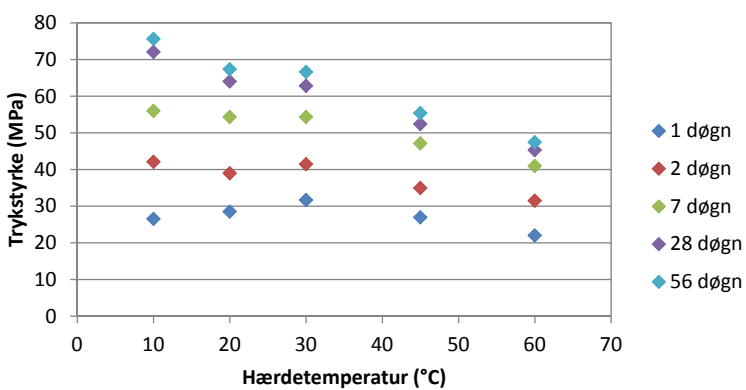
Lavalkali cement



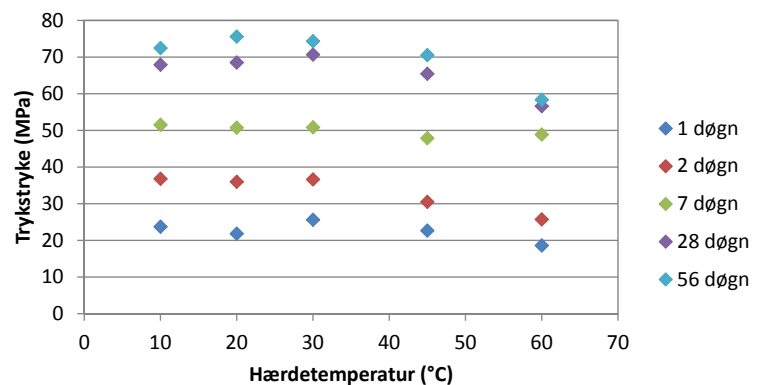
Lavalkali + 25% flyveaske



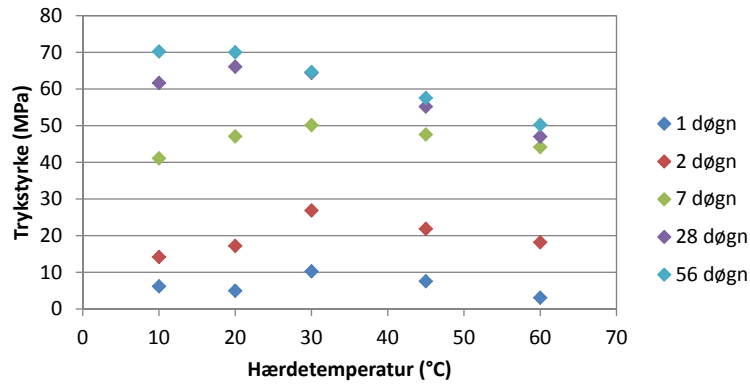
Rapid cement



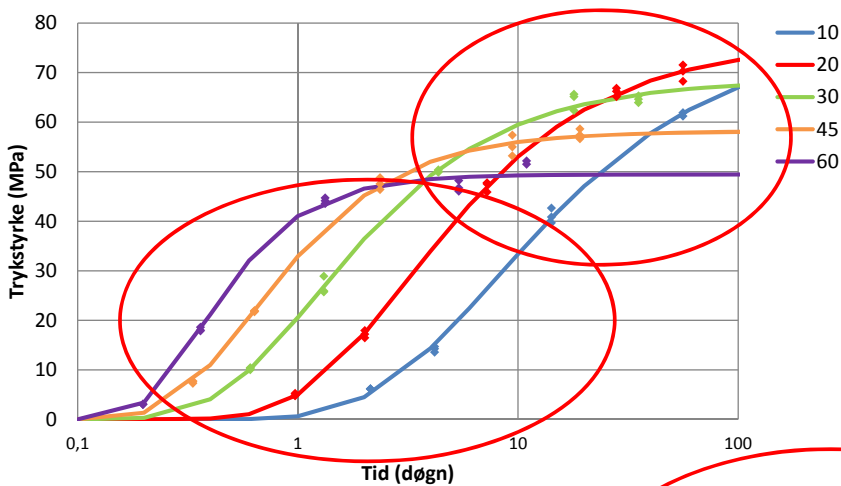
Rapid + 25% flyveaske



Slagge cement

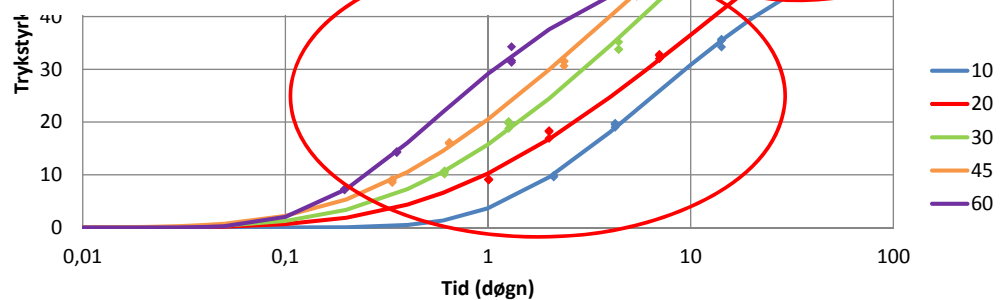


Slagge cement



Maksimalt opnåelig styrke markant påvirket af hærdetemperatur

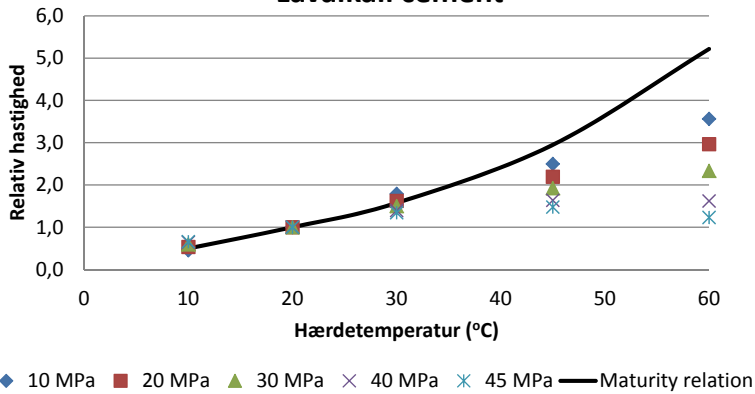
Lavalkali + 25% flyveaske



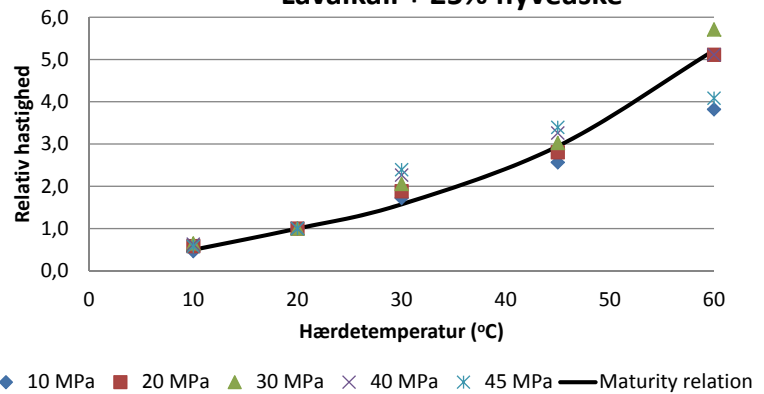
Hastighed undersøges op til 45 MPa i trin

$$\frac{1}{\text{tid til } x \text{ MPa}} - \frac{1}{\text{tid til } x \text{ MPa}}$$

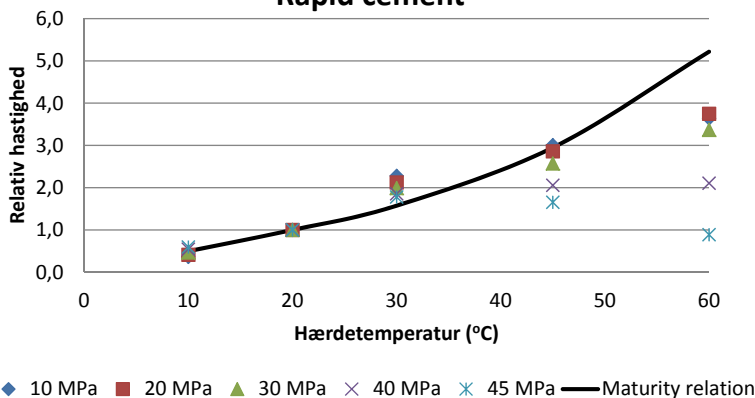
Lavalkali cement



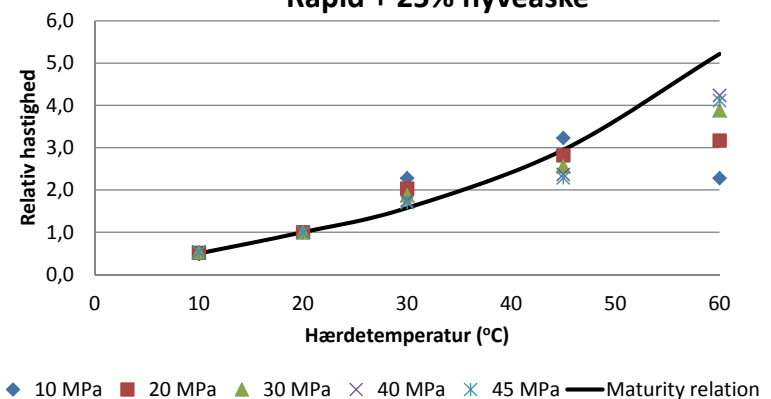
Lavalkali + 25% flyveaske

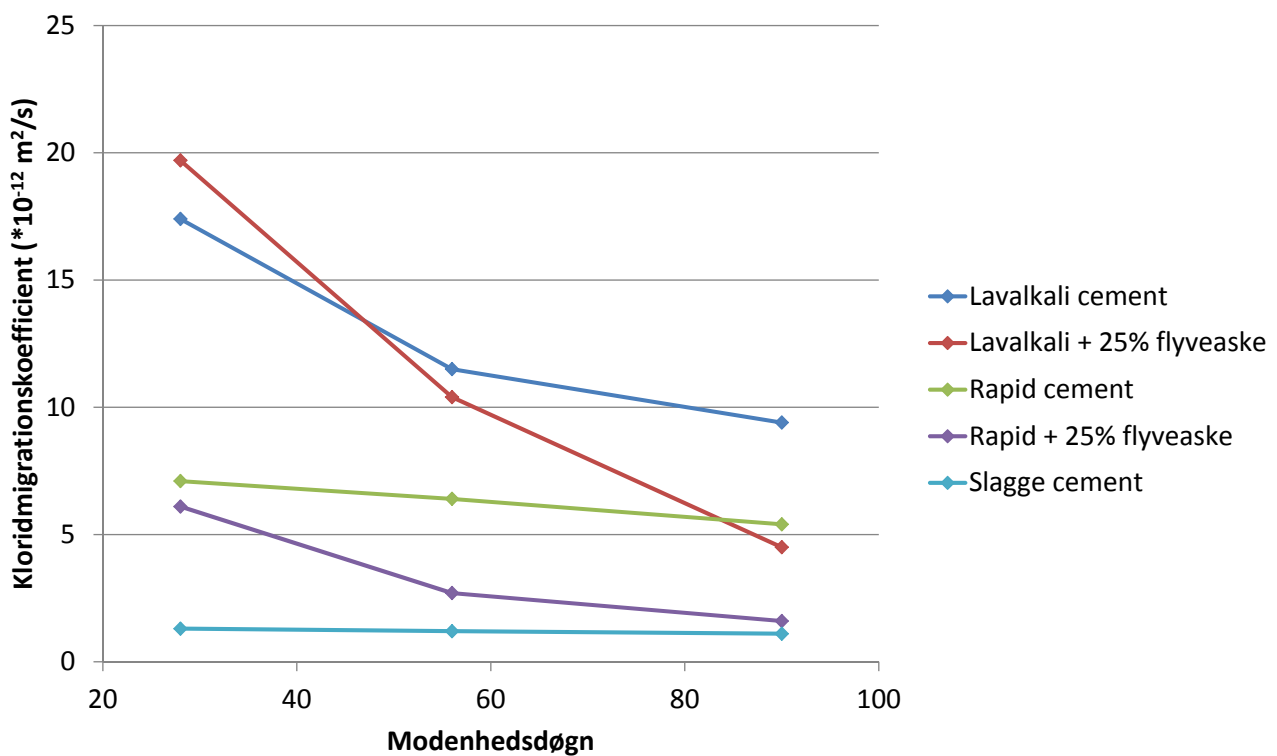
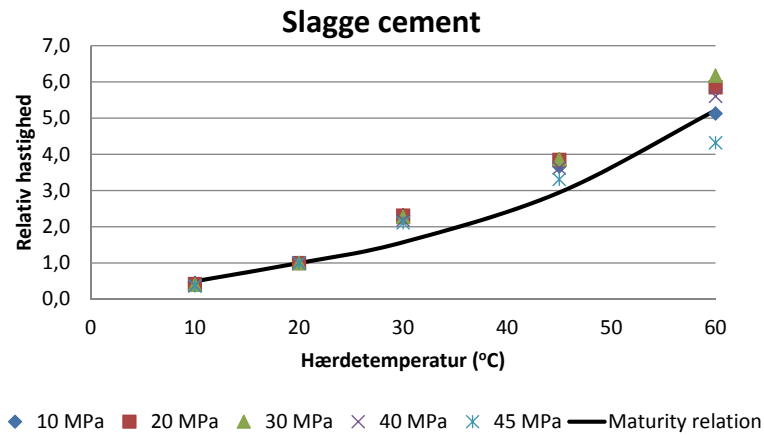


Rapid cement

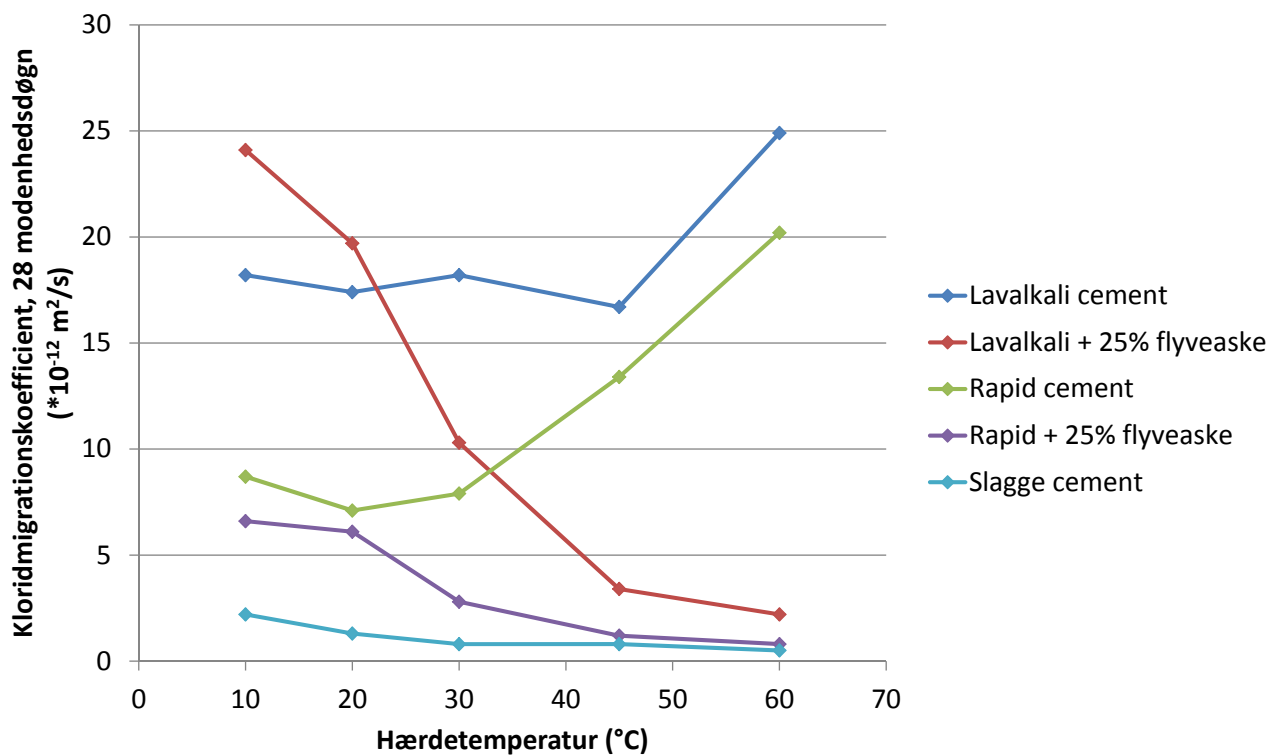


Rapid + 25% flyveaske

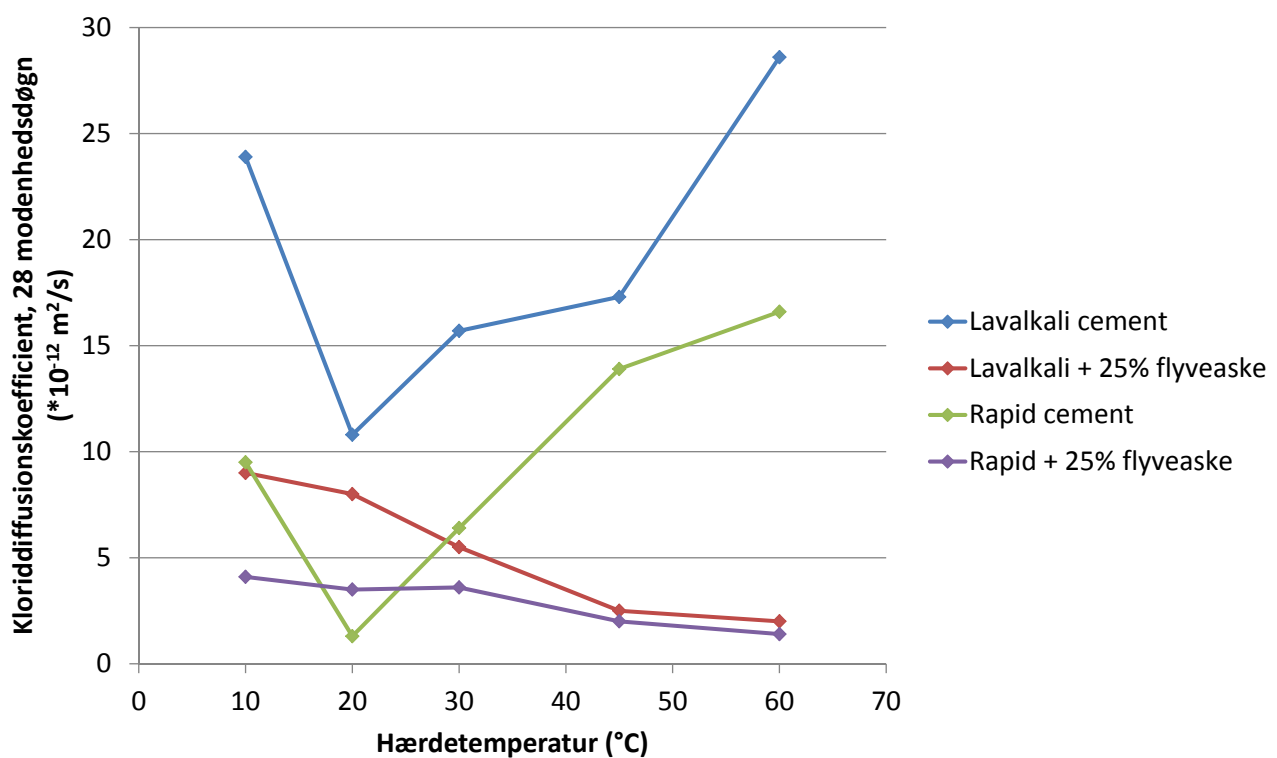




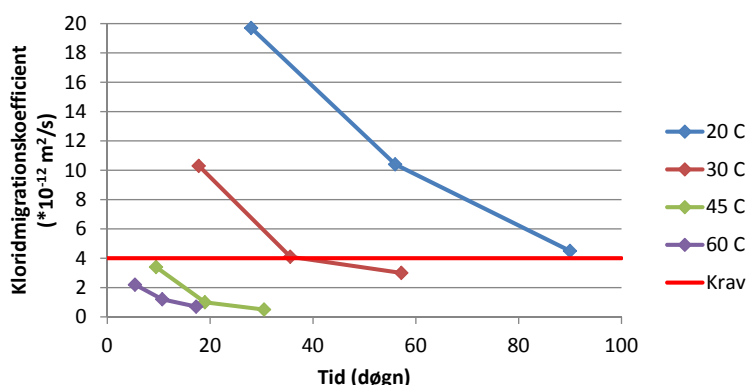
Kloridmigration vs. hærdetemperatur



Kloriddiffusion vs. hærdetemperatur



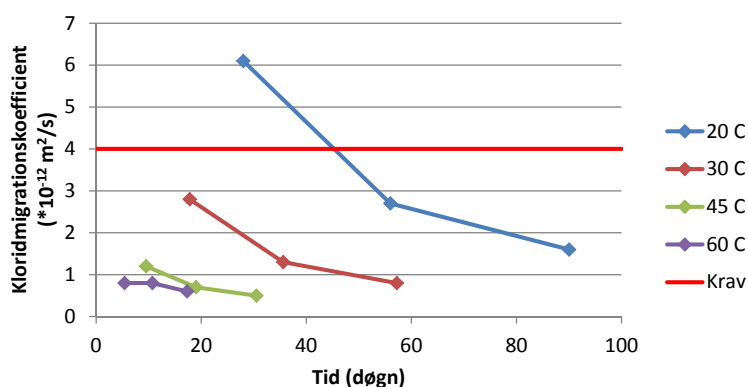
Lavalkali + 25% flyveaske



Nedsættelse af nødvendig curing fra 90 døgn (20 °C) til henholdsvis 35 døgn (30 °C) og nogle få døgn (60 °C).

Nedsættelse af nødvendig curing fra 45 døgn (20 °C) til nogle få døgn (60 °C).

Rapid + 25% flyveaske



- Tilsvarende betoner og hærdetemperaturer med fokus på trykstyrke til senere terminer og mikroskopi:
 - Trykstyrke til 7, 180 og 360 modenhedsdøgn for at verificere model.
 - Mikroskopi til 7, 28 og 90 modenhedsdøgn (prøver indstøbes i epoxy for at stoppe hydratiseringen) for at undersøge sammenhængen mellem mikrostruktur og hærdetemperatur (opklaring af årsag til effekten på kloridmigrationskoefficienten).
- Praktisk verificering af resultater angående kloridmigrationskoefficient for flyveaskebeton ved curing ved øget temperatur:
 - Udstøbning af prøveemne med isolerende formsider for at øge/styre temperaturen i dæklaget.
 - Udboring af kerner til test af kloridmigrationskoefficient i dæklaget til forskellige terminer.

De gennemførte forsøg viser at:

- Freiesleben's modenhedsfunktion giver en tilnærmelsesvis tilfredsstillende beskrivelse af hastigheden af styrkeudviklingen op til 30 °C.
- Ved temperaturer over 30 °C bliver hastigheden af styrkeudviklingen påvirket af graden af hydratisering.
- Den maksimalt opnåelige styrke bliver sænket markant ved curing ved 60 °C.
- Modstanden mod kloridindtrængning for flyveaskebetoner bliver signifikant forbedret til samme modenhed ved høje temperaturer, det modsatte gør sig gældende for de tilsvarende betoner uden flyveaske.
- Slaggecement beton har en høj modstandsevne overfor kloridindtrængning ved alle undersøgte terminer og temperaturer.
- De undersøgte betoner opfører sig generelt forskelligt med hensyn til styrkeudvikling og modstandsevne overfor kloridindtrængning i forhold til curing ved forskellige temperaturer.