

Beton & frost

**Marianne
Tange
Hasholt**

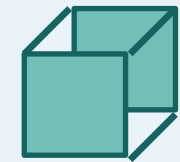


Beton og frost

- **Hvad** sker der, når vand i beton fryser?
- **Hvad** er det nu lige med den der afstandsfaktor?
- **Hvad** sker der på forskningsfronten?

Hvad sker der, når vand i beton fryser?

1. Vand er
- kemisk bundet vand
 - adsorberet (fysisk bundet) vand
 - frit vand



1 cm



Hvad sker der, når vand i beton fryser?

1. Vand er ikke bare vand
2. Overfladespænding i porer har betydning for isspredning
3. Opløste salte i porevæsken sænker væskens frysepunkt
4. Underafkøling inden de første iskrystaller dannes

Hvad sker der, når vand i beton fryser?

Termodynamikkens 2. hovedsætning

$$dS_{universe} = dS_{sys} + dS_{sur} \left\{ \begin{array}{l} > 0 \text{ hvis irreversibel (spontan)} \\ = 0 \text{ **hvis** reversibel (ligevægt)} \\ < 0 \text{ **umulig proces!**} \end{array} \right.$$

Hvad er det nu lige med den der afstandsfaktor?

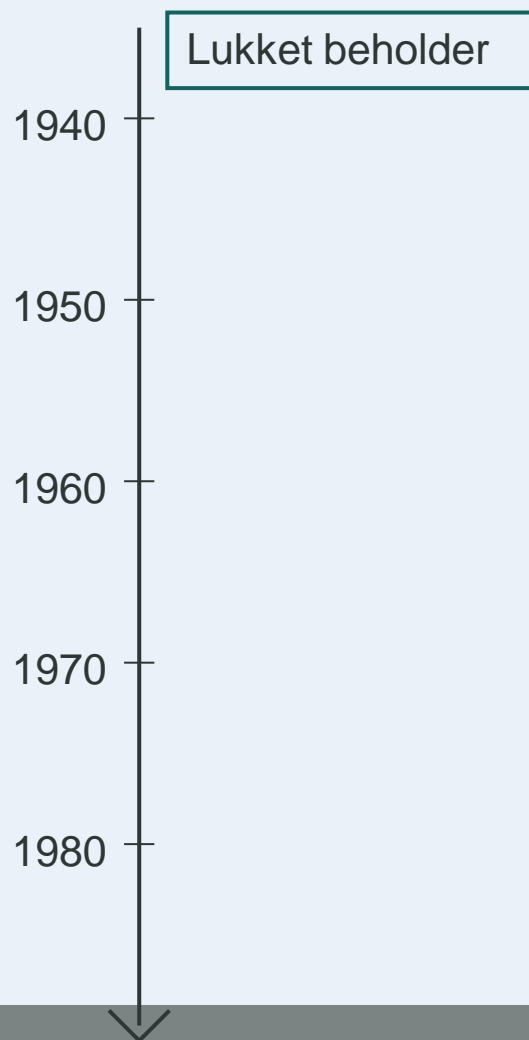
T. C. Powers



T. C. Powers (1900-1997)

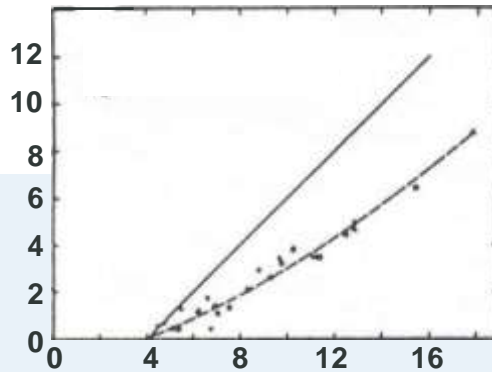
- ACI Committee:
Durability of concrete
- Powers' svar:
Freezing effects
in concrete (1975)

Beton som en lukket beholder

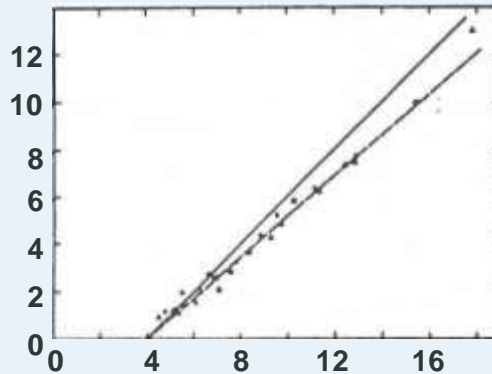


1945

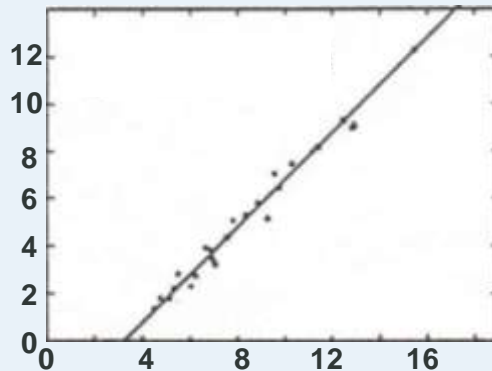
$T = -1\text{ C}$



$T = -4\text{ C}$



$T = -15\text{ C}$



Hvis "den lukkede beholder" forvolder skade



kun ~0.7-1.0% luft nødvendig for at undgå skade

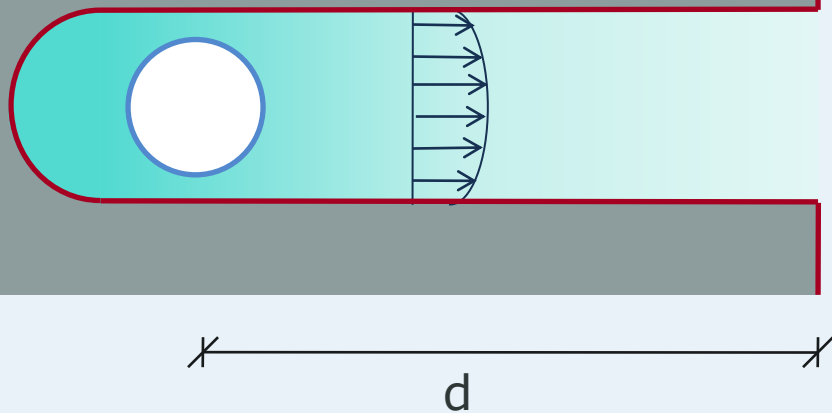
Frysbart vand
 W_f/V_m

Fordampeligt vand W_f/V_m

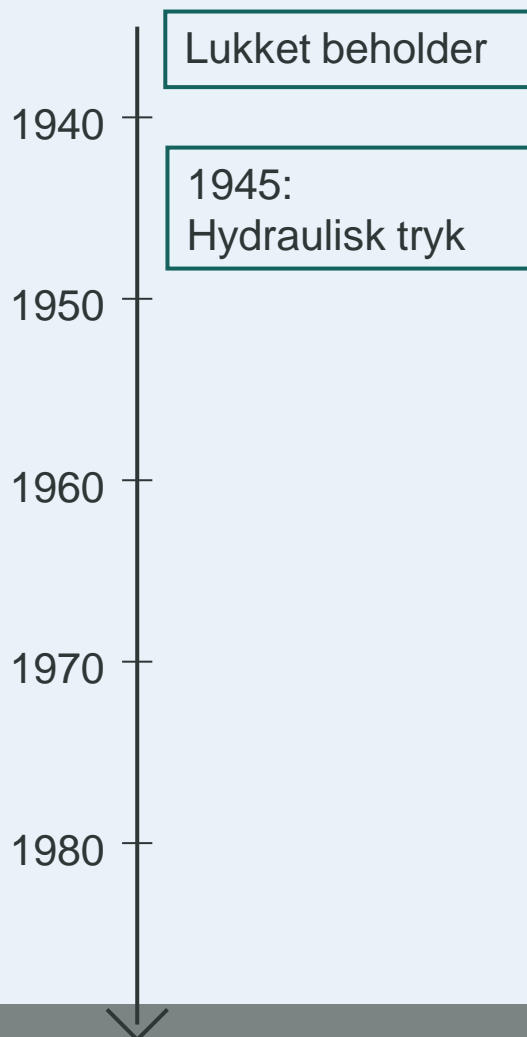
Hypotesen om hydraulisk tryk

Is dannes i en kapillarpore ($S > 91,7\%$)

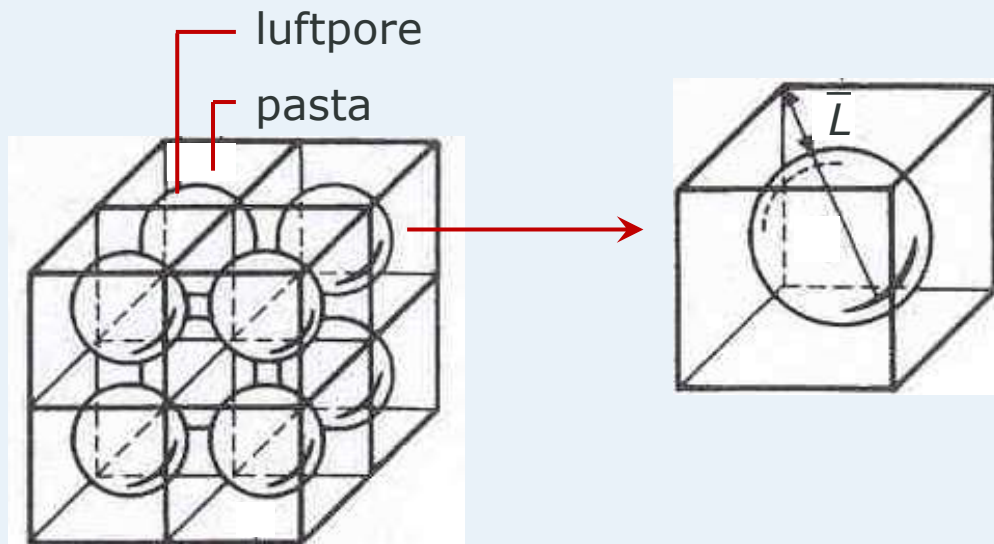
Betonoverflade
(eller luftpore)



Hypotesen om hydraulisk tryk



Følge af hydraulisk tryk:
"Hvis man har et luftvolumen, der er større end den mulige ekspansion, så vil beskyttelsen af betonen være bedre, jo mindre den gennemsnitlige luftpore er"



\bar{L} : (Powers') afstandsfaktor

Afstandsfaktoren



Eksperimentelle data:
Den maksimale afstandsfaktor
for frostbestandig beton
~0.01 tomme (0.25 mm).

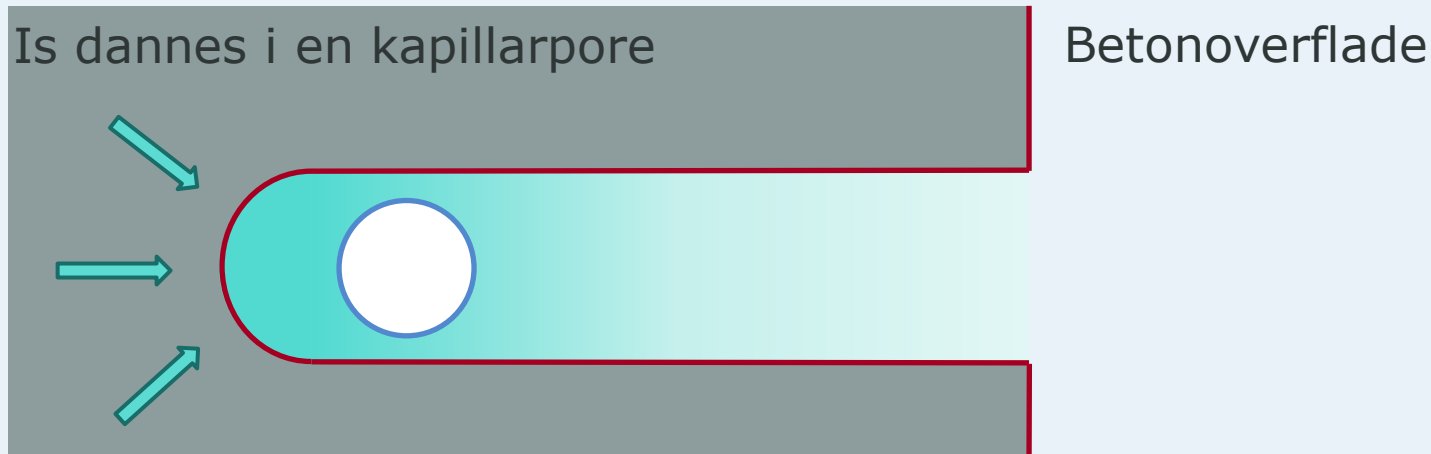


Google: soil heaving

Inspiration fra
geoteknikken

A. R. Collins:
The destruction
of concrete by frost
(ICE)

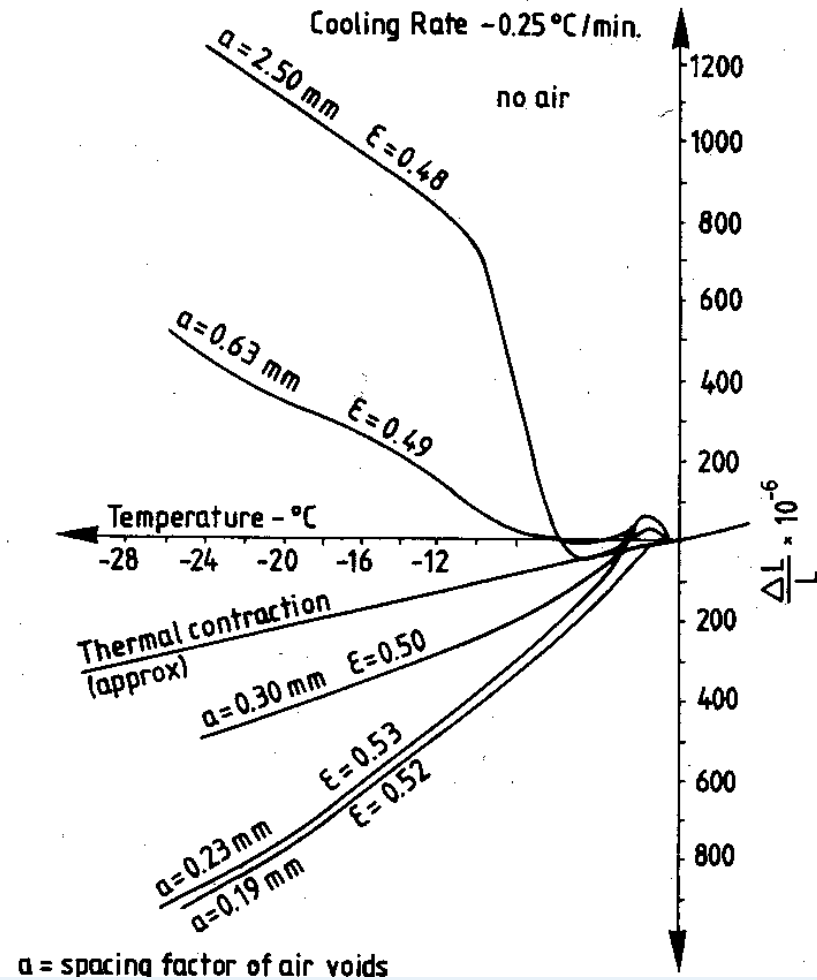
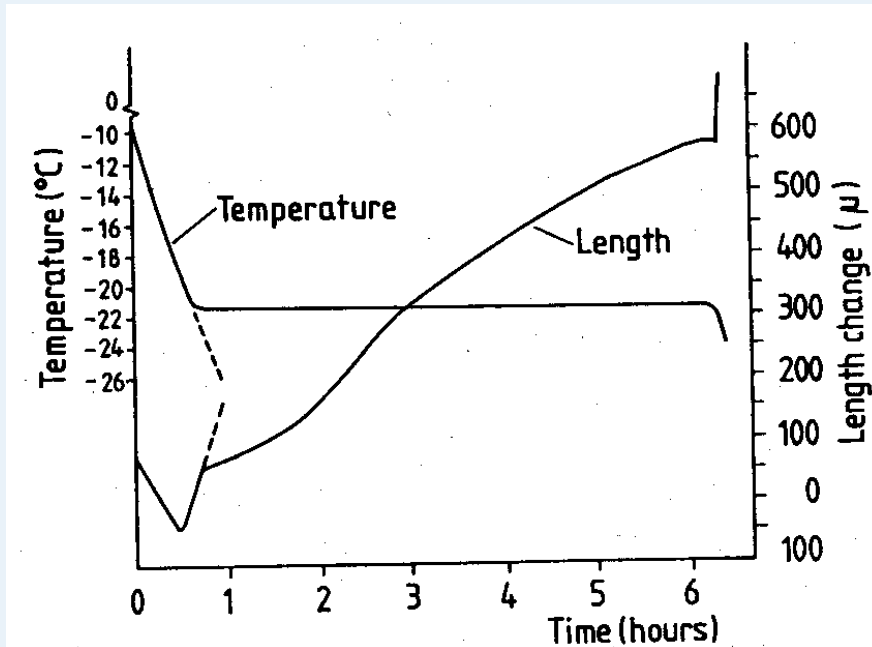
Hypotesen om mikroskopisk islinsevækst



Powers' kommentarer til Collins idéer

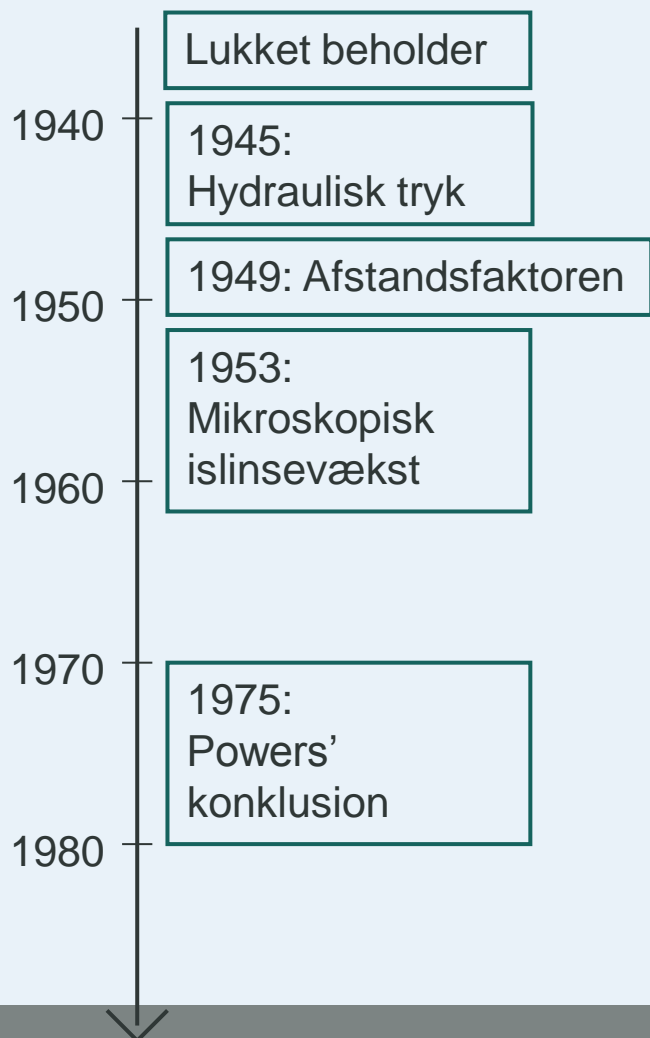
- Hypotesen forklarer ikke, hvorfor luftporer øger frostbestandigheden
- Som materiale kan beton ikke sammenlignes med jord (fx har jord ikke nogen trækstyrke)
- Konklusion: Hypotesen er ikke anvendelig på et sammenhængende materiale som hærnet beton

Mikroskopisk islinsevækst





Powers' konklusion



- Den dominerende skadeseffekt ved frysning af cement-pasta er, at ufrosset vand flytter sig til de steder, hvor isdannelsen er i gang (dvs. skademechanismen er mikroskopisk islinsevækst)
- 2 væsentlige kriterier for at opnå frostbestandig beton er "lavt" v/c og en "passende" luftporestruktur
- ... Og så er det nødvendigt med frostbestandige tilslagsmaterialer og godt håndværk!

Min tilføjelse til historien

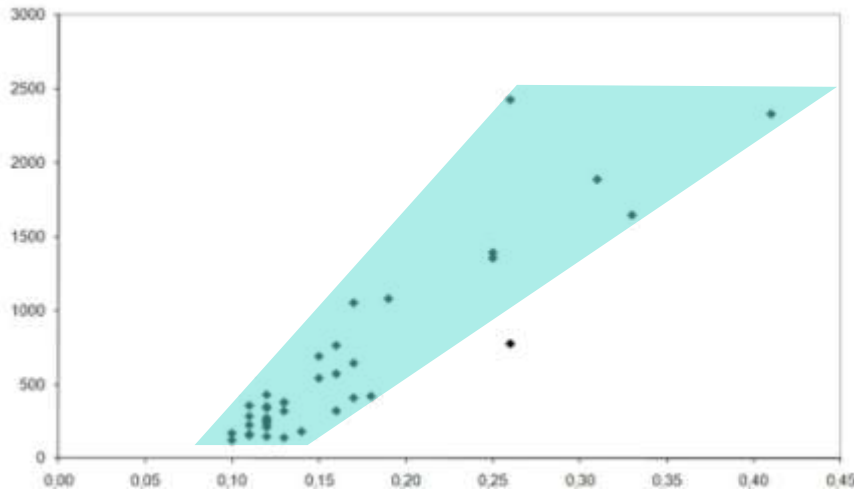
- Vi fik afstands faktoren pga. den forkerte teori - men den ser alligevel ud til at virke
- Hypotesen om hydraulisk tryk lever stadigvæk i bedste velgående!

Hvad sker der på forskningsfronten?

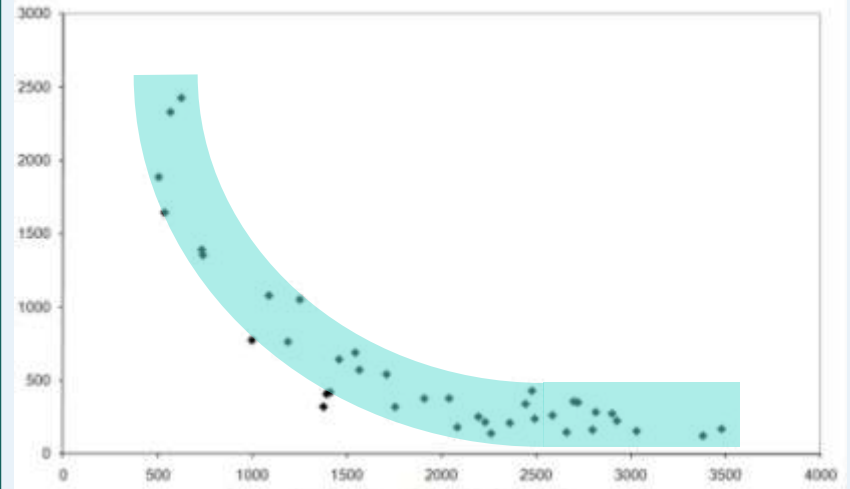
Nordic Concrete Research mini-seminar: Freeze-thaw testing of concrete (2010)

Sture Lindmark, LTH:

Afskalning
som funktion af
afstandsfaktoren



Afskalning
som funktion af
luftporernes totale overfladeareal



Invitation

Det vil glæde mig at se
jer til

Sara Laustsens
Ph.D. forsvar:

**Engineered
air-entrainment
of concrete**

Tid: 26. september kl.
13⁰⁰

Sted: DTU, bygning 116

Tak!

