

Marianne Tange Hasholt  
Danmarks Tekniske Universitet

# Drænbetons frostbestandighed

## Dagsorden

1. Hvad er drænbeton?
2. InnoBYG udviklingsprojekt (2017-2018):  
Superdrænende betonbelægninger
3. Studenterprojekt på DTU om drænbeton

## Hvad er drænbeton?



Foto: [www.innobyg.dk](http://www.innobyg.dk)

## Hvad er drænbeton?

### Drænbeton er kendetegnet ved

- stort hulrumsvolumen (10-30%)
- lavt sandindhold "no fines concrete"
- lav styrke, selv ved lave v/c forhold
- høj permeabilitet (0,2-1,2 cm/s)

# Hvorfor drænbeton?

Der er behov for klimatilpasning



Istedgade skybrud 2011-07-02

Foto: Lisa Risager

[CC BY-SA 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0>)]

# Hvorfor drænbeton?

Permeable belægnings kan være en del af løsningen



Helenevej på Frederiksberg

Foto: Leif Jørgensen

[CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>)]

## Hvorfor ikke drænbeton?

Erfaring med drænbeton fra bl.a. England, Tyskland og USA, men...

- meget af erfaringsgrundlaget er empirisk
- delmaterialer er ikke nødvendigvis ens
- i Danmark skal beton til udendørs brug være frostbestandig

## InnoBYG udviklingsprojekt



Bachelor-projekt

## InnoBYG udviklingsprojekt

### Fokus på frost/tø-eksponering, herunder at belyse

- betydning af tilslagetets frostbestandighed
- betydning af luftindhold i pasta
- muligheder for at anvende eksisterende prøvningsmetoder til accelereret fryse/tø-prøvning

EN 206 anvendelsesområde:

*Denne europæiske standard gælder for beton, der er kompakteret således, at den ikke indeholder større mængder indesluttet luft, kun iblandet luft.*

## Fryse/tø-test for konventionel beton

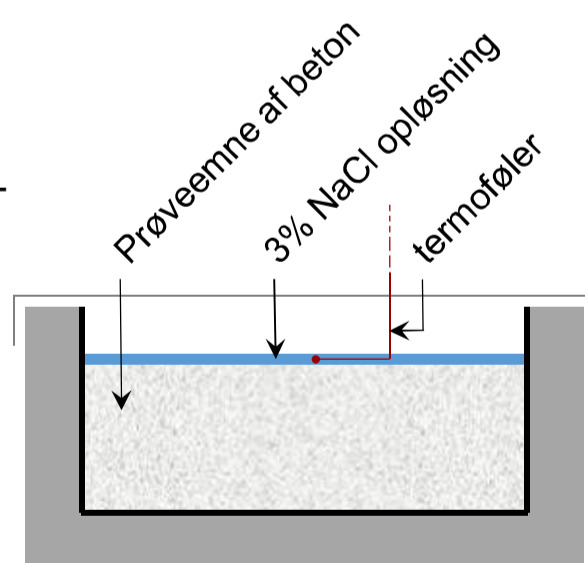
CEN/TS 12390-9:

Prøvning af hærdnet beton –

Del 9: Fryse-tø-modstand med tøsalt –

Afskalning

Reference-metode (Borås-test)



## Fryse/tø-test for drænbeton

DIN 18507:

Pflastersteine aus haufwerksporigem Beton

– Begriffe, Anforderungen, Prüfung und Überwachung

(Belægningssten af beton med åben struktur

- Terminologi, krav, prøvning og produktionskontrol)



DS/EN 12371:

Prøvningsmetoder til natursten

- Bestemmelse af frostmodstand

## EN 12371

### Princip (minder om ASTM C 666)

- Natursten fryses i luft og optøes i væske  
28 cyklusser à 12 timer
- Minimum-temperatur: -10°C (cirka)
- Evaluering: ændring i E-modul (EN 12371) & afskalning (DIN 18507)

### TI / DTU-modifikationer

- curing ikke beskrevet; vi følger CEN/TS 12390-9
- Eksponeringsvæske: rent vand erstattes med 3% NaCl

## Støbning af prøvofelter



+ støbning af cylindre

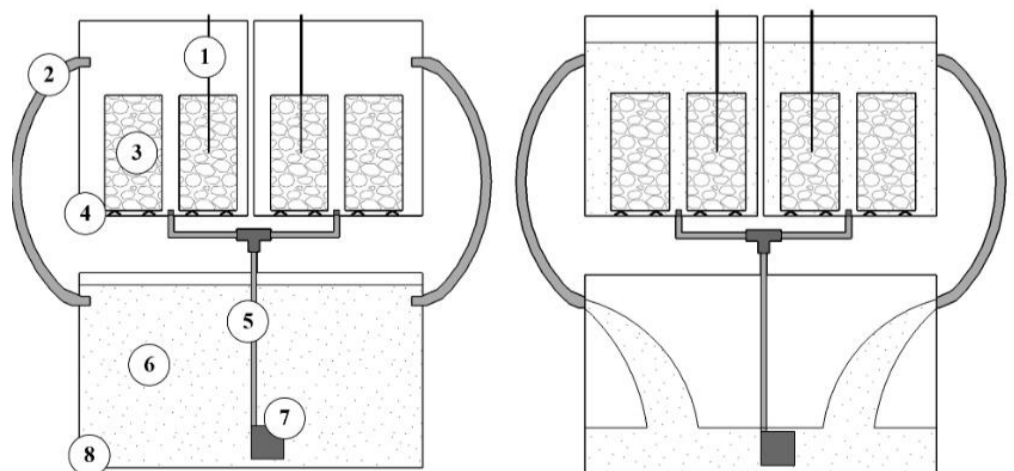
## Fryse/tø-test – 2 versioner

**Teknologisk Institut**

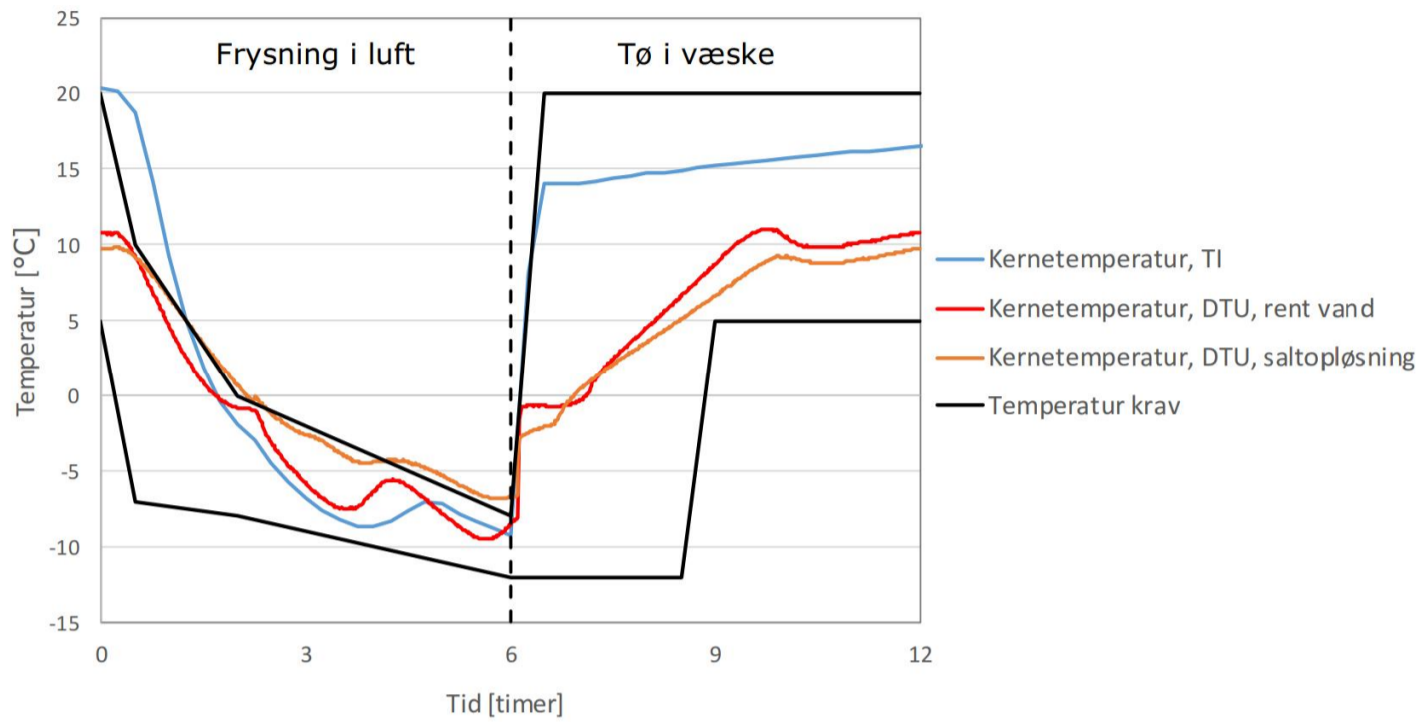
Prøveemner flyttes manuelt mellem frostskaab og optøningsvæske

**DTU**

Automatisk procedure



## Fryse/tø-test - temperaturkurver



## Fryse/tø-test - resultater

Teknologisk Institut

DTU



før



efter





## Konklusion (1)

**Tilslagets frostbestandighed har betydning**

Prøvefelter efter 1 vinter:



P-sten



E-sten

## Konklusion (1)

**Tilslagets frostbestandighed har betydning**

Udborede cylinder med P-sten efter laboratorieprøvning



## Konklusion (2)

### **Pastaens frostbestandighed har sikkert også betydning**

... men på trods af at prøvningsprogram indeholdt betonrecepter med forskellig dosering af luftindblandingsmiddel, lykkedes det ikke at fremstille drænbeton, der kunne betegnes som luftindblandet.

## Konklusion (3)

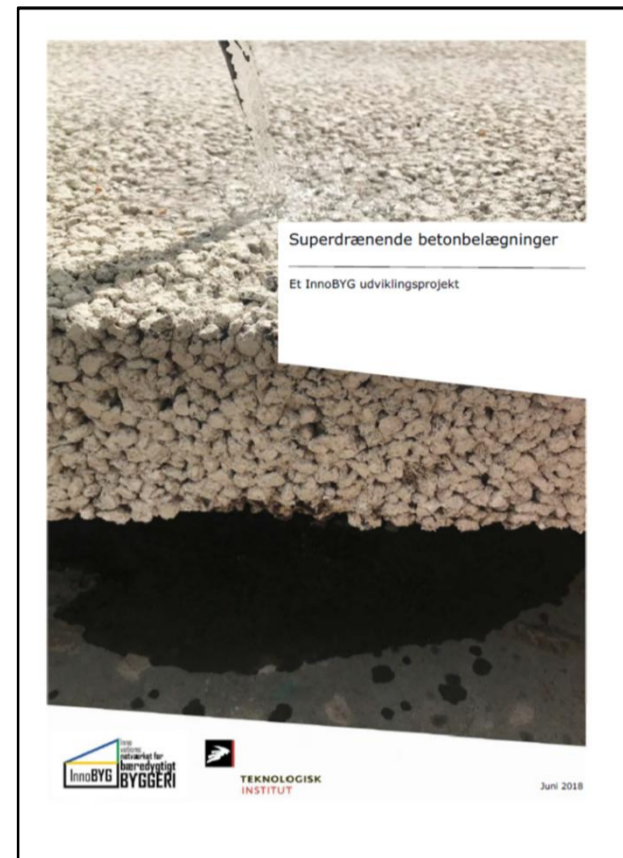
### **Den anvendte metode til accelereret fryse/tø-prøvning er ikke umiddelbart anvendelig**

- Det er ikke tilfredsstillende, at små ændringer af temperaturkurven, der er indenfor det tilladte iflg. standarden, kan give anledning til meget store forskelle i resultater.
- Der mangler accept-kriterier

## Hvis du vil læse mere...

Afsluttende rapport kan downloades

<https://www.innobyg.dk/blogs/udviklingsprojekter/superdraenende-betonbelagninger/2018/afslutning-af-projektet-og-offentliggørelse-af-resultater/>



## På DTU arbejdede vi videre...

### Fokus på luftporeanalyse

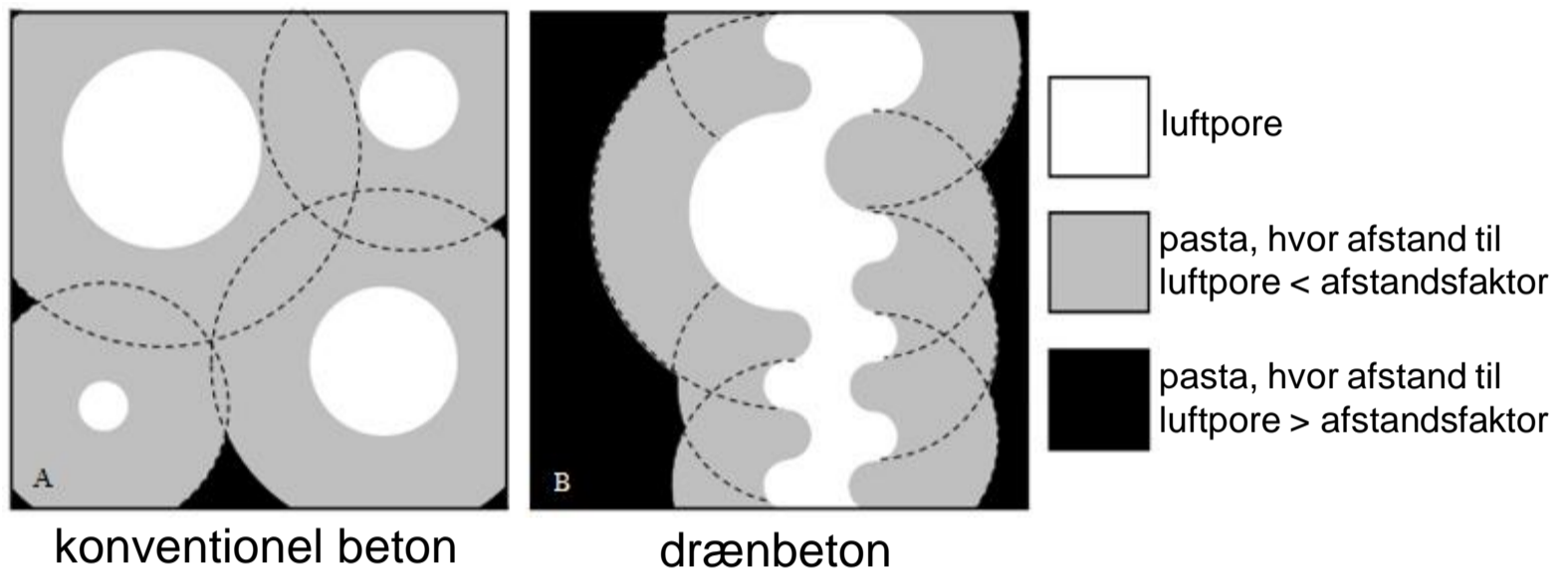
For konventionel beton:

- Frisk beton:  
Luftindhold > 4,5%
- Hærdnet beton:  
Luftindhold > 3,5%  
Afstandsfaktor ≤ 0,20 mm

**Mål: acceptkriterier for drænbetons luftporestruktur**

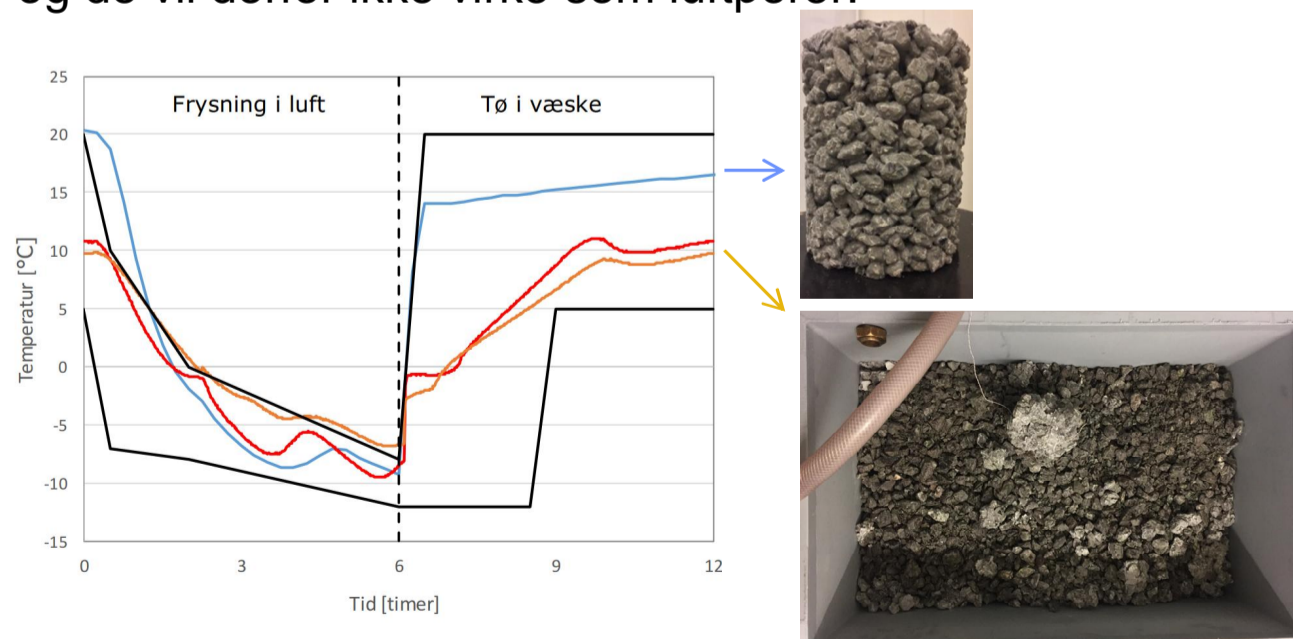
# Drænbetons luftporestruktur

**Udfordring I:** Formler til beregning af afstandsfaktor bygger på antagelse om kuglerunde luftporer



# Drænbetons luftporestruktur

**Udfordring II:** I drænbeton er nogle porer væskefyldte en del af tiden, og de vil derfor ikke virke som luftporer.



## Drænbetons luftporestruktur

### Konsekvens af udfordring I & II:

Det er nødvendigt at skelne mellem

- indblandede luftporer, der er fuldstændigt omsluttet af pasta
- makroporer (drænporer), der er tilgængelige for vand, der løber gennem drænbetonen

(vores definition afhænger ikke af porernes geometri, men kun af om porerne er tilgængelige for vand)

## Drænbetons luftporestruktur

### Udfordring III:

Eksperimentel undersøgelse kræver fremstilling af drænbeton både med og uden indblandet luft

## Ny blandeprocedure (2-trins procedure)

1. Der blandes en konventionel (luftindblandet) beton
2. Der tilsættes ekstra tilslag fra den grove tilslagsfraktion (8-16 mm) for at opnå drænbeton.

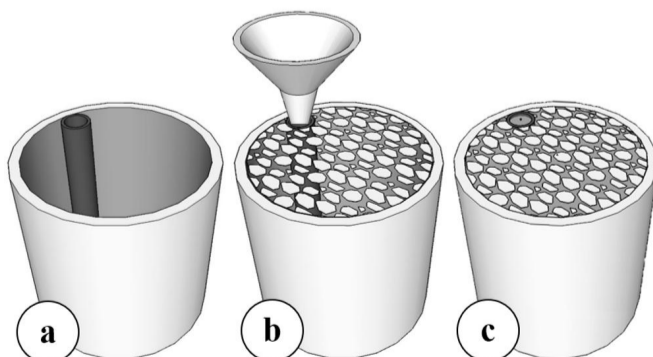
I den endelige recept udgør groft tilslag ca. 60% af delmaterialernes samlede volumen.

Den endelige recept er ikke en optimeret drænbeton-recept, og den indeholder mere sand end typisk drænbeton. Det eftervises ved måling af trykstyrke og permeabilitet, at den funktionsmæssigt er en drænbeton.

## Måling af luftindhold i frisk beton

### 2 fremgangsmåder

- A. Måling af luftindhold i den konventionelle beton efter blandeprocedurens trin 1.
- B. Måling af luftindhold i drænbeton med modificeret pressurmeter efter blandeprocedurens trin 2



# Måling af luftindhold i hærdnet drænbeton

## Fremgangsmåde

1. Makroporer fyldes med epoxy før fremstilling af planslib
2. Makroporerne andel bestemmes vha. billedbehandling
3. Traditionel luftporeanalyse jf. DS/EN 480-11 (den, hvor planslibet farves sort og hvidt)

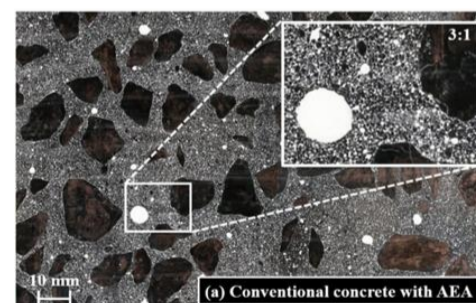
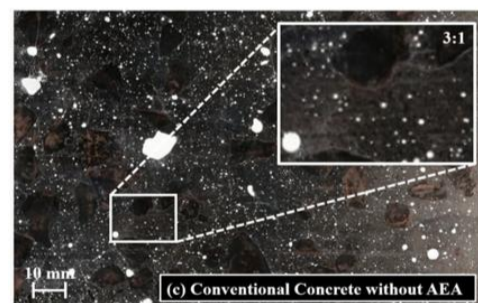


# Evaluering af 2-trins blandeprocedure

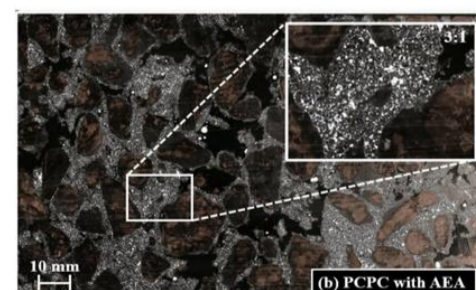
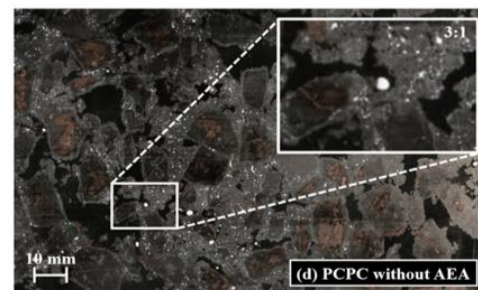
uden luftindblanding

med luftindblanding

efter trin 1



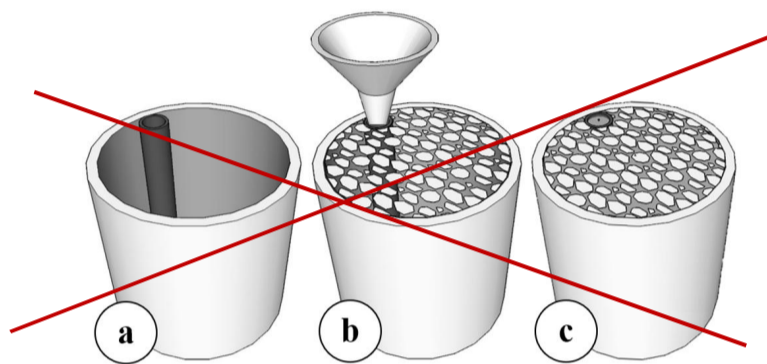
efter trin 2



## Evaluering af måling for frisk beton

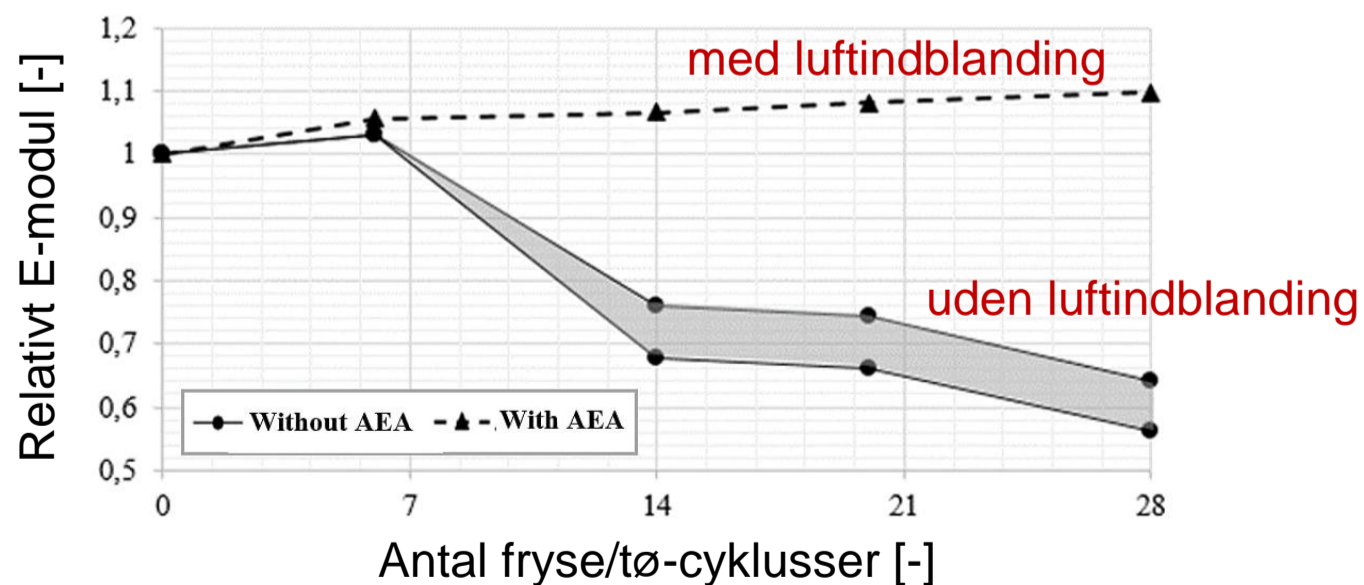
### 2 fremgangsmåder

- A. Måling af luftindhold i den konventionelle beton efter blandeprocedurens trin 1. **OK (omregnet til A/p)**
- B. Måling af luftindhold i drænbeton med modificeret pressurmeter efter blandeprocedurens trin 2 **For usikker**



## Evaluering af måling for hærdnet beton

### Resultater for fryse/tø-test





## Konklusion

**Drænbetons frostbestandighed kan bedømmes på betonsammensætning (v/c) og luftporestruktur**

### Forslag til acceptkriterier

- Frisk beton (målt efter blandeprocedure trin 1):  
Luftindhold ifht. pastaindhold A/p > 0,20
- Hærdnet beton:  
Luftindhold ifht. pastaindhold A/p > 0,10  
Afstandsfaktor ≤ 0,20 mm

## Snakken i kaffepausen

- Snak med Anne Sofie H. Olsen og Rune M. Knudsen (DTU-studerende, der har lavet projekt om drænbeton)
- Er der nogle betonproducenter, der har lyst til at prøve 2-trins blandeprocedure for drænbeton af i praksis?
- Næste skridt: et demonstrationsprojekt (mere end bare et prøvefelt)  
Er der en interesseret bygherre?

**Tak fordi I lyttede 😊**