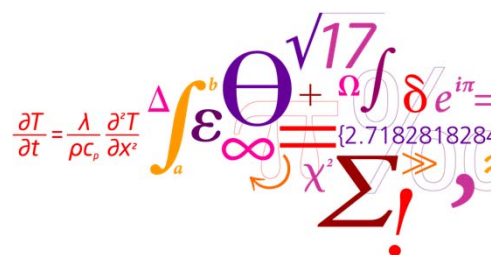


# Alkalikiselreaktioner i armerede betonkonstruktioner

Ricardo Antônio Barbosa  
 Dansk Betondag 2017



DTU Civil Engineering  
 Department of Civil Engineering

# Hvor langt er vi kommet?

For ca. 65 år siden "importerede" vi alkalikiselreaktioner, AKR, til Danmark



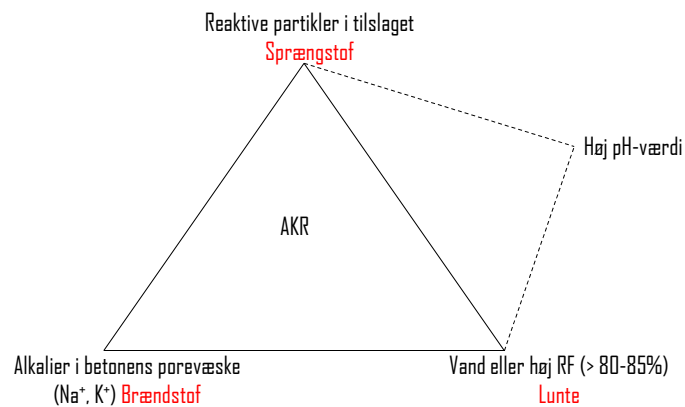
## Alkalikiselreaktioner, AKR

Hvad er AKR i beton?

Kompleks fysisk og kemisk reaktion, der forekommer mellem kiselholdige bjergarter eller mineraler i tilslaget (f.eks. opal  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) og alkaliforbindelser i betonens porevæske

## Alkalikiselreaktioner, AKR

For at skadelige reaktioner (revnedannelser) kan forekomme indenfor "rimelig" tid, skal fire forudsætninger være tilstede i betonen samtidig - og i **en vis kritisk mængde**.





## Mangel på AKR forskning

**Meget begrænset forskning med hensyn til praktiske konsekvenser af AKR**

**Meget begrænset forskning** der omhandler betonens **mekaniske egenskaber samt restbæreevne** af svære AKR skadede konstruktioner



Publicerede resultater er generelt baseret på laboratoriestøbte og accelererede prøveemner

- Uden armering
- Og når armeret – kan revneorienteringen forårsaget af AKR ikke sammenlignes med eksisterende konstruktioner (brodæk)

Resultaterne er **interessante**, men er sjældent sammenlignelige med eksisterende AKR skadede konstruktioner (brodæk)



Rådgiverne har ikke realistiske og troværdige resultater, til eftervisning af konstruktionens tilstand og restbæreevne



Erstatning/nedrivning eller forstærkning?

7

## Undersøgelser af elementer fra eksisterende AKR skadede, slapt armeret, brodæk uden forskydningsarmering

## AKR skadede bjælker og plader



## AKR skadede elementer og AKR revneorientering

AKR revnerne er primært orienteret parallelt med armeringsretningen – **overfladeparallele revner**

Kan man udbore intakte kerner (ét sammenhængende stykke) fra så revnede brodæk?

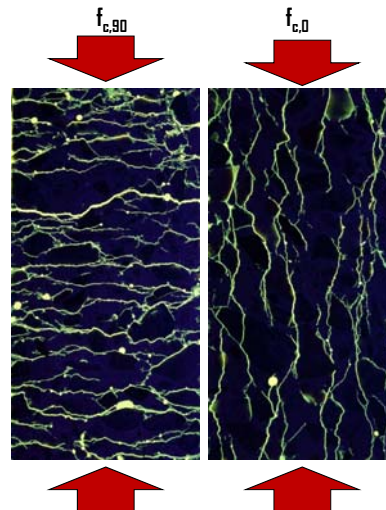
**JA** – størstedelen af mere end 300 udborede kerner i dette projekt af stærkt revnede betoner er udboret i ét sammenhængende stykke (**både lodret, som vandret udboring**)



## AKR revner og trykstyrke

- **Overraskende** er  $f_{c,0} > f_{c,90}$  - vurdering af betonens trykstyrke baseret på  $f_{c,90}$  (normal udboringsretning) kan være rimelig konservativ

- **MEN.** Forholdet  $f_{c,0}/f_{c,90}$  er ikke konstant - kan variere mellem 1.16 til 1.66 for samme broplade

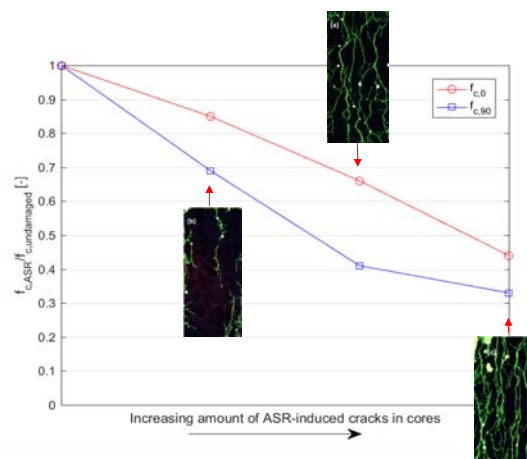


## AKR revner og trykstyrke

- **Overraskende** er  $f_{c,0} > f_{c,90}$  - vurdering af betonens trykstyrke baseret på  $f_{c,90}$  (normal udboringsretning) kan være rimelig konservativ

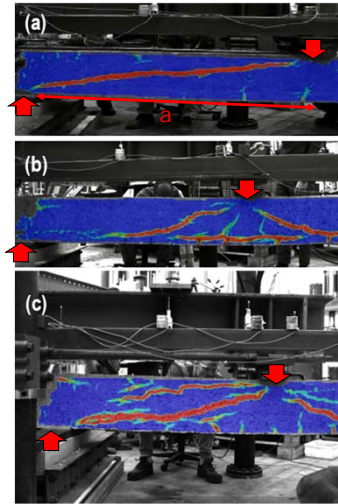
- **MEN.** Forholdet  $f_{c,0}/f_{c,90}$  er ikke konstant - kan variere mellem 1.16 til 1.66 for samme broplade

- Denne variation skyldes et varierende antal af revner i de testede borekerner



## Forskydningsbæreevne af eksisterende AKR skadet brodæk

- Betydelig fald i mekaniske egenskaber (trykstyrke og trækstyrke) pga. AKR revnerne
- AKR forårsaget forspænding i armering kompenserer til en vis grad for den betydelige fald i mekaniske egenskaber
- AKR forårsaget forspænding i armering – nemt at måle – 1,1 til 1,4 ‰ ( $\sigma_s \approx 200-300 \text{ MPa}$ ) – trykspænding i betonen  $\sigma_{cp} \approx 1,0 \text{ Mpa}$  (pba. aktuelle armeringsforhold)
- De målte bæreevner er acceptable og svarer mindst til beregnede bæreevner baseret på én-akset trykstyrke (vandret og lodret udboring)
- De målte bæreevner er langt bedre end tidligere estimeret (i 2009)



## Forskydningsbæreevne af eksisterende AKR skadet brodæk

### Hvor langt er vi kommet?

- På baggrund af disse tests kunne der trækkes en mere rationel og objektiv konklusion om pålideligheden af brodækket
- De målte forskydningsbæreevner er så tilpas store og har så lille spredning, at det eksisterende brodæk fortsat vil kunne indgå i den bærende konstruktion
- Ummiddelbar nedrivning og erstatning af brodækket, som oprindeligt var forventet, vurderes at være unødvendig – forlængelse af konstruktionens levetid





## Hvor langt er vi kommet?

---

Undersøgelse af eksisterende AKR  
skadede konstruktioner

- Vi er kommet langt.. **MEN**
- Vi kigger kun på et **øjebliksbillede** af AKR revneomfanget på et bestemt tidspunkt i reaktionens udvikling – **fremtidig udvikling?**
- Desuden, **one size may not fit all** – flere parametre kan påvirke konstruktioners bæreevne og tilstand – dvs. individuel evaluering af hver konstruktion er nødvendig
- Ved undersøgelse af eksisterende AKR skadede konstruktioner, mangler vi stadig den samlede tidsafhængige forståelse vedrørende udviklingen af AKR in-situ

## Tidsafhængig indflydelse af AKR på laboratoriefremstillede og -accelererede armerede plader

---



## AKR på laboratoriefremstillede og accelererede armerede plader

For at udvikle pålidelige og realistiske vurderingsmetoder/modeller eller forbedre eksisterende metoder til vurdering af AKR skadede brodæk, er det **nødvendigt** at inkludere den tidsafhængige AKR udvikling i evalueringen af disse konstruktioner - (sammenhæng af øjeblikbilleder - ift. revnedannelser, bæreevne, mekaniske egenskaber mm.)



Det kræver dog, at vi kan reproducere AKR revnerne (orienteringen mm.) observeret in-situ i laboratoriet

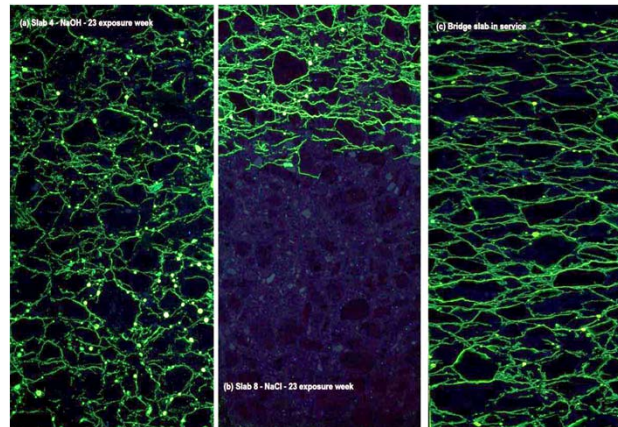
## Hvordan accelererer vi de armerede plader?

- Pladestørrelser 1,5 x 1,5 x 0,25 m
- 40 °C og høj RF 90-100 % RF i en isoleret container
- Forhøje alkaliindholdet ( $\text{Na}_2\text{O}$  ækv.) i betonen fra 2,1 til 7  $\text{kg}/\text{m}^3$  af cementvægten ved at tilføje NaOH til blandedevandet - 2 plader
- Ekstern tilførelse af mættet NaCl opløsning (3 L) til QS af betonpladerne hver 2.-3. uge - 2 plader



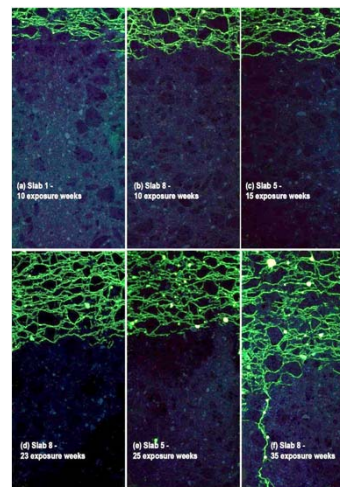
## NaOH og NaCl – armerede plader

- Ved at hæve alkaliindholdet (boosting) forøges reaktionshastigheden som forårsager netrevner – ikke sammenlignelig med eksisterende AKR skadede broplader
- NaCl-opløsning fra OS betonplade – revneorienteringen er sammenlignelig med eksisterende AKR skadede broplader



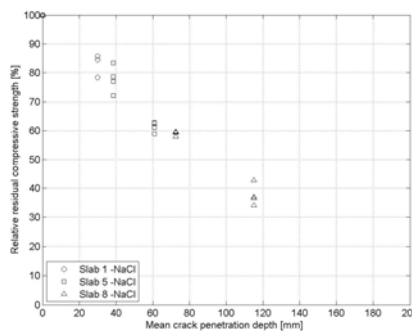
## Revneindtrængningsdybde- armerede plader eksponeret for NaCl

- Øget nedadgående udvikling af AKR revner med forøget eksponeringstid – ikke overraskende, men det foregår meget hurtigt
- Hvor hurtigt kan vi opdage AKR revner på US brodæk på eksisterende konstruktioner?



## Revneindtrængningsdybde og én-akset trykstyrke

- AKR revner vinkelret på trykretningen har en stor negativ indflydelse på trykstyrken
- Stærkt lineært fald i trykstyrken, som funktion af revneindtrængning – trykstyrken forventes dog at stabilisere sig
- Styrken vinkelret på AKR-revner er ikke en god indikator for AKR udviklingen – kun få lokale revner resulterer i et stort fald i styrken – overvurderer nedbrydningen
- **Bekræfter undersøgelserne foretaget på udborede kerner fra eksisterende AKR skadede brodæk**



## Hvor langt er vi kommet?

Tidsafhængig indflydelse af AKR på laboratoriefremstillede og -accelererede armerede plader

- Bedre forståelse af de mekanismer der er involveret i dannelsen af revner samt i hastigheden af revneindtrængningen – herunder virkningen af interne og eksterne alkalier
- Udvikling af AKR revner som er observeret i eksisterende brodæk blev perfekt gengivet

**- Vi er kommet langt – men der er stadig mange vigtige og uafklarede spørgsmål..**

## Nuværende og fremtidig AKR forskning i Danmark

### Søren Gustenhoff Hansen – SDU

Undersøgelser af forskydningskapaciteten af svære AKR-skadede betonplader - også teoretisk

Udvikling af en praktisk metode til vurdering af forskydningskapaciteten af AKR-skadede betonplader

## Nuværende og fremtidig AKR forskning i Danmark

### Hans Christian Brolin Thomsen – DTU Byg

#### 1. Undersøgelse af udenlandske tilslagsforekomster

Accelererede ekspansionstest vs. in-situ eksponering

Grænse for alkaliindhold - er det 3 kg  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ . pr.  $\text{m}^3$  beton eller meget lavere?

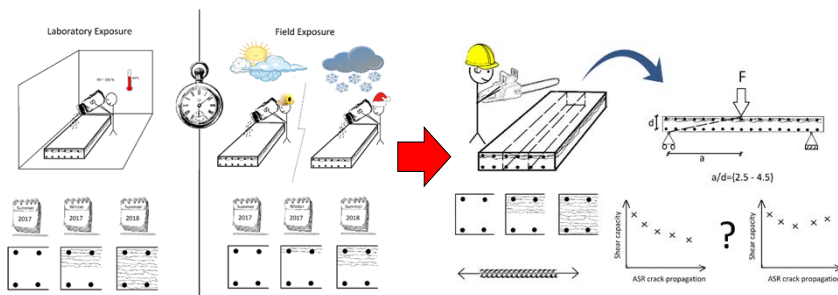
Inflydelse af NaCl



# Nuværende og fremtidig AKR forskning i Danmark

Hans Christian Brolin Thomsen - DTU Byg

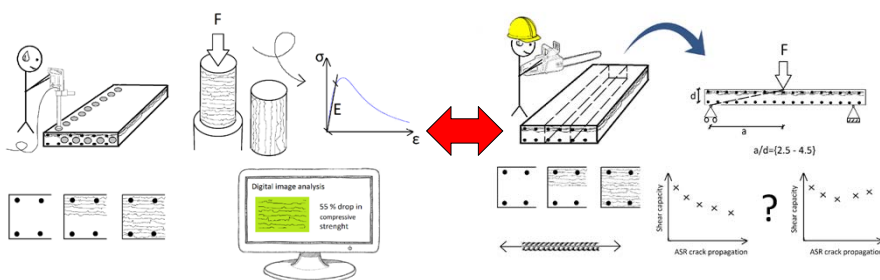
## 2. Undersøgelser af armerede betonplader



# Nuværende og fremtidig AKR forskning i Danmark

Hans Christian Brolin Thomsen - DTU Byg

## 2. Undersøgelser af armerede betonplader



## TAK TIL



## TAK TIL

Alle bachelor- og kandidatstuderende der har bidraget til projektet:

**Christian Gottlieb**

**Emilie Caroline Nielsen**

**Nikolaj Rask**

**Lasse Jessen**

**Damien Hannerz**

**Siff Barsk**

**Sophie Andersen**

**Anders Sønderris**

**Michael Ryding**

**Louise Enoksen**

**Michael Johansen**

**Anna Alberg**

**Kenneth Petersen**

**Hans Christian Brolin Thomsen**

**Amanda McNair**

**Fróði Klein Sundsskarð**

**Trine Norsk**

**Kristian Kristensen**

**> 500 ECTS point**

---

Tak for jeres opmærksomhed!