

# Holdbarhed af stålfiberarmeret beton

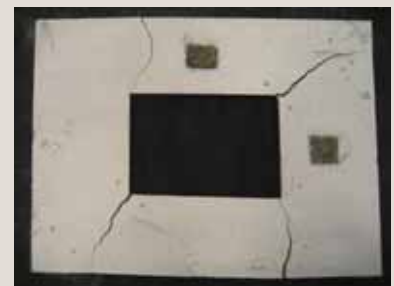
Anders Solgaard, COWI A/S

1 | 10 OKTOBER 2012  
HOLDBARHED AF STÅLFIBERARMERET BETON

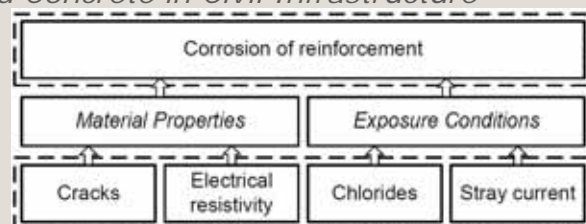
COWI

## Introduktion

- > Anders Ole Stubbe Solgaard
- > Civilingeniør (Bygning)
  - > *In-Plane Shear Test of Fibre Reinforced Concrete Panels*
- > PhD Studerende (COWI A/S & DTU Byg)
  - > *Application of Fibre Reinforced Concrete in Civil Infrastructure*



© Anders Solgaard



© Anders Solgaard

2 | 10 OKTOBER 2012  
HOLDBARHED AF STÅLFIBERARMERET BETON

COWI

## Agenda

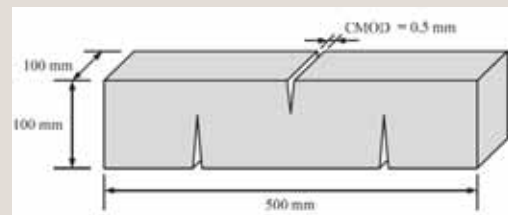
- > Anvendelse af stålfiberarmeret beton
- > Holdbarhed af stålfiberarmeret beton
  - > Korrosion i u-revnet beton
  - > Korrosion i revnet beton
- > Kombineret armering
- > Afrunding



© COWI A/S



© Anders Solgaard



Granju & Balouch, 2005

COWI

3 | 10 OKTOBER 2012  
HOLDBARHED AF STÅLFIBERARMERET BETON

## Anvendelse af fiberbeton I

- > **Sekundær armering**
  - > Linje 9, Barcelona metro (ES)
  - > Faver S.S. 612 tunnel (IT)
  - > Madrid Metro (ES)
- > **Primær armering**
  - > Fjernvarmetunnelen (DK)
  - > 2<sup>nd</sup> Heinenoord tunnel (NL) – Delvist
  - > Channel Tunnel Rail Link (FR/GB)
  - > Carlsberg højlager (DK)
  - > Oenzburg tunnel (CH)
  - > Liefkenhoeks tunnel (BE)

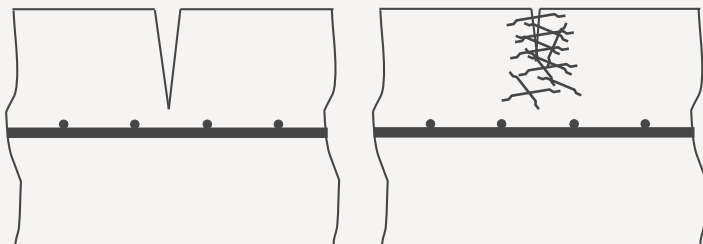
4 | 10 OKTOBER 2012  
HOLDBARHED AF STÅLFIBERARMERET BETON

COWI

## Anvendelse af fiberbeton II

### > Sekundær armering

- > Fordele spændinger
- > Minimere revnevidder



© Bekaert

### > Primær armering

- > Duktilitet ved montering, opbevaring mm.
- > Ingen konstruktiv effekt i levetiden



© COWI A/S

## Eksempel – Fjernvarmetunnelen i Kbh

### > Fakta

- > Ca. 4 km lang boret tunnel
- > Ø 4.2 m
- > Stålfiberarmerede segmenter

### > Udfordringer

- > 100 års levetid
- > Højt klorid-indhold i grundvandet
- > Høje temperaturer

# Korrosion af stålfibre – u-revnet beton

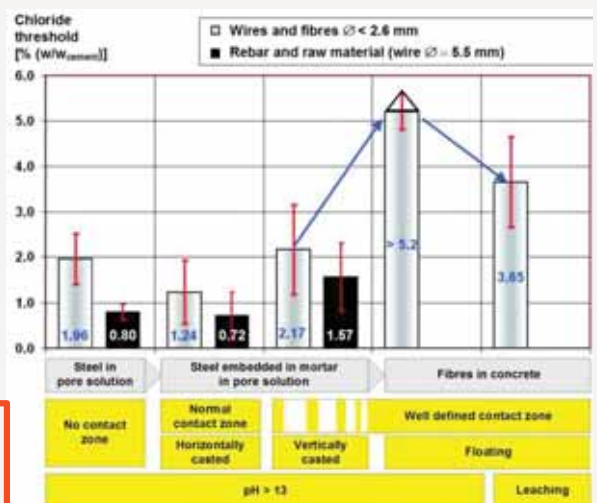
## Nedbrydningsmekanismer

- > Karbonatisering
  - > Begrænset til nogle få millimeter
  - > Ringe korrosion
- > Klorider
  - > Stålfibre har stor modstand imod klorid-induceret korrosion

Hvorfor??

# Korrosion af stålfibre – kloridtærskelværdi I

- > Kloridtærskelværdi
  - > Mørtel ~ 1.2 – 2.2 %
  - > Beton ~ 5.2 %



Altså op til 5-10 mere end for armeringsjern

Dauberschmidt, 2006

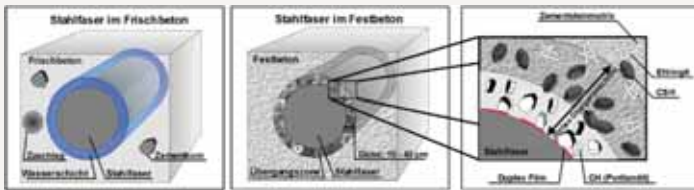
# Korrosion af stålfibre – kloridtærskelværdi II

## > Størrelses-effekt

- > Minimal potentialforskel (oxygen)
- > Lille katode

## > Udstøbning

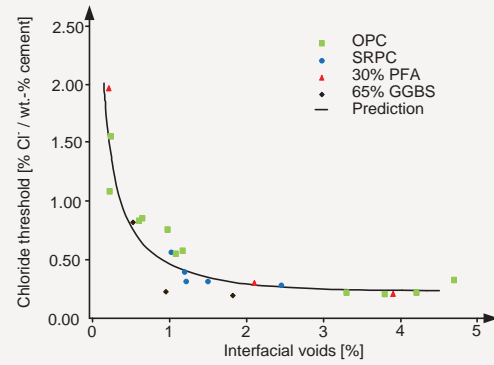
- > Flydende fibre
  - > Tættere beton/stål kontaktzone
  - > Færre fejl i kontaktzonen



Daubersmidt, 2006

## > Konklusion, u-revnet beton

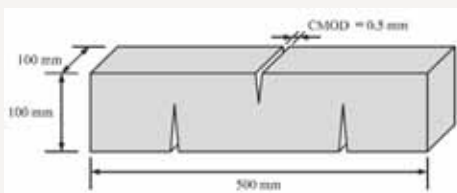
- > Forøget korrosionsmodstand
- > Korrosion giver ikke afskalning
- > Æstetisk problem



After Buenfeld, 2004

COWI

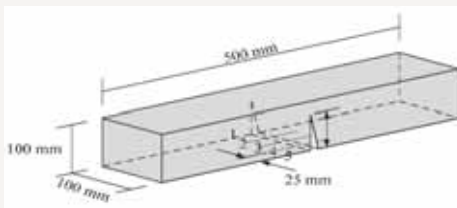
# Korrosion af fibre – revnet beton



Granju & Balouch, 2005

- > w/c = 0.60
- > CMOD = 0.5 mm

$$w_{lim} \sim 0.1 \text{ mm}$$



Mangat, 1987

- > 650 spray-cykler
- > CMOD = 0.03 – 1.73 mm

$$w_{lim} \sim 0.15 \text{ mm}$$

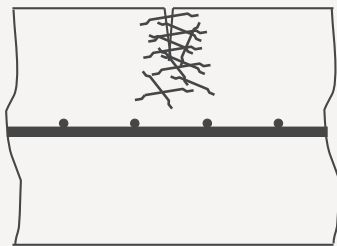
$w_{lim} = 0.1 \text{ mm??}$

**Mere forskning er påkrævet!**

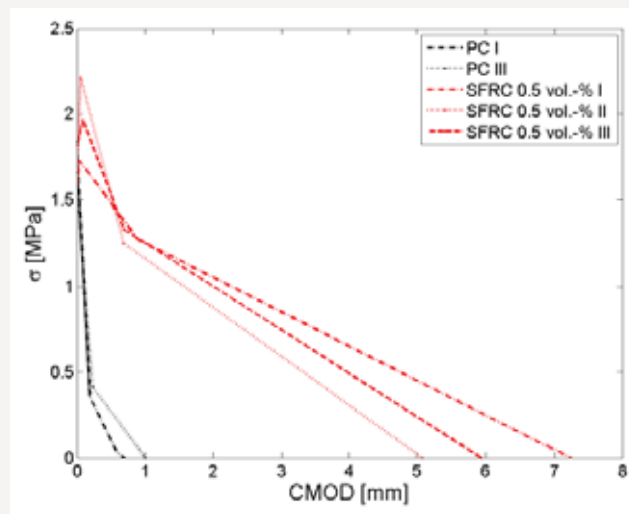
COWI

## Kombineret armering

- > Fibre kan minimere revnevidder
- > Forøget duktilitet af dæklag



© Bekaert

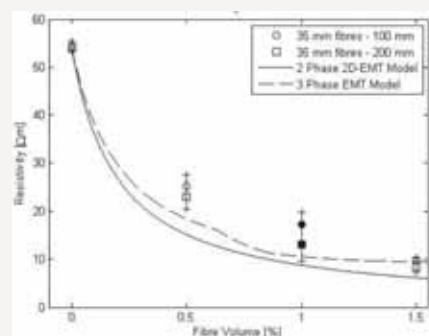


© Anders Solgaard

### • "Bivirkninger" af fibrene...?

## Resistivitet af stålfiberarmeret beton

- > Resistiviteten vigtig for korrosion
- > Tilsætning af fibre reducerer resistiviteten
  - > Passive (isolerede)
  - > Variation tilsvarende temperatursvingninger
  - > Variation mindre end rimelig variation af fugt



Solgaard et al., 2009

## Konklusioner

- > Stålfibre har en forhøjet kloridtærskelværdi
- > Karbonatisering begrænset til yderste millimeter
- > Fibrene kan reducere resistivitet af beton, men ikke mere end almindelig variation i temperatur og fugt



© Anders Solgaard

Tak for jeres opmærksomhed

[adso@cowi.dk](mailto:adso@cowi.dk)

## Referencer

- > [Buenfeld et al., 2004] Buenfeld, N., Glass, G., Reddy, B., and Viles, F. (2004), *Process for the Protection of Reinforcement in Reinforced Concrete*, United States Patent 6685822.
- > [Dauberschmidt, 2006] Dauberschmidt, C. (2006), *Untersuchungen zu den Korrosionsmechanismen von Stahlfasern in chloridhaltigem Beton*. Dissertation, RWTH Aachen, 03 Fakultät für Bauingenieurwesen, Germany.
- > [Granju, 2005] Granju, J.-L. and Balouch, S.L. (2005), Corrosion of steel fibre reinforced concrete from the cracks, *Cement and Concrete Research* **35**, 572-577.
- > [Mangat, 1987] Mangat, P.S. and Gurusamy, K. (1987), Chloride diffusion in steel fibre reinforced marine concrete, *Cement and Concrete Research* **17**, 385-396.
- > [Solgaard et al., 2009] Solgaard, A.O.S., Michel, A., Stang, H., Geiker, M.R., Küter, A. and Edvardsen, C. (2009), Modelling the influence of steel fibres on the electrical resistivity of cementitious composites, in *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International PhD Workshop – Modelling the Durability of Reinforced Concrete*.

**Særlig tak til Bekaert og COWI A/S for at stille billeder til rådighed**