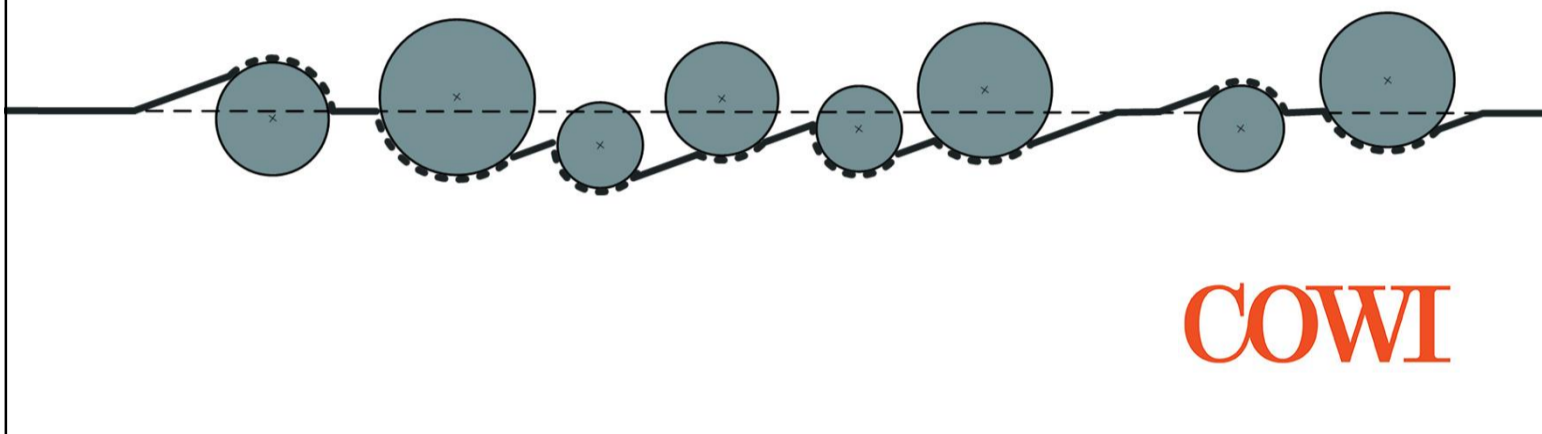


DANSK BETONDAG 2019

EN UNDERSØGELSE AF DE FORBEDREDE KONSTRUKTIVE EGENSKABER AF **INDESLUTTET BETON**

LISE KJÆR ANDERSEN



COWI

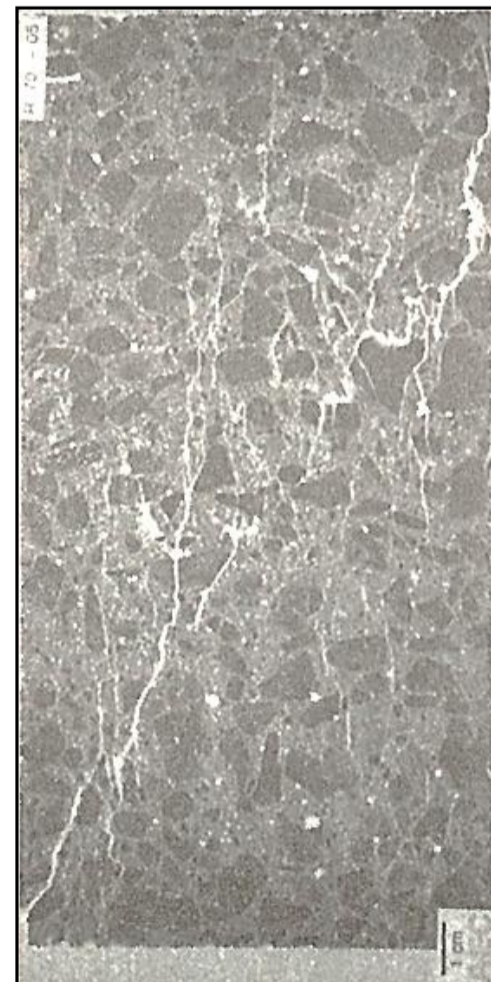
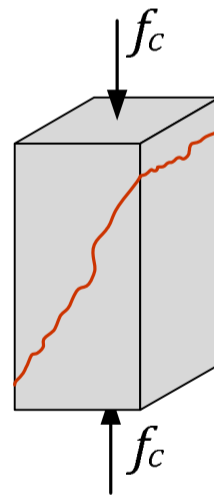
1

SLIDE 2/19

STYRKEN AF INDESLUTTET BETON **COWI**

INTRODUKTION

TRYKBRUD AF BETON



2

INTRODUKTION

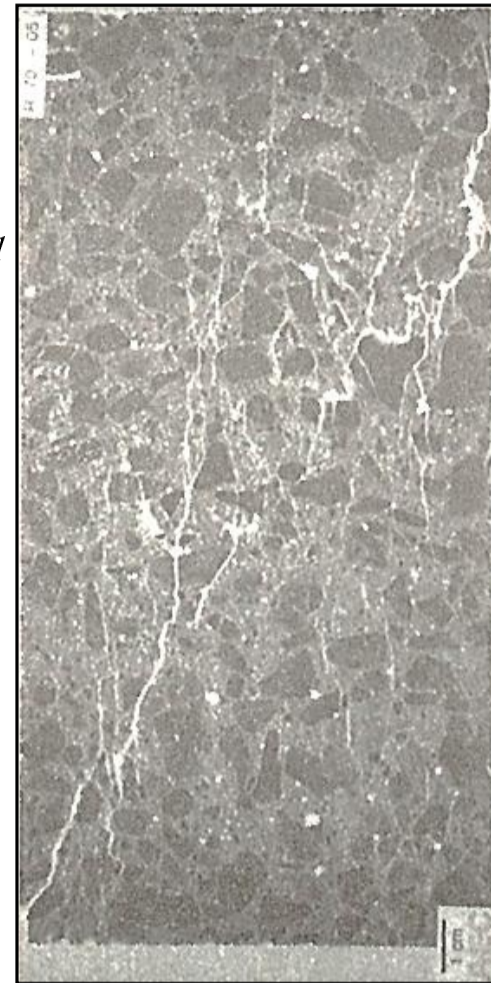
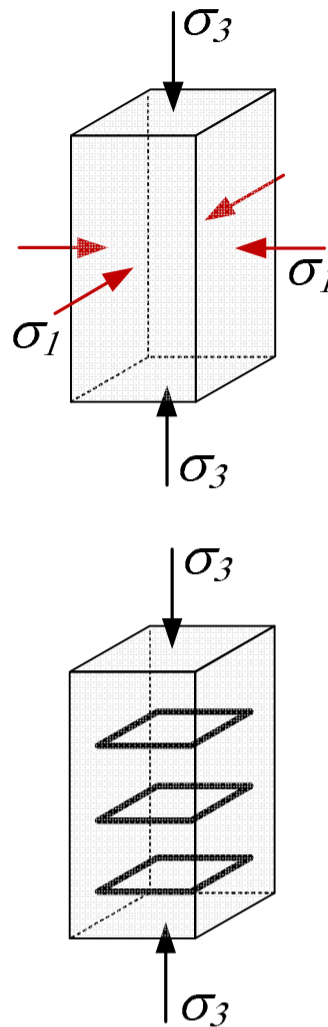
TRYKBRUD AF BETON

AKTIV CONFINEMENT

Ydre trykspænding påsættes på tværs af konstruktionen – uafhængig af konstruktionens opførelse.

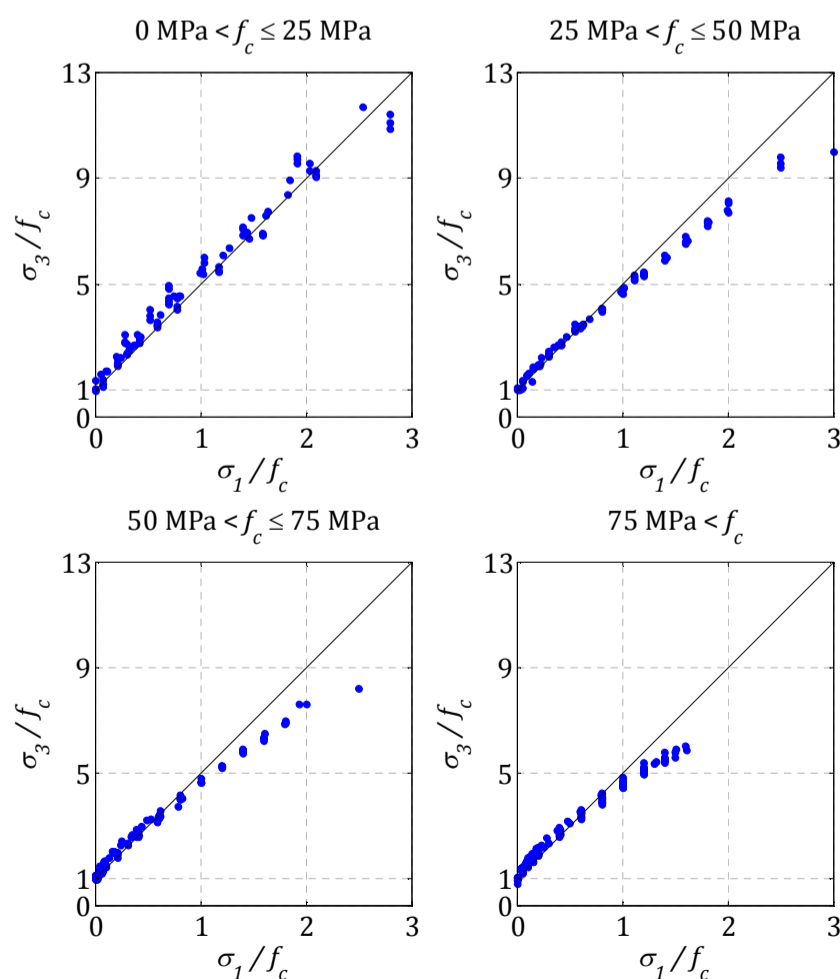
PASSIV CONFINEMENT

Fysisk arrangement som indeslutter konstruktionen – modvirker tværudvidelser af konstruktionen under brud.



3

BRUDBETINGELSE FOR BETON



(i) Hvad er den fysiske forklaring på at brudbetingelsen afviger fra den lineære model?

(ii) Hvorfor resulterer forskellige betonstyrker i forskellige brudbetingelser?

(iii) Er brudbetingelsen for aktiv confinement direkte anvendelig for passiv confinement?

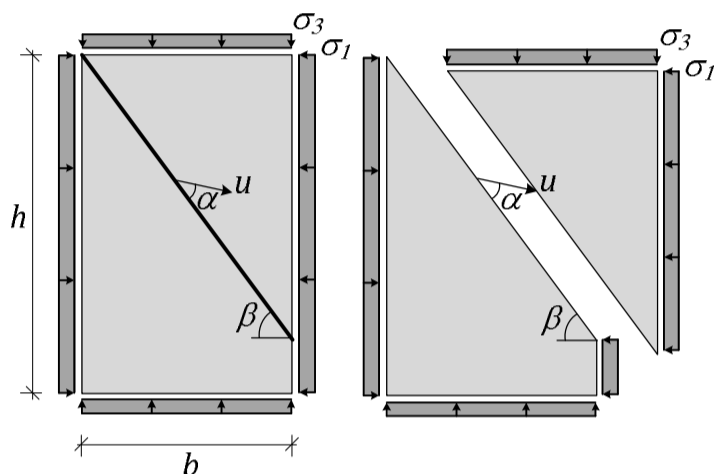
4

KLASSISK PLASTICITETSTEORI**Homogent Coulomb materiale**

$$W_I = \left(\frac{1}{2} u f_c (1 - \sin \alpha) + f_t u \left(\frac{\sin \alpha - \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \right) \right) \frac{t b}{\cos \beta}$$

$$W_E = \sigma_3 t b u \sin(\beta - \alpha) - \sigma_1 t b \tan \beta u \cos(\beta - \alpha)$$

$$\sigma_3 = f_c + \sigma_1 \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \cong f_c + 4 \sigma_1$$

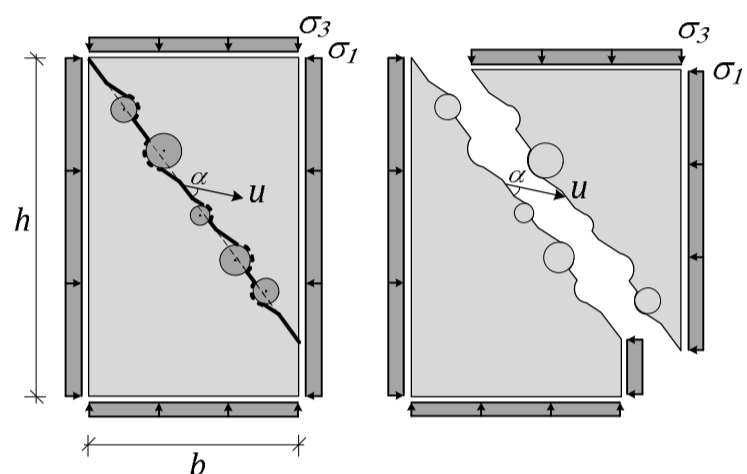
**SUB-MAKROSKOPISK MODEL****Beton som to-fase materiale:**

- (i) Tilslag
- (ii) Cementpasta

Cementpasta som to-fase materiale:

- (i) Uhydratiserede cementkorn
- (ii) Hydratiseringsprodukt

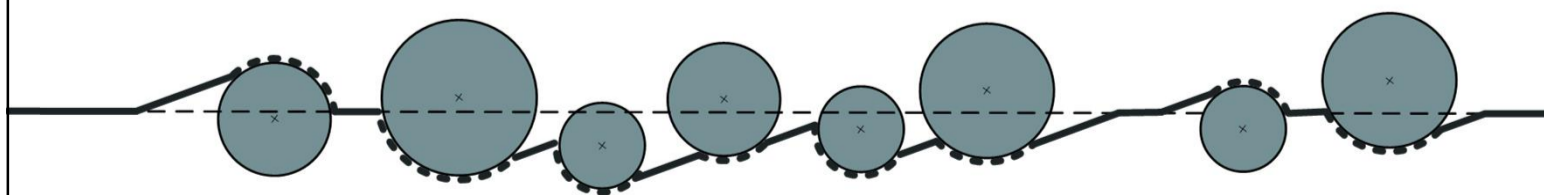
$$W_I = ? \quad W_E = ? \quad \sigma_3(\sigma_1) = ?$$



5

AGENDA

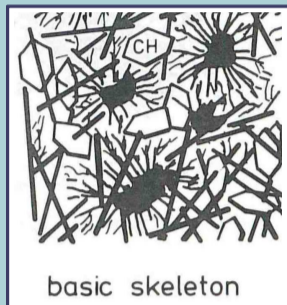
- 1) Introduktion og baggrund
- 2) Kort kig ned i mikrostrukturen af hærdnet cement og beton
- 3) Foreslået brudmekanisme for beton
- 4) Estimering af styrken af aktivt indesluttet beton
- 5) Estimering af styrken af passivt indesluttet beton
- 6) Konklusion



6

MIKROSTRUKTUR AF CEMENTPASTA

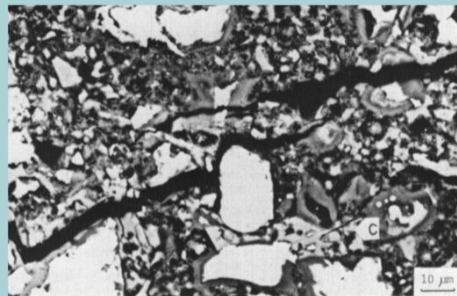
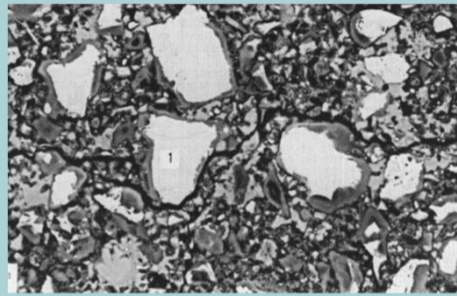
HYDRATISERING AF CEMENT



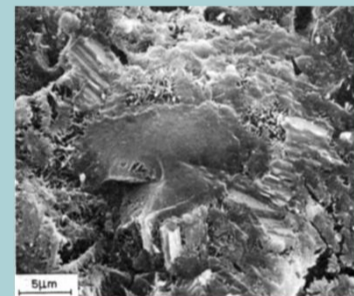
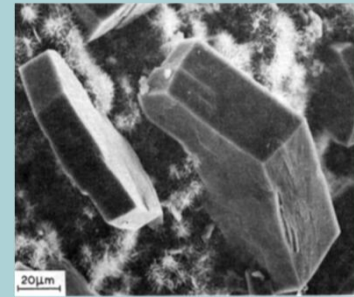
Uhydratiserede korn

CH krystaller
C-S-H fibre

UHYDRATISEREDE KORN MODSTÅR REVNEDEANNELSE



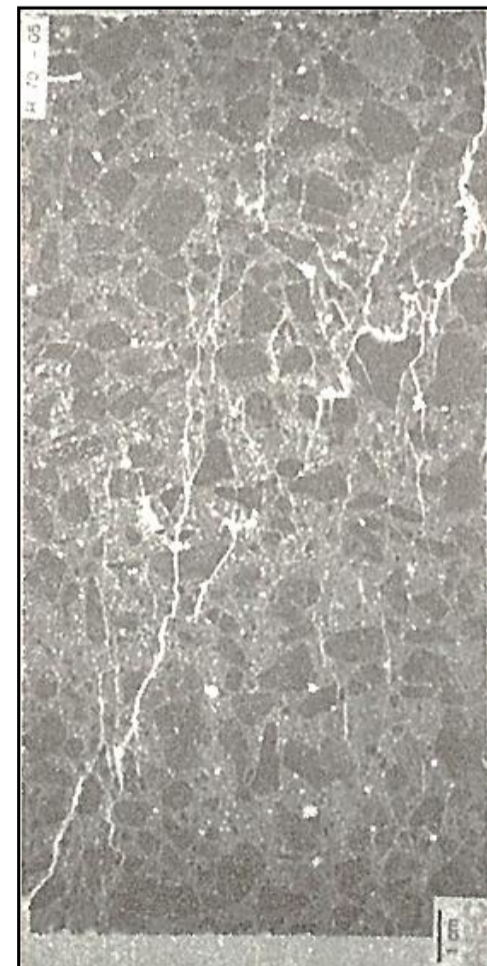
BRUD GENNEM HYDRATISERINGS-PRODUKT



7

TRE TYPER AF MIKRO-REVNER I BETON FORBINDER OG FORMER BRUDPLANET

- 1) Revner langs tilslag/cement-grænseflade
- 2) Revner gennem cementmatricen
- 3) Revner gennem tilslagene



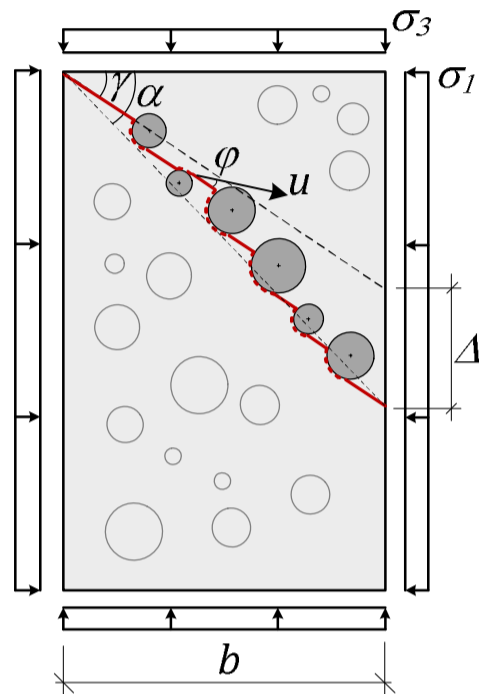
8

FORESLÅET BRUDMEKANISME AF BETON

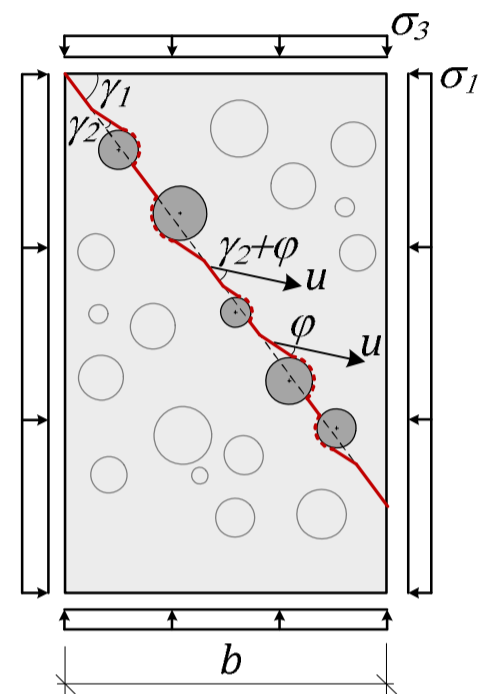
TO-FASE MATERIALE: Tilslag fordelt i matrice af hærdnet cement, grænseflade som det svageste led af materialet.

IDEALISERET PARTIKELSYSTEM: Tilfældigt fordelte kugler som udfylder samme volumenfraktion som det virkelige partikelsystem.

MEKANISME 1



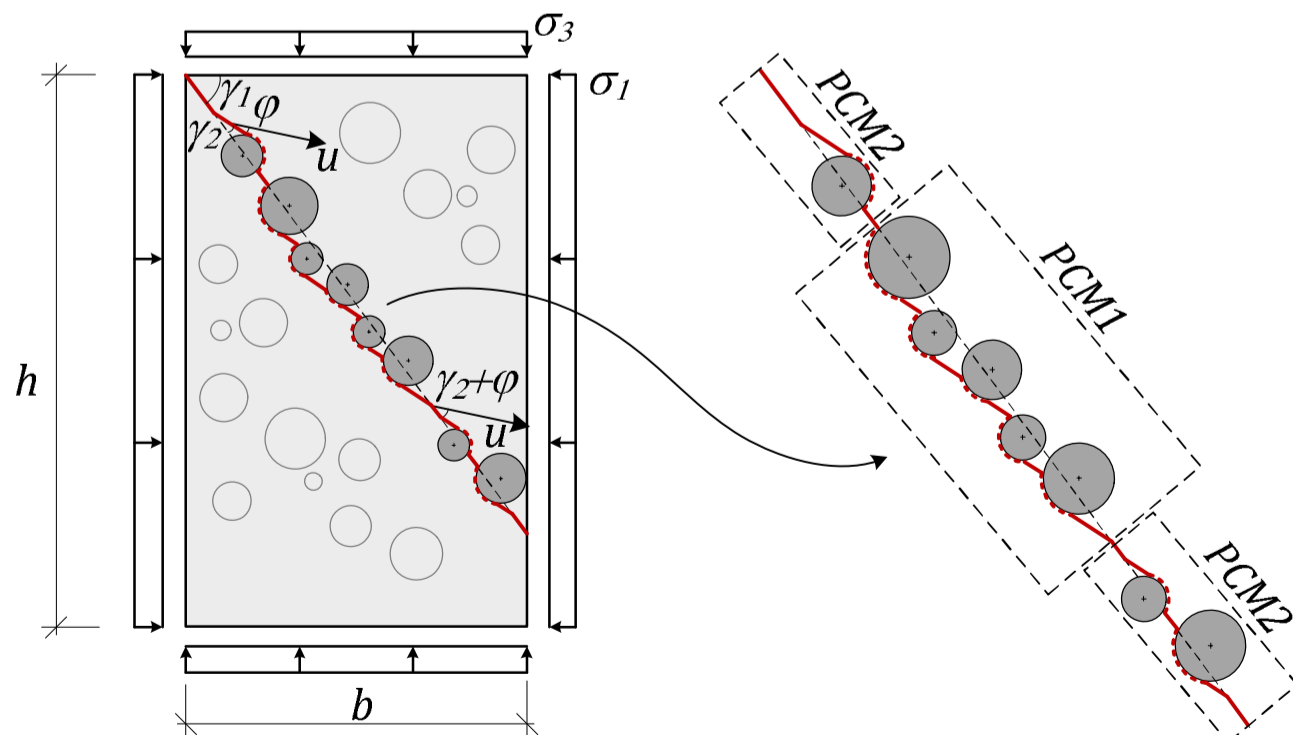
MEKANISME 2



9

KOMBINERET MEKANISME

Vægtet kombination af mekanisme 1 (PCM1) og mekanisme 2 (PCM2)

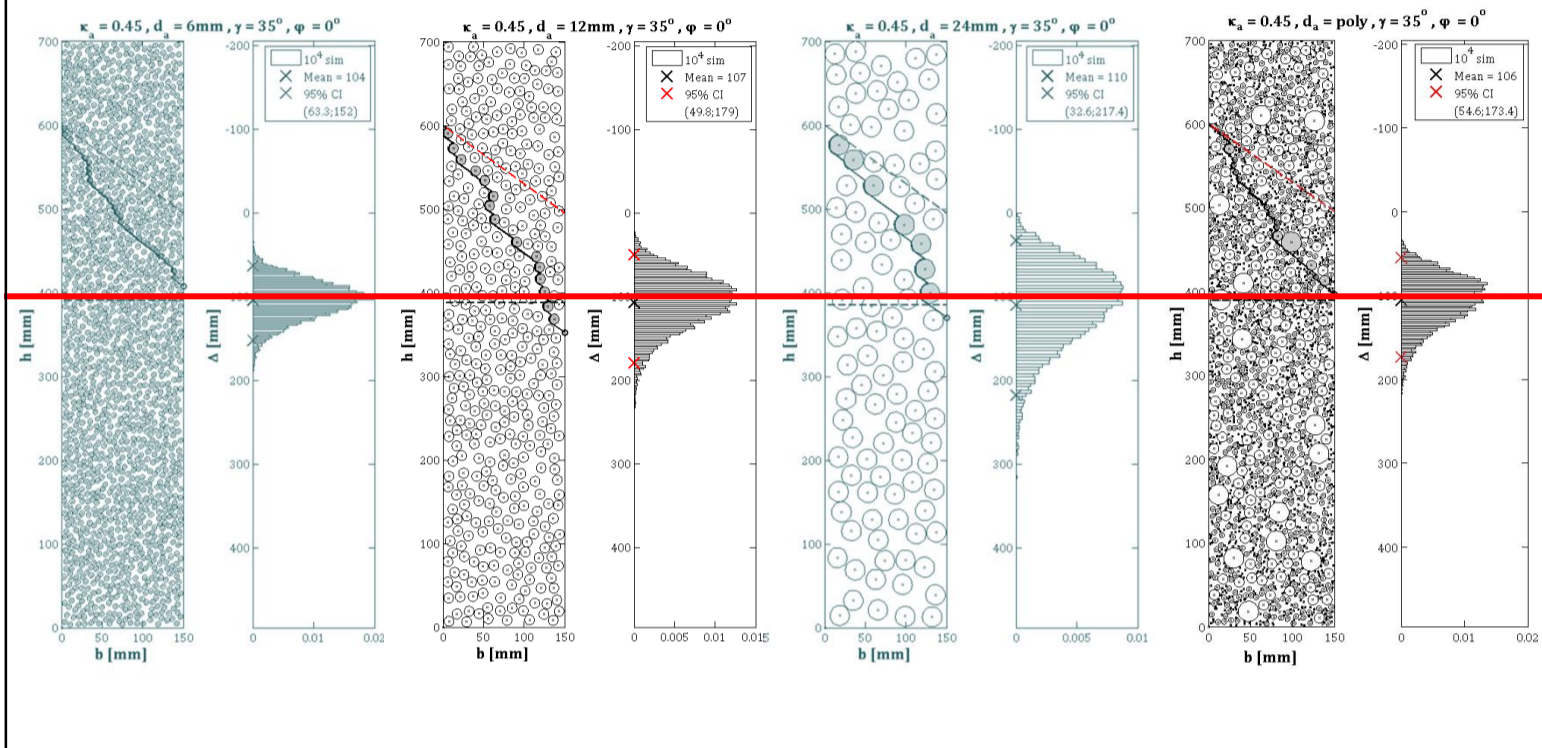


10

NUMERISK SIMULERING AF TVÆRSNIT

Monte Carlo Analyse – 10,000 model realisationer – 4 forskellige partikelsystemer

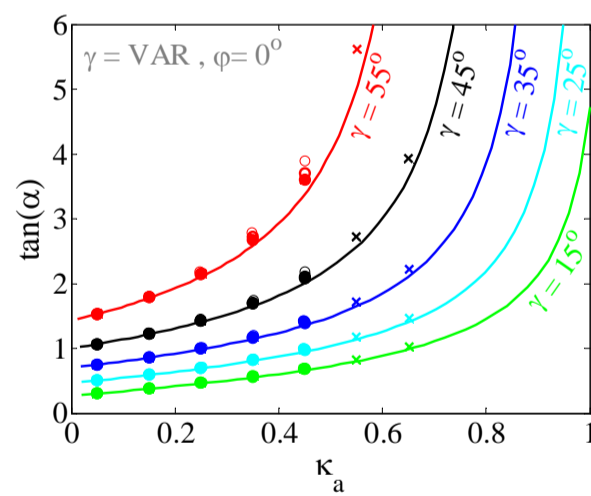
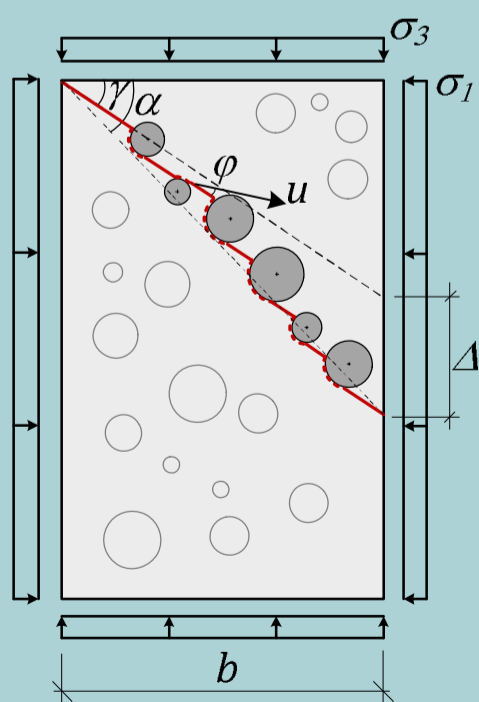
Volumenfraktion af tilslag: $\kappa_a = 45\%$, geometriske vinkler $\gamma = 35^\circ$ og $\varphi = 0^\circ$



11

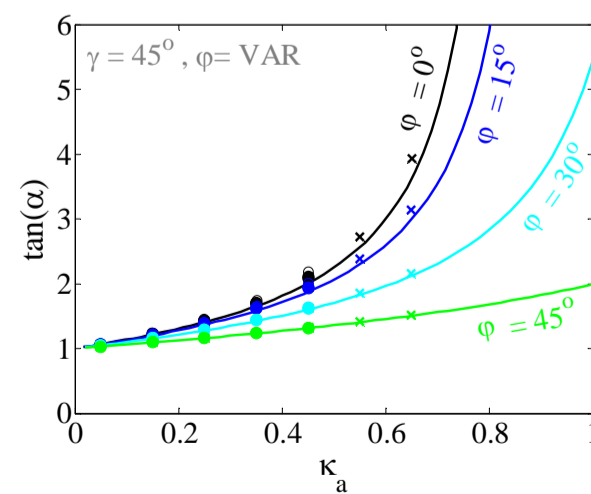
SAMMENLIGNING AF ANALYTISKE OG NUMERISKE RESULTATER

- (i) Total lodret forskydning, Δ
- (ii) Resulterende vinkel, α



NUMERICAL

- $d_a = 6 \text{ mm}$
- $d_a = 12 \text{ mm}$
- $d_a = 24 \text{ mm}$
- × $d_a = \text{poly}$



NUMERICAL

- $d_a = 6 \text{ mm}$
- $d_a = 12 \text{ mm}$
- $d_a = 24 \text{ mm}$
- × $d_a = \text{poly}$

12

STYRKEN AF AKTIVT INDESLUTTET BETON

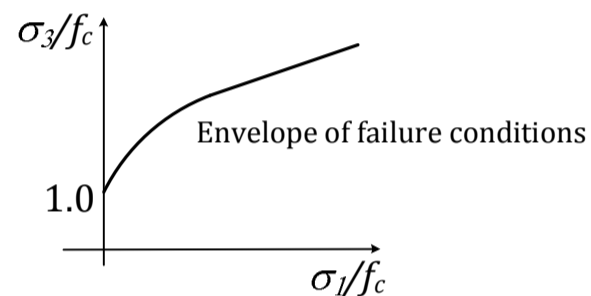
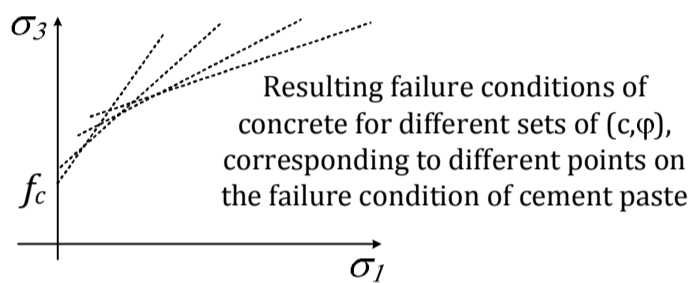
Input parametre for beton: $f_c, \kappa_\alpha, \lambda$ (som tillæg til input parametrene for cement)

KAPACITET AF DEN KOMBINEREDE BRUDMEKANISME VHA. ARBEJDSLIGNINGEN:

$$\sigma_3 = \frac{\Omega_{PCM1} w_{i,PCM1} + (1 - \Omega_{PCM1}) w_{i,PCM2}}{u \sin(\gamma_1 - \gamma_2 - \varphi)} + \sigma_1 \frac{\tan(\alpha_{CCM})}{\tan(\gamma_1 - \gamma_2 - \varphi)}$$

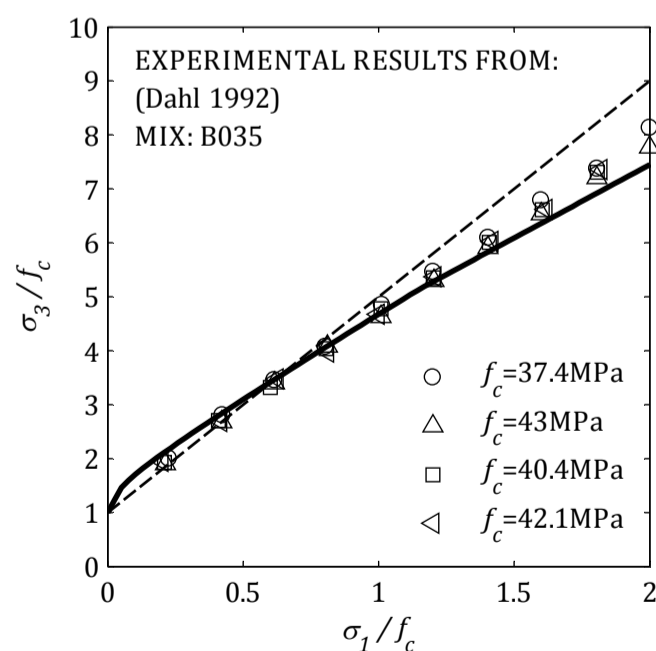
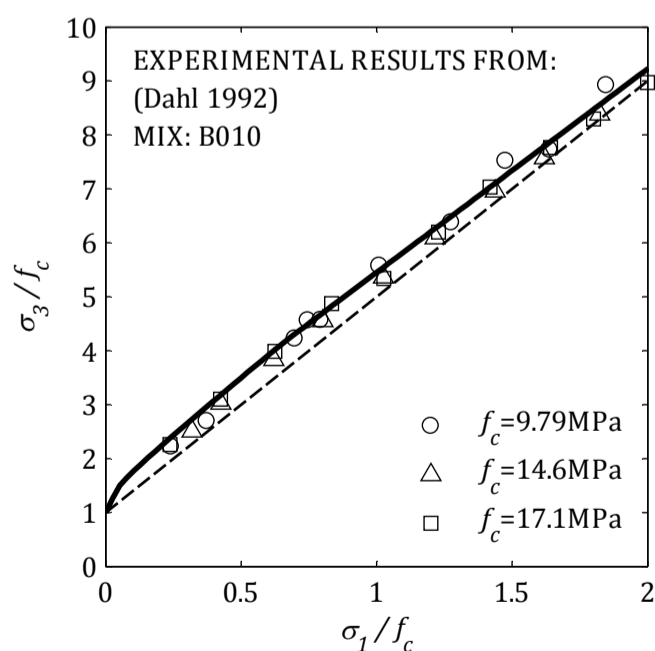
Kapaciteten for en given confinement-spænding findes ved:

- Minimere med hensyn til γ_1 og γ_2 .
- Optimering yderligere afhængig af den resulterende vinkel af flydelinje, α .
- Søge efter den kritiske spændingstilstand af cement (hvert punkt på brudbetingelsen for cement resulterer i en brudbetingelse for betonen).



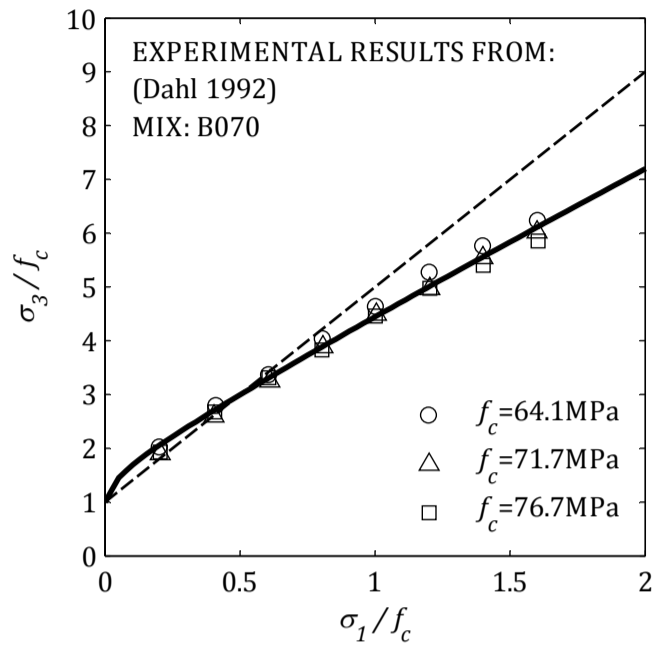
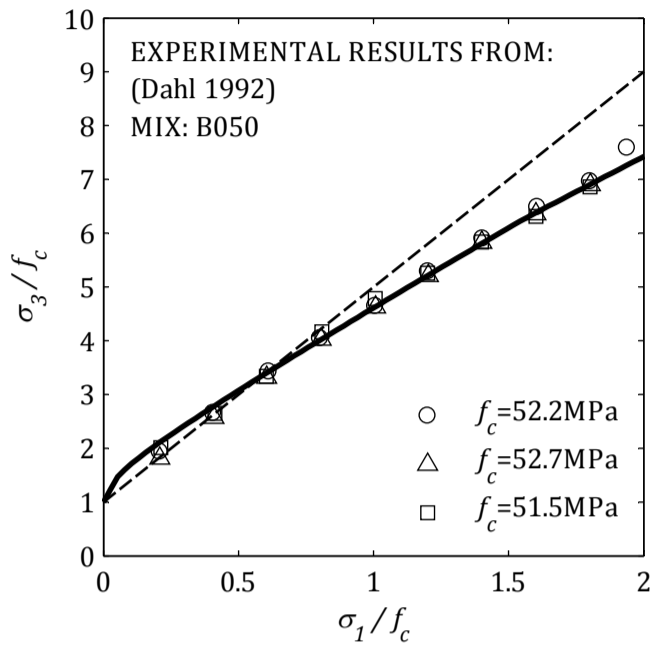
13

SAMMENLIGNING MED FORSØGSRESULTATER FOR AKTIV CONFINEMENT



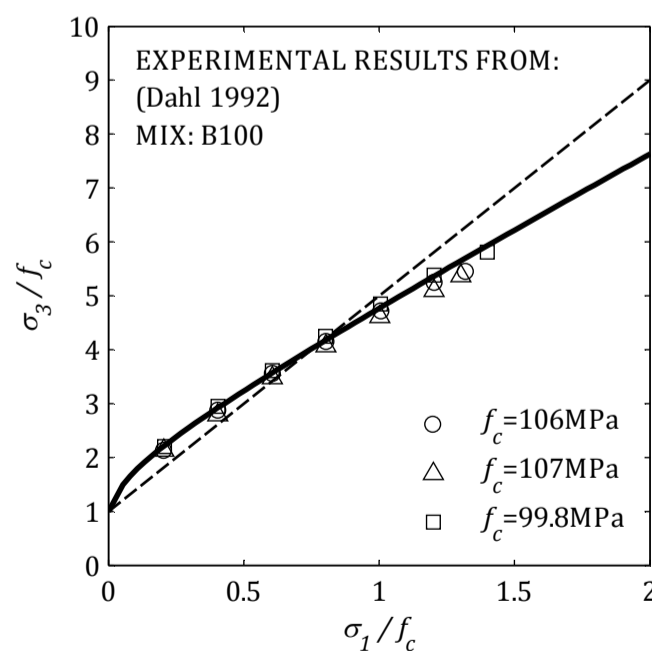
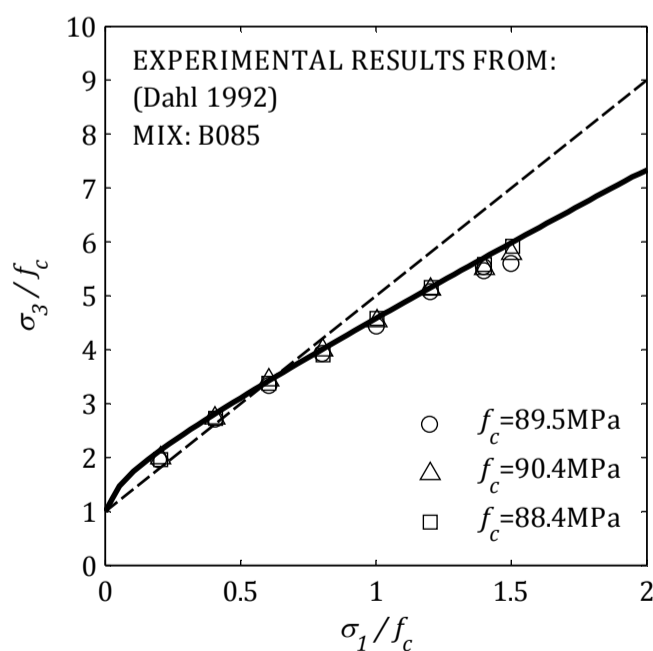
14

SAMMENLIGNING MED FORSØGSRESULTATER FOR AKTIV CONFINEMENT



15

SAMMENLIGNING MED FORSØGSRESULTATER FOR AKTIV CONFINEMENT



16

STYRKEN AF PASSIVT INDESLUTTET BETON

Den vandrette deformation af konstruktionen under brud er den drivende faktor for aktivering af den passive confinementspænding.

Derfor, er den foreslåede brudmekanisme i det følgende videreudviklet til at afhænge af absolutte størrelser af tværdeformationer, som antages at akkumulere i flydelinjerne.

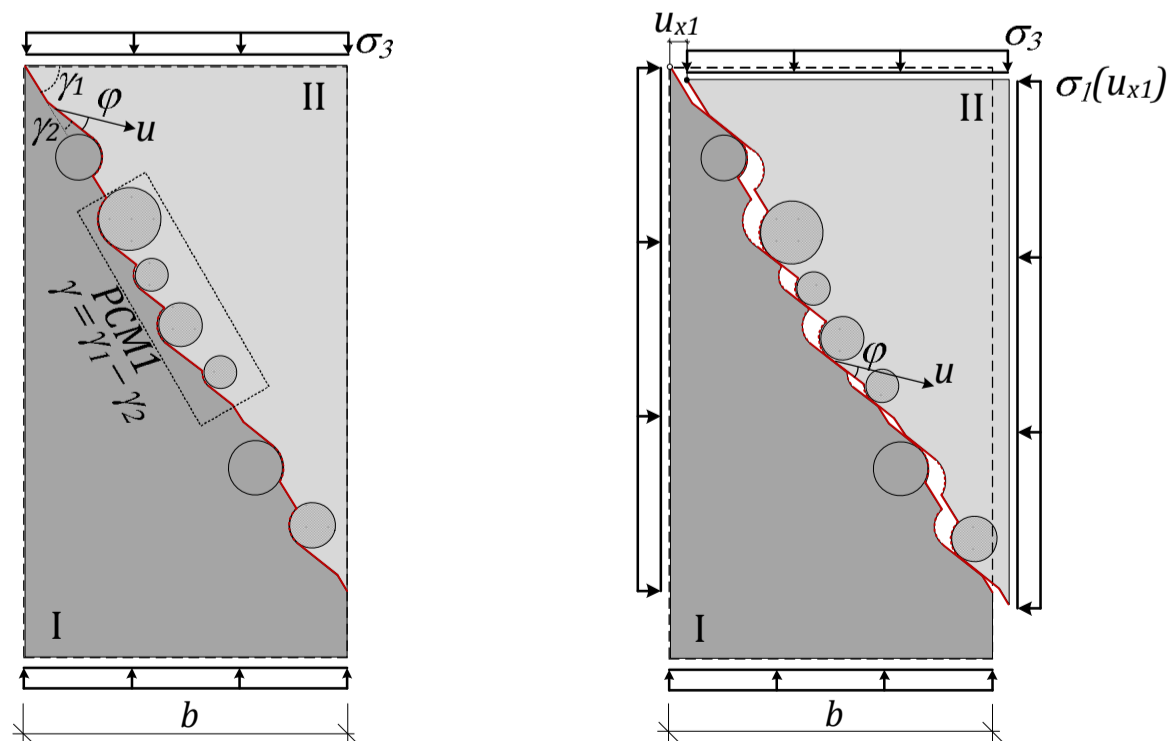


17

FIRE BRUDSTADIER I PASSIVT INDESLUTTET BETON

STADIE 1: Dannelse af den første flydelinje

STADIE 2: Deformation af den første flydelinje og aktivering af confinement

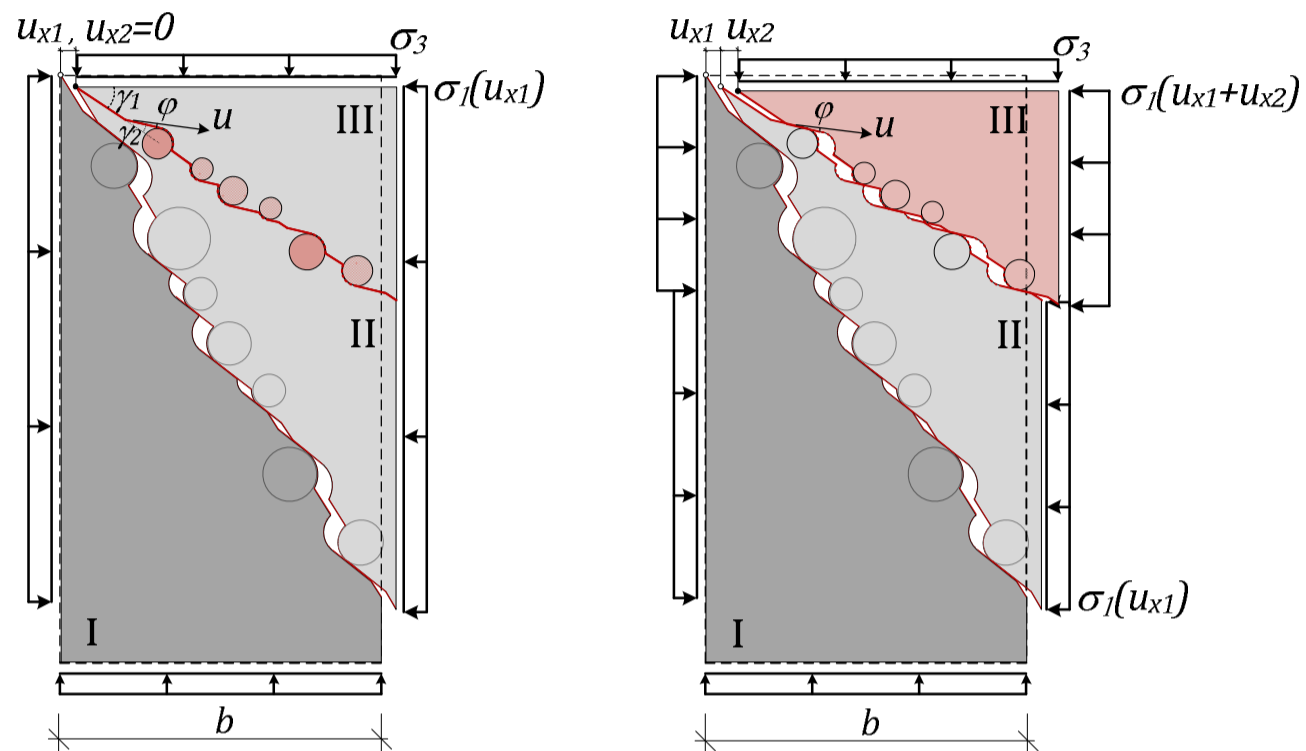


18

FIRE BRUDSTADIER I PASSIVT INDESLUTTET BETON

STADIE 3: Udvikling af en ny flydelinje mens den første stagnerer

STADIE 4: Deformation udvikles i den nye flydelinje resulterende i videre aktivering af confinementspænding



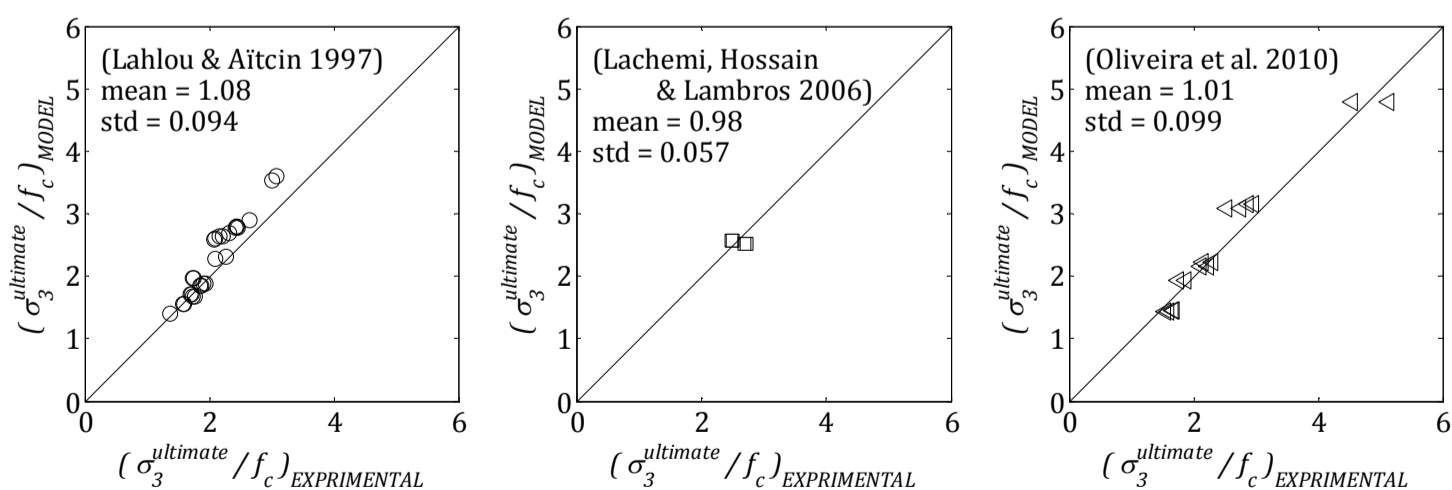
19

SAMMENLIGNING MED EKSPERIMENTELLE RESULTATER FOR BETONFYLDTE STÅLCYLINDRE

Lodret last er udelukkende påført betonen.

Højde/diameter forhold er begrænset for at undgå global udknækning.

Styrkeestimeringer er baseret på specifikke recepter.



20

KONKLUSION

Den overordnede ide med at anvende plasticitetsteori på en sub-makroskopisk materialemodel for beton findes at være en lovende konfiguration til en kvalitativ undersøgelse af mekanismen for trykbrud og resulterende styrke af aktivt og passivt indesluttet beton.

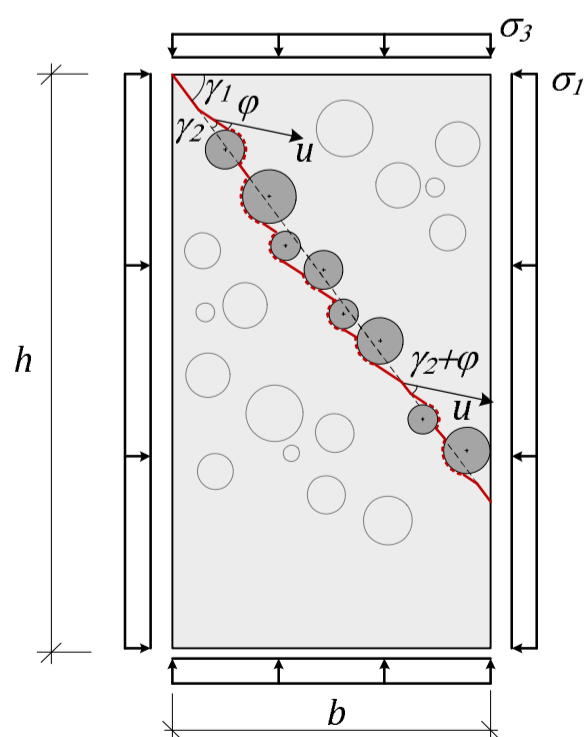
LAD OS VENDE TILBAGE TIL DE MOTIVERENDE SPØRGSMÅL:

- (i) Hvad er den fysiske forklaring på at brudbetingelsen afviger fra den lineære model?
- (ii) Hvorfor resulterer forskellige betonstyrker i forskellige brudbetingelser?
- (iii) Er brudbetingelsen for aktiv confinement direkte anvendelig for passiv confinement?

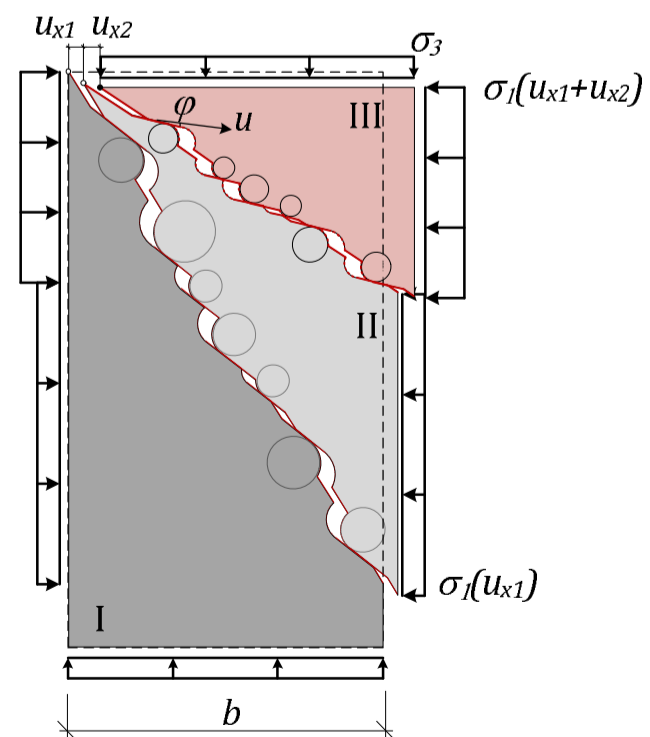
21

TAK FOR OPMÆRKSOMHEDEN!

AKTIV CONFINEMENT



PASSIV CONFINEMENT



22