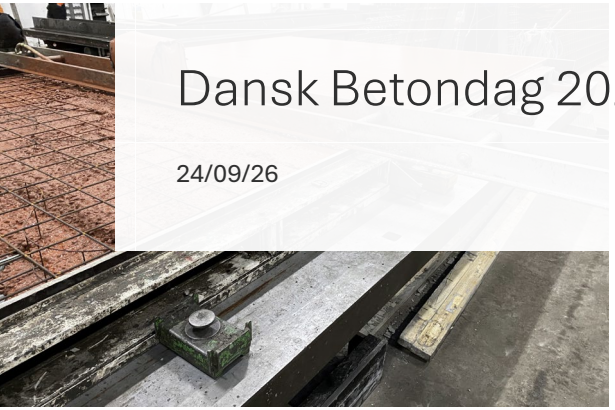
Mekaniske egenskaber af beton med tilslag af nedknust beton

Dansk Betondag 2026

24/09/26














YNAS6NA67CVJ-2065489706-1849

Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Erhvervs-ph.d. i samarbejde mellem Niras og DTU Construct



Cecilie Kristensen,
Erhvervs-ph.d.-studerende

cekr@niras.dk
ceckr@dtu.dk



Lars Zenke Pørlov Hansen,
Ekspertisechef, Niras



Linh Cao Hoang,
Professor, DTU Construct



Jesper Harrild Sørensen,
Lektor, DTU Construct



Innovationsfonden

CONSOLIS SPÆNCOM

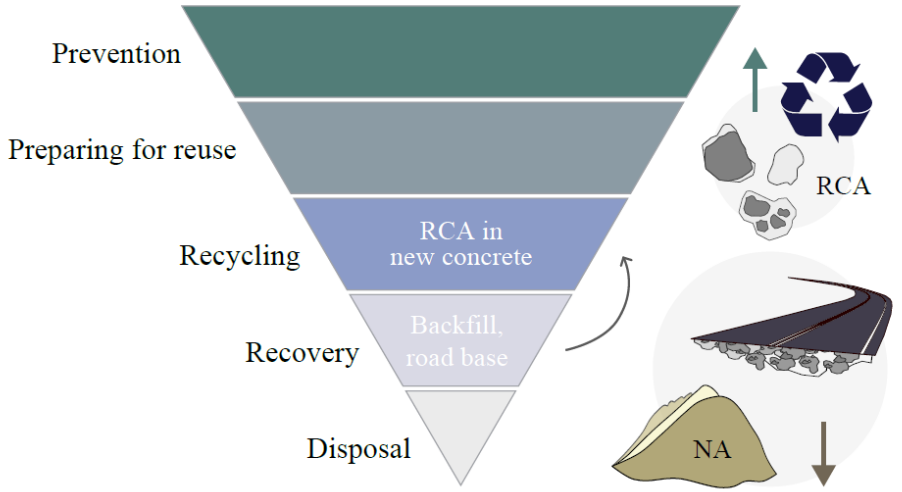
DTU

NIRAS

Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Motivation

- Global årlig produktion på 25 mia. ton beton
  - CO_2
  - Ressourcer
- Lokal indvinding af tilslag udfordres
- Konstruktions- og nedrivningsaffald omkring ~0,5 mia. ton årligt i EU
  - Vejfyld
  - Stabilisering af jord
- Øget materialecirkularitet → *Genbrugsbeton*
  - Bred anvendelse i ikke-bærende betoner
  - Store erstatningsgrader er allerede tilladt



Figur: EUs affaldshierarki (C. Kristensen (2026)),
Recycled Concrete Aggregate (RCA), Natural Aggregate (NA)

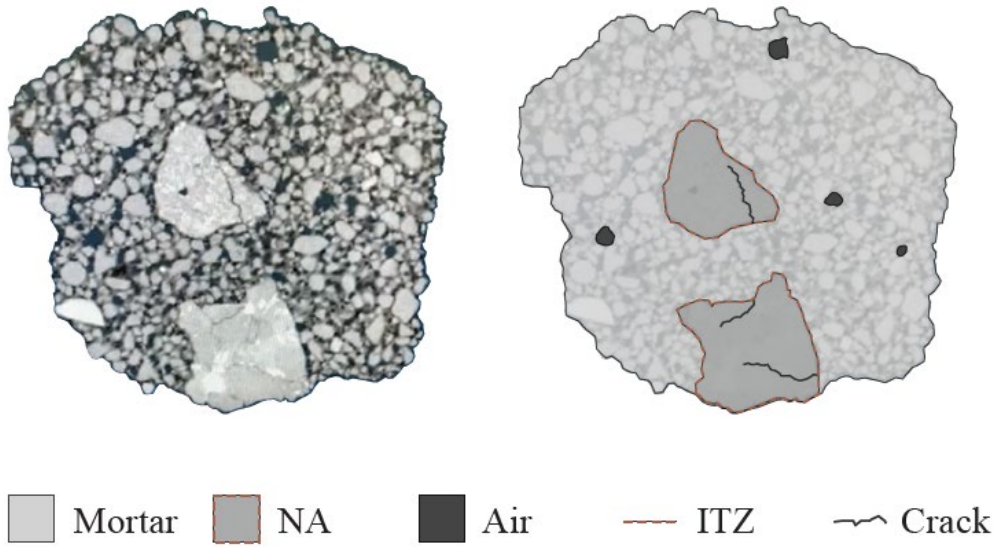
Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Formål

- Bidrag til øget anvendelse af nedknust tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

- Nuværende status og udfordringer
  - Veldokumenterede fundamentale egenskaber: f_c, f_{ct}, E_c
  - Øget absorptionsevne, revnedannelse
  - Større deformationskapacitet

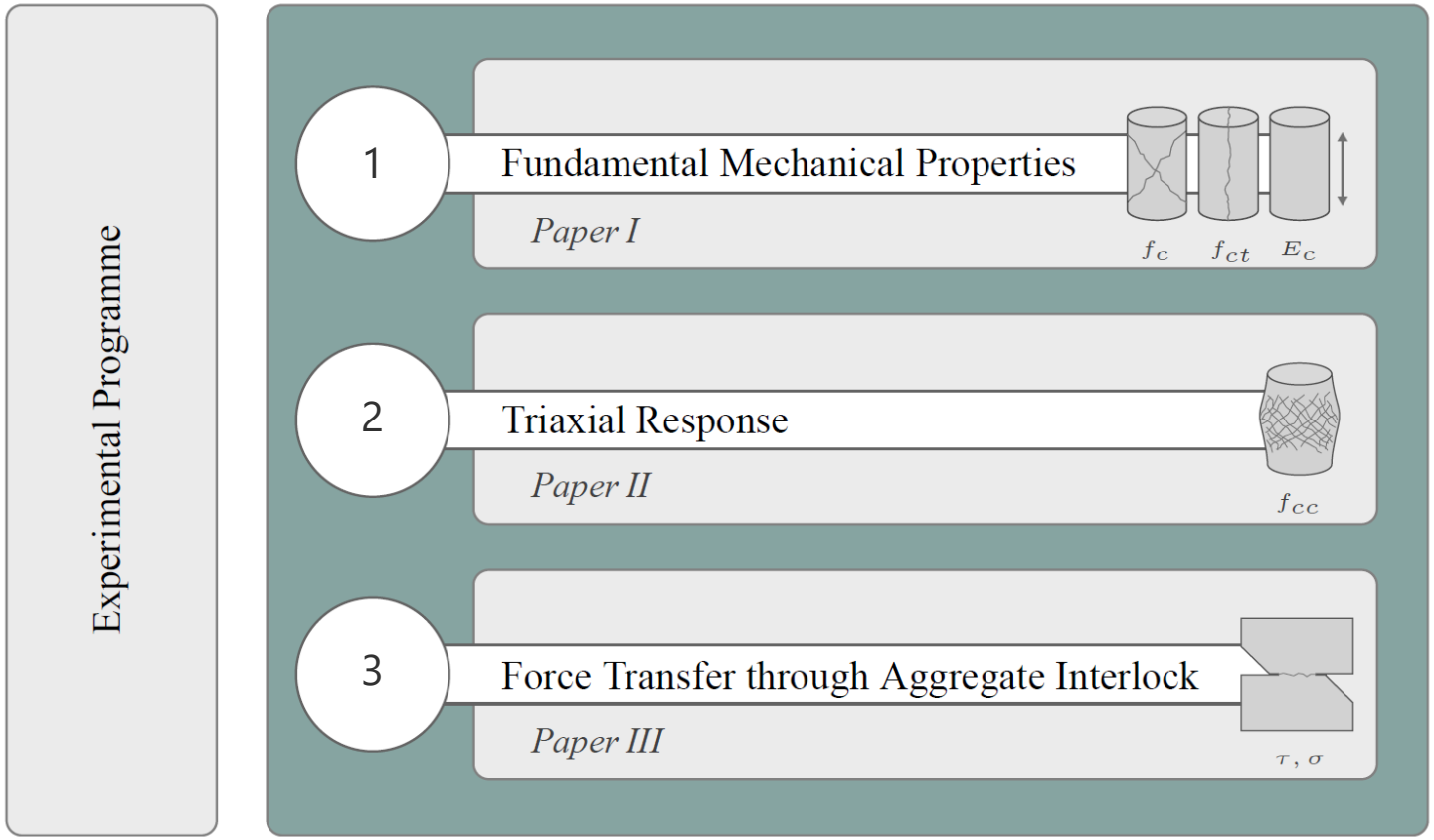
- Fokus
  - Sporbarhed
  - Erstatning af både fint og groft tilslag



Figur: Røntgenbillede samt skematisk diagram af nedknust tilslag (C. Kristensen (2026))

Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

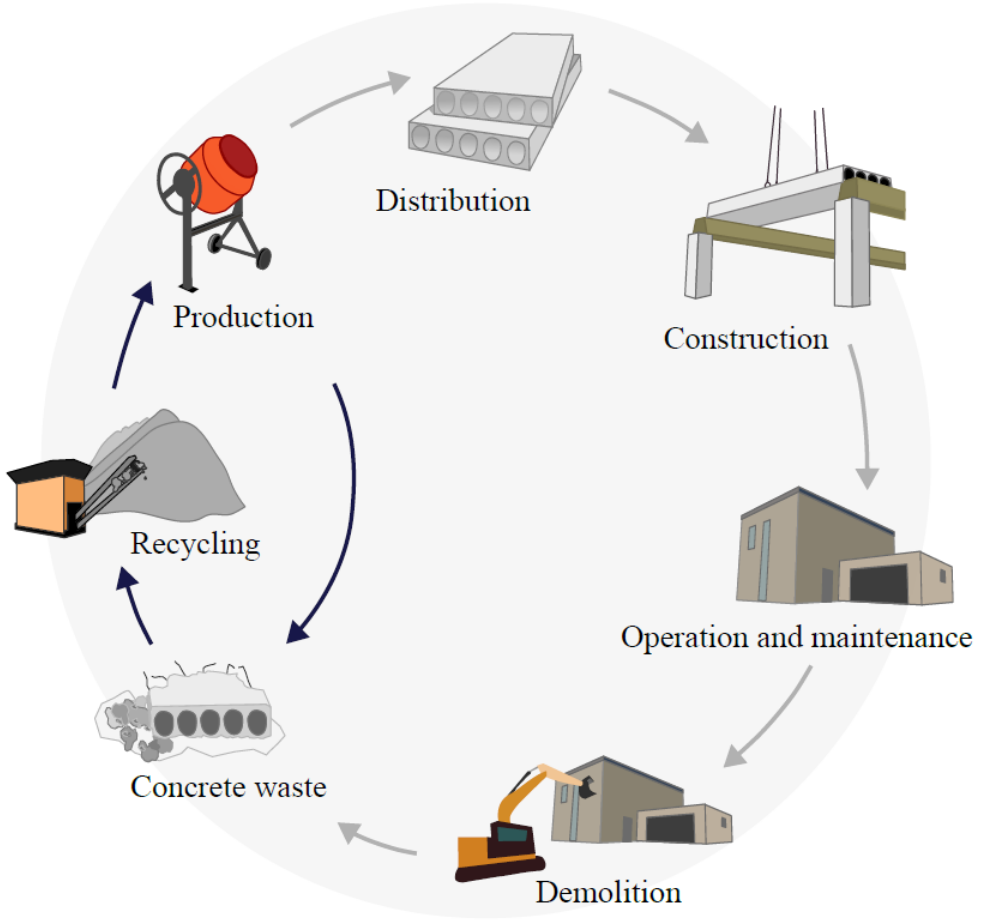
Forsøgsprogram



Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Donorbeton

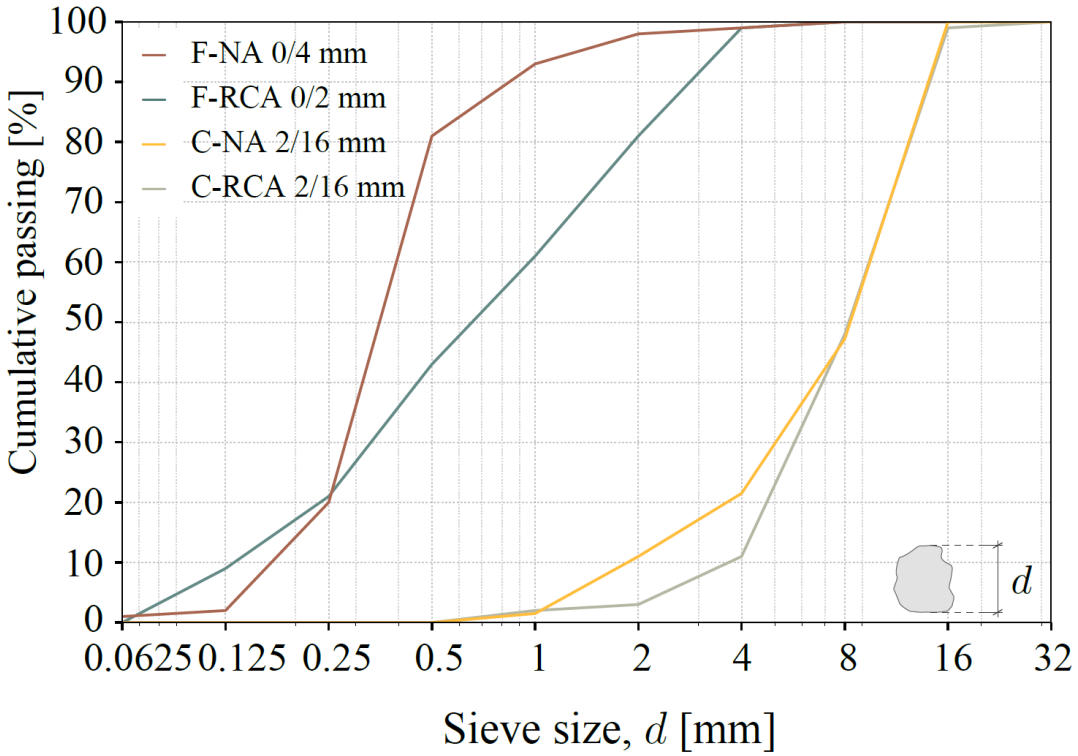
- Huldæk, f_{cm} = 65 MPa
- Væg, f_{cm} = 21 MPa



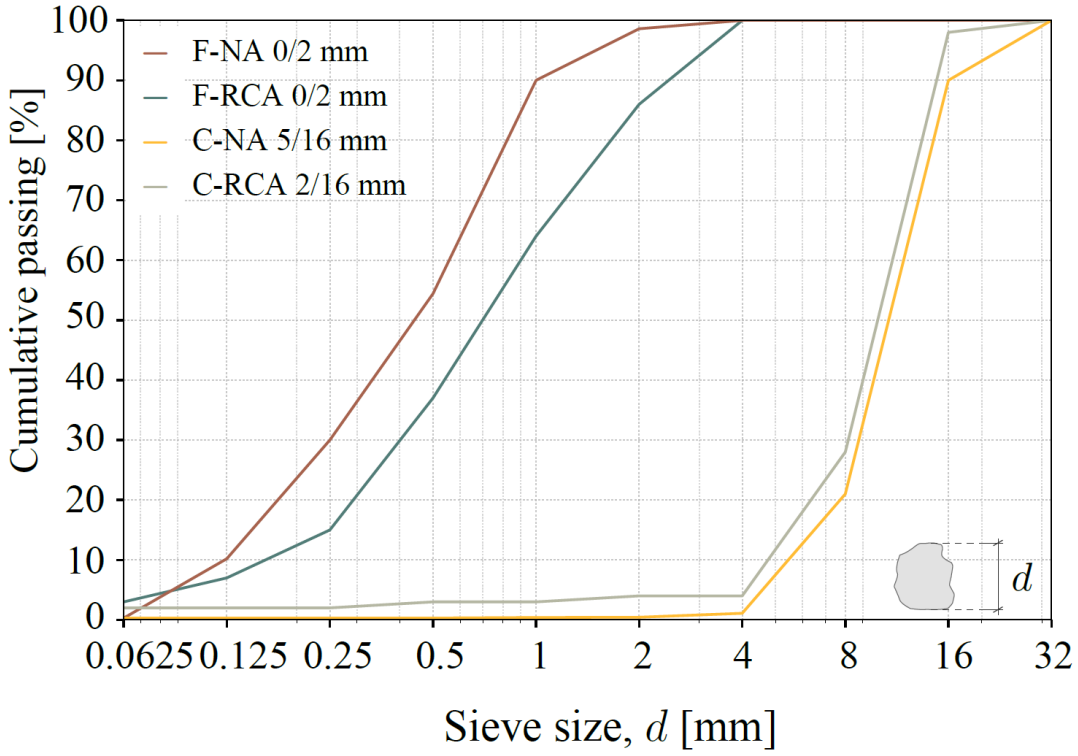
Figur: Livscyklus for betonelementer til genanvendelse (C. Kristensen (2026))

Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Proportionering



Figur: Samlede kornkurver for NA og RCA med f_{cm} = 65 MPa (C. Kristensen (2026))



Figur: Samlede kornkurver for NA og RCA med f_{cm} = 21 MPa (C. Kristensen (2026))

Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Proportionering

- Idealkornkurve
- V/C justeret på baggrund af aktuelt fugtindhold
- Standard støbning
- Sætmål og luftindhold
- Vandbad v. 20°C











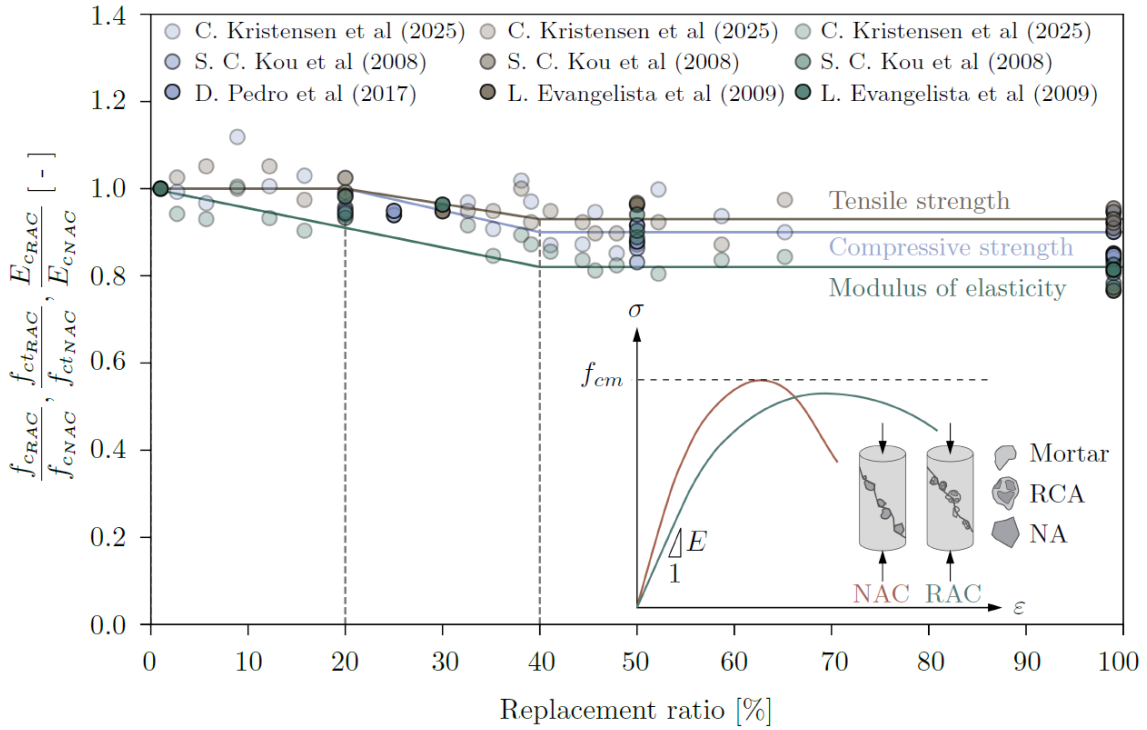


Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Fundamentale mekaniske egenskaber v. $f_{cm,donor}$ = 65 MPa

- Trykstyrke
- Trækstyrke
- E-modul



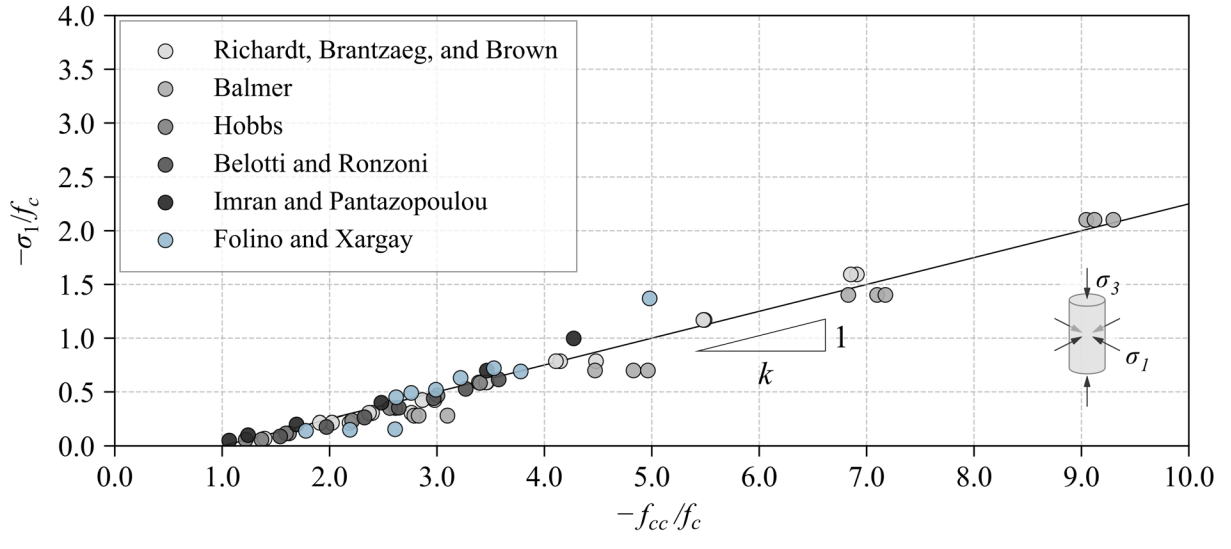


Figur: Testresultater ved varierende erstatningsgrad (C. Kristensen (2026))

Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Triaksial respons v.$f_{cm,donor}$ = 21 MPa

- Deformationskapacitet
- Definition af brud



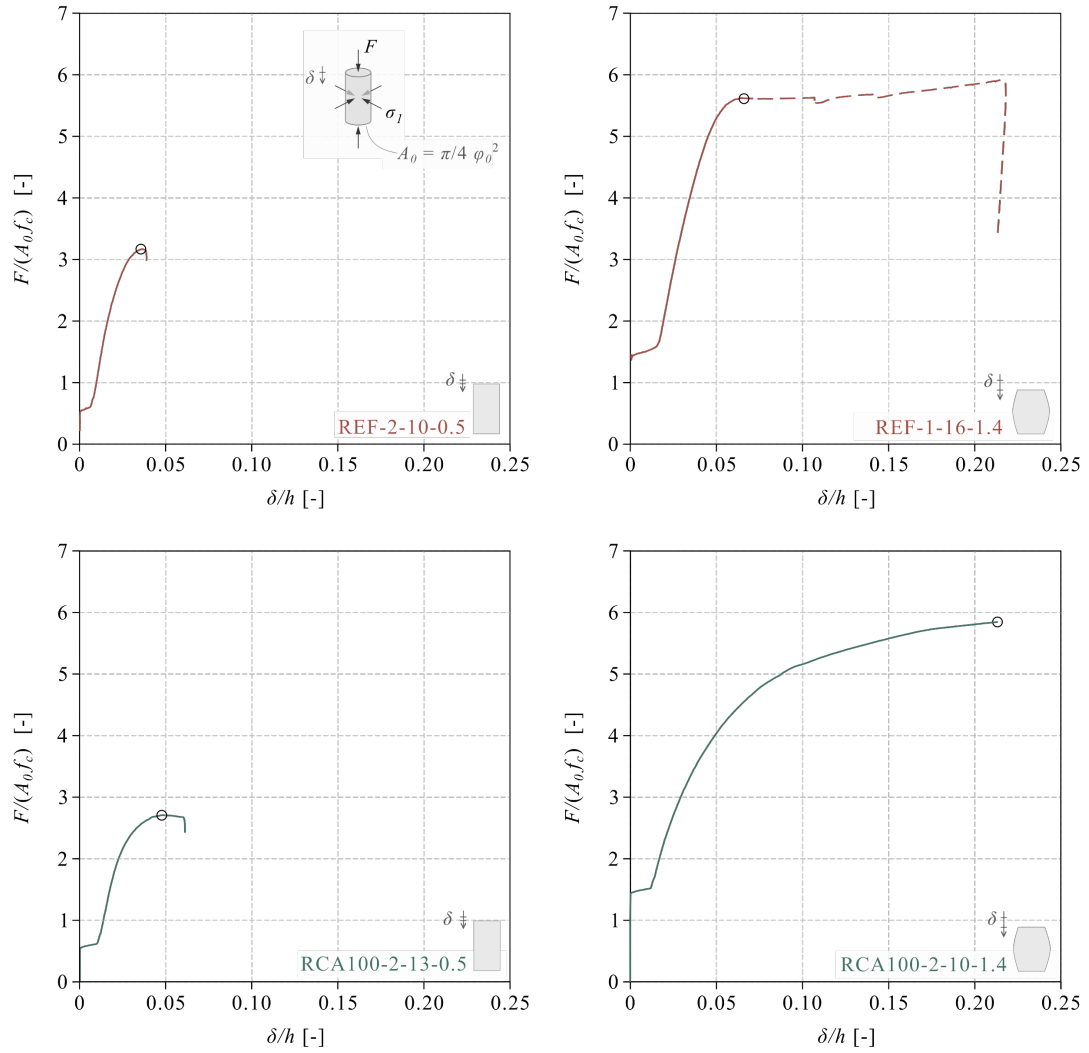


Figur: Deformerede testemner (C. Kristensen (2026))

Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Triaksial respons v.$f_{cm,donor}$ = 21 MPa

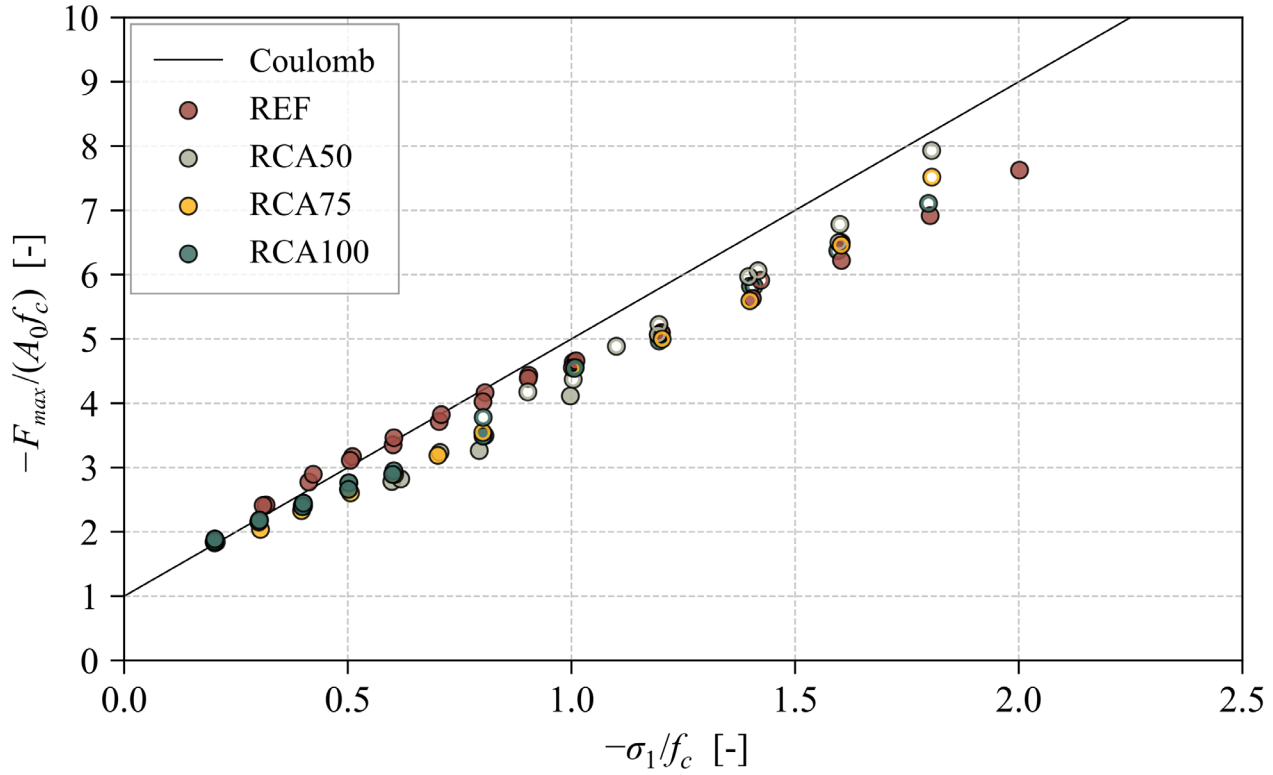
- Deformationskapacitet
- Definition af brud



Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Triaksial respons v.$f_{cm,donor}$ = 21 MPa

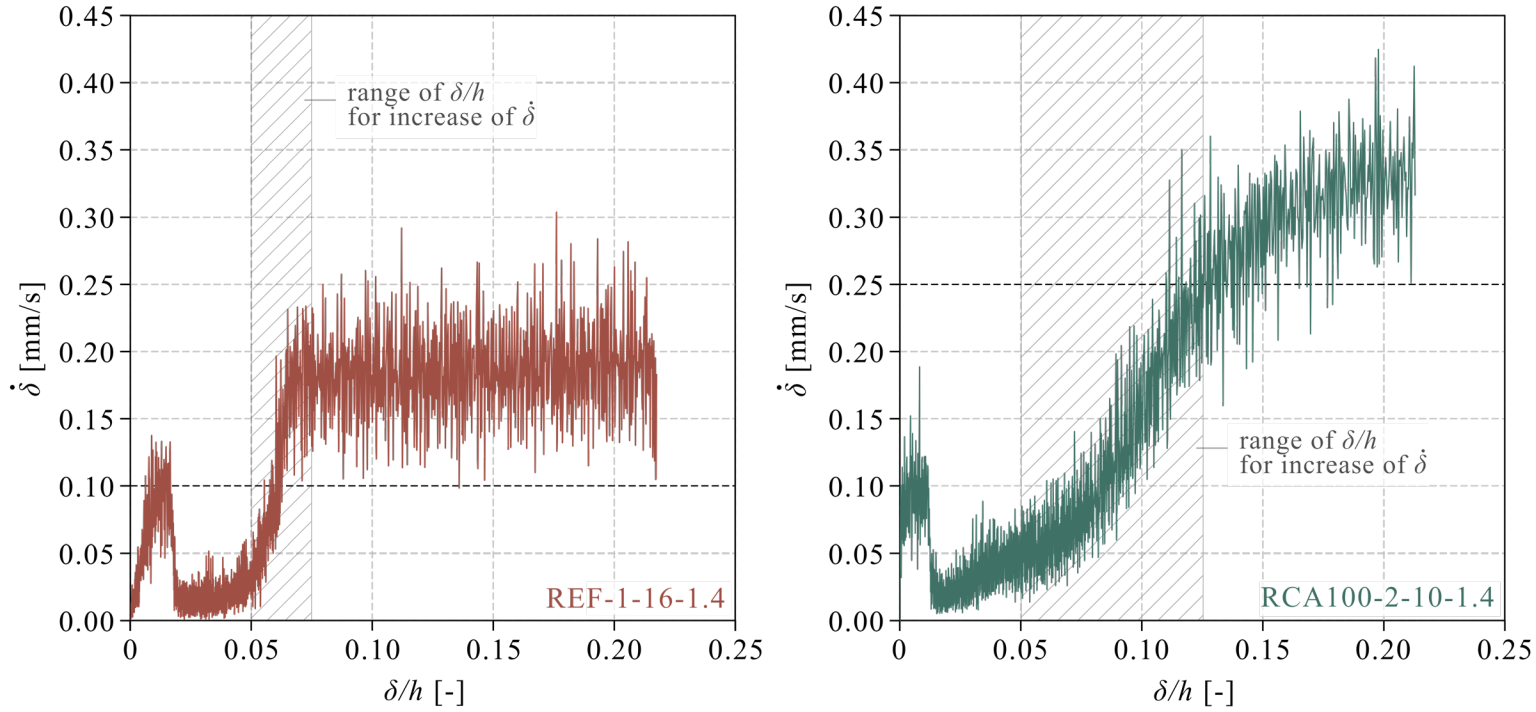
- Deformationskapacitet
- Definition af brud



Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Triaksial respons v.$f_{cm,donor}$ = 21 MPa

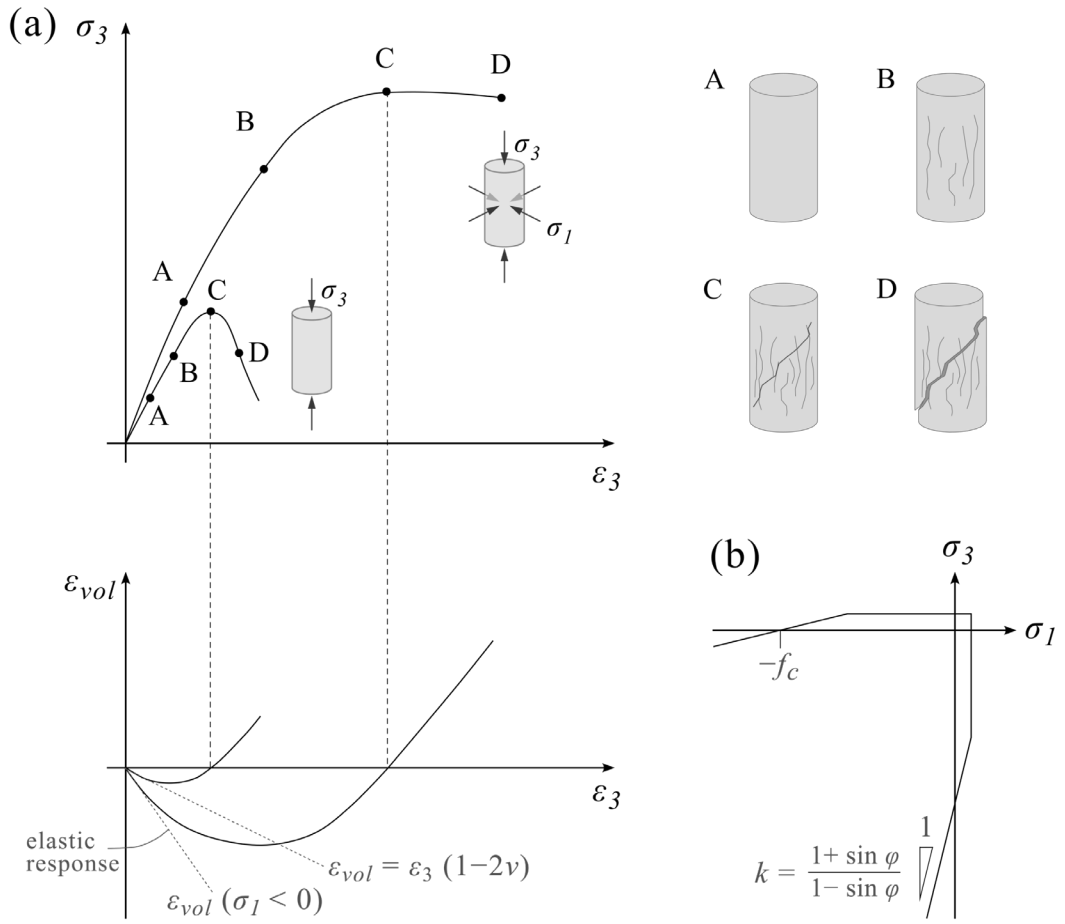
- Deformationskapacitet
- Definition af brud



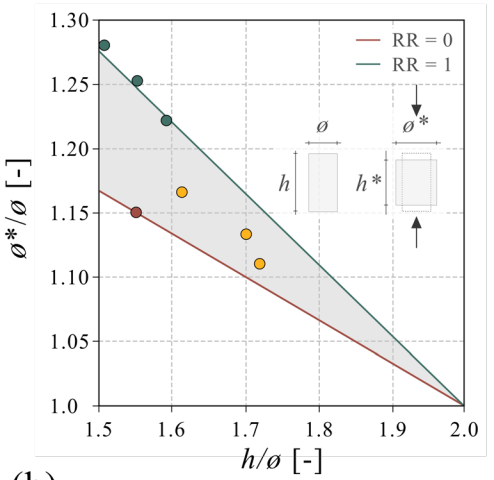
Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Triaksial respons v.$f_{cm,donor}$ = 21 MPa

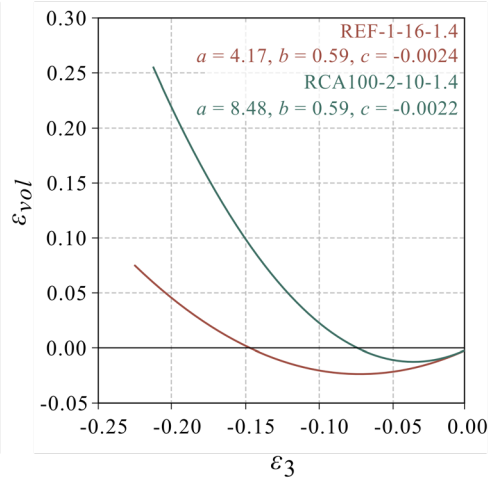
- Deformationskapacitet
- Definition af brud



(a)



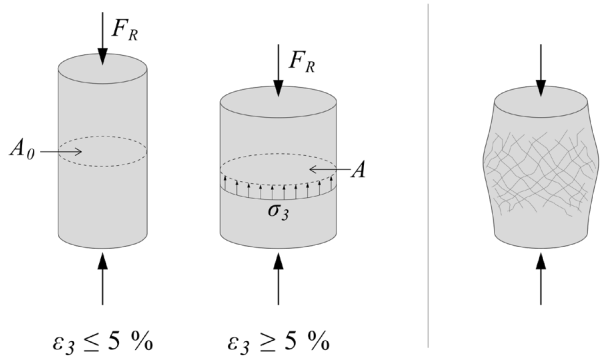
(b)

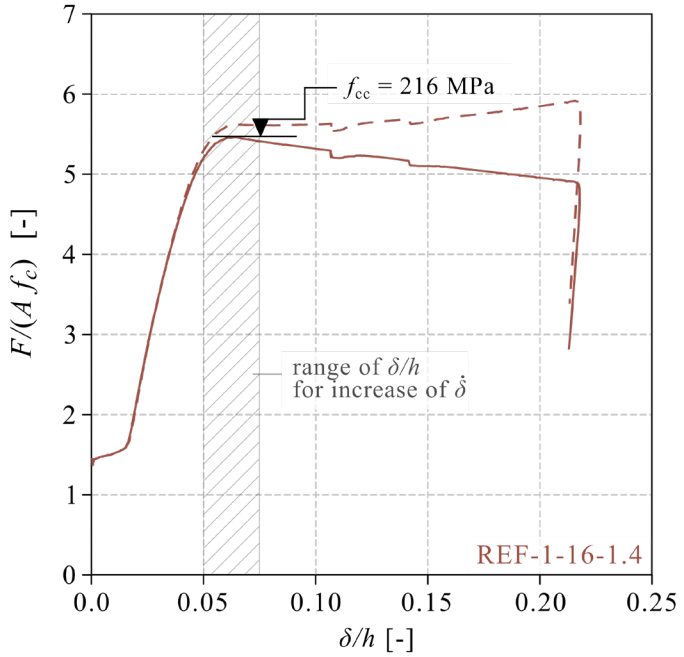


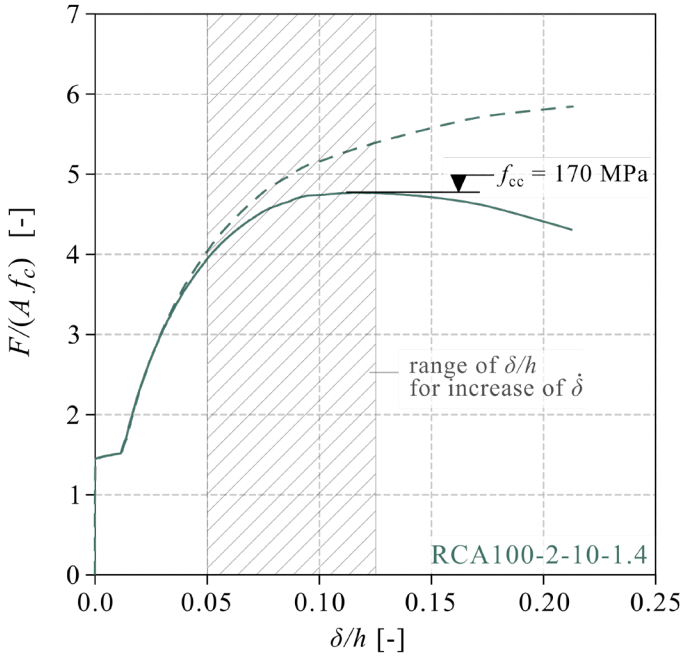
Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Triaksial respons v.$f_{cm,donor}$ = 21 MPa

- Deformationskapacitet
- Definition af brud





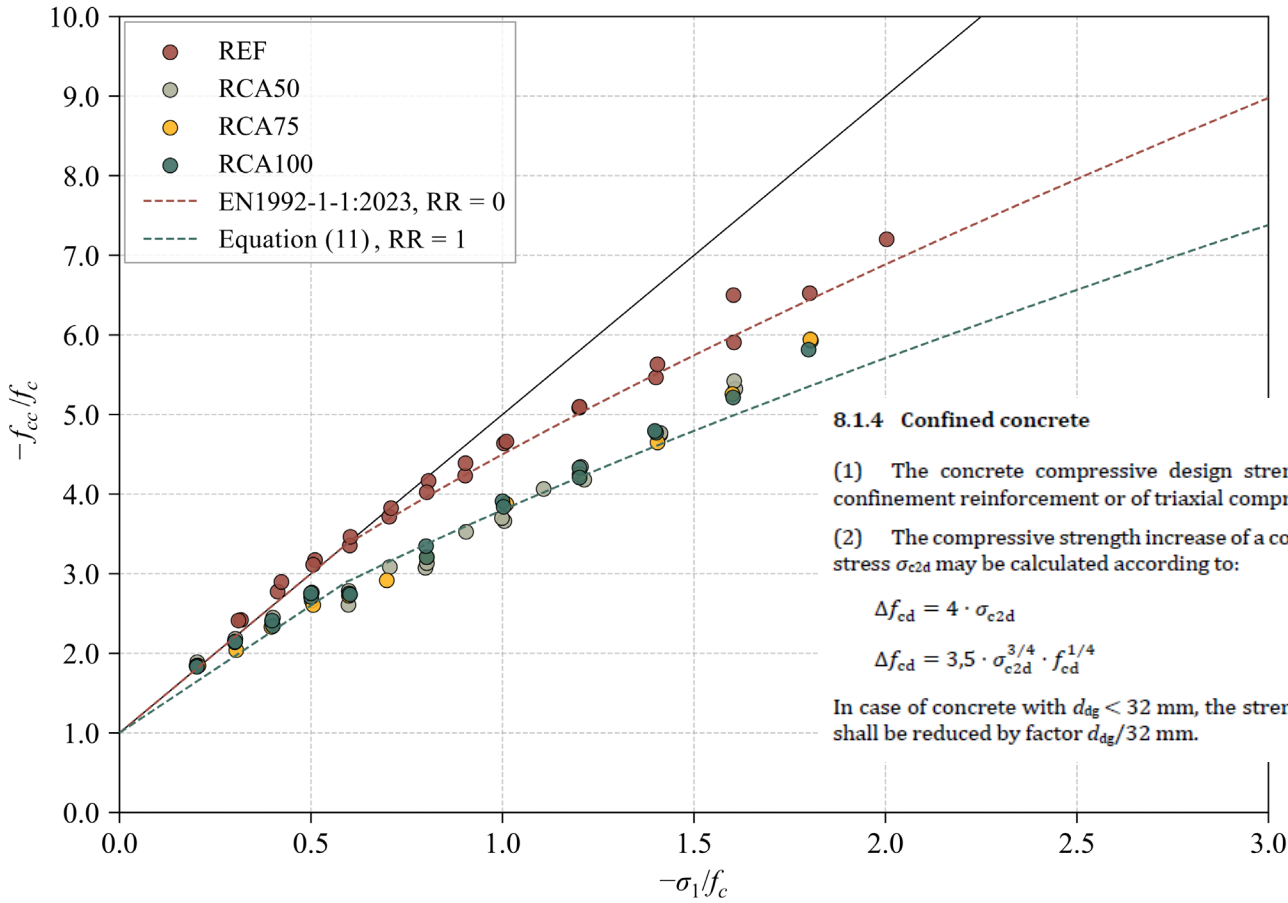


$A = \pi/4\ (\varnothing^*)^2$ $\qquad \varnothing^* = \varnothing\ (1 + \lambda\ \varepsilon_1)$ $\qquad \lambda = 2/3$

Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Triaksial respons v.$f_{cm,donor}$ = 21 MPa

- Deformationskapacitet
- Definition af brud



8.1.4 Confined concrete

(1) The concrete compressive design strength f_{cd} may be enhanced by the favourable effect of confinement reinforcement or of triaxial compressive stresses.

(2) The compressive strength increase of a concrete with $d_{dg} \geq 32$ mm due to a transverse compressive stress σ_{c2d} may be calculated according to:

$$\Delta f_{cd} = 4 \cdot \sigma_{c2d} \quad \text{for } \sigma_{c2d} \leq 0{,}6 f_{cd} \tag{8.9}$$

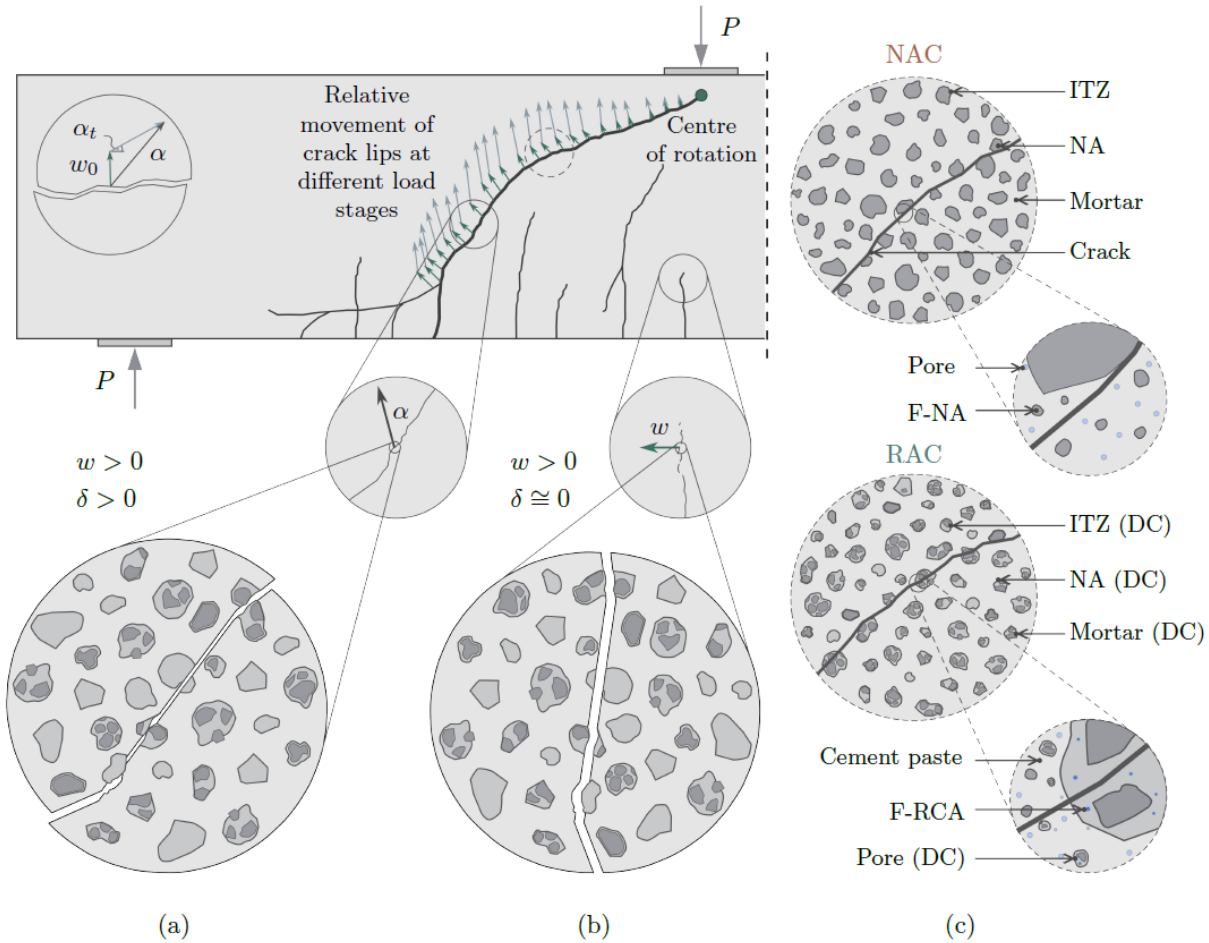
$$\Delta f_{cd} = 3{,}5 \cdot \sigma_{c2d}^{3/4} \cdot f_{cd}^{1/4} \quad \text{for } \sigma_{c2d} > 0{,}6 f_{cd} \tag{8.10}$$

In case of concrete with $d_{dg} < 32$ mm, the strength increase Δf_{cd} according to Formulae (8.9) and (8.10) shall be reduced by factor $d_{dg}/32$ mm.

Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Overførsel af forskydning gennem revnet RCA beton v.$f_{cm,donor}$ = 21 MPa

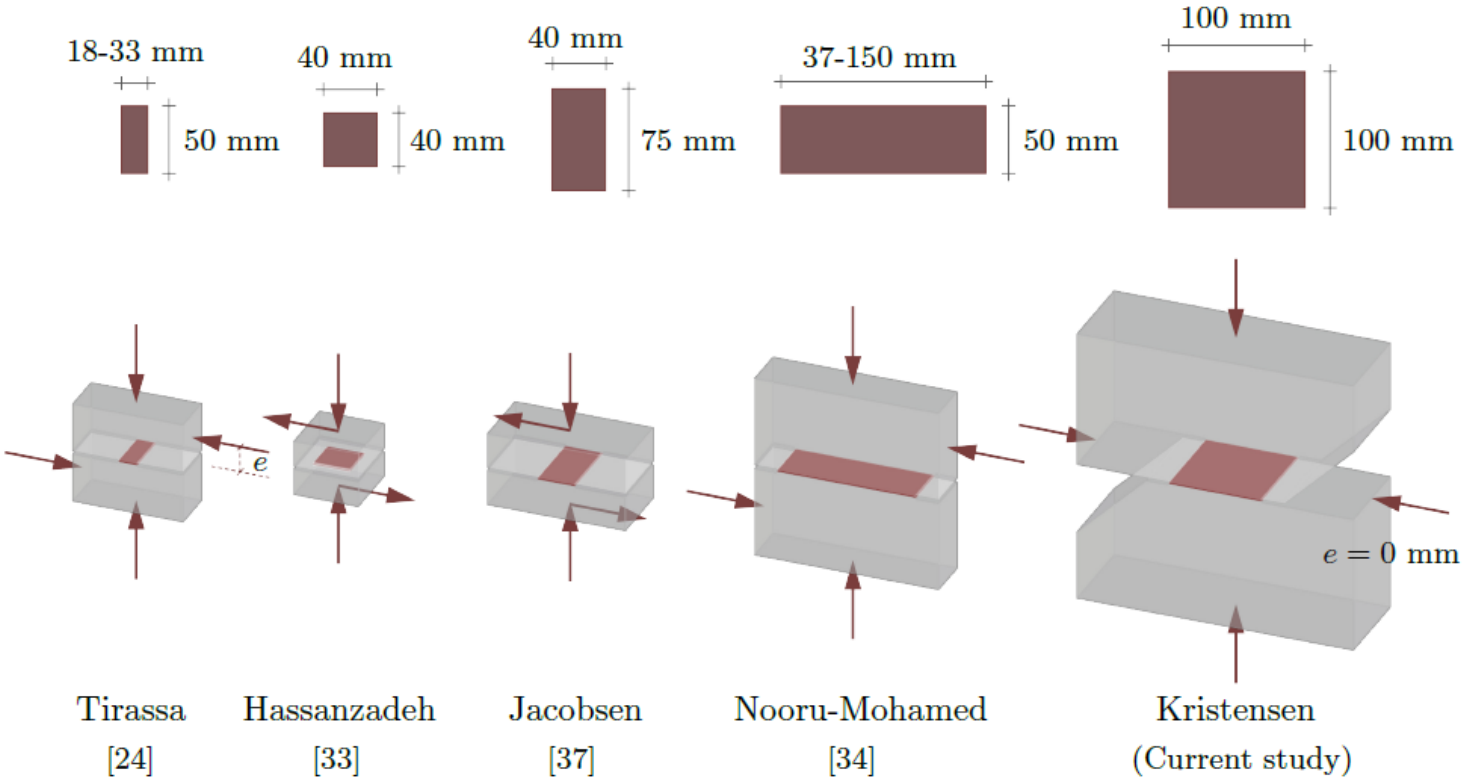
- Brudmekanismer tilsvarende konventionel beton *(Natural Aggregate Concrete, NAC)*
- Brudfladens ruhed



Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Overførsel af forskydning gennem revnet RCA beton v.$f_{cm,donor}$ = 21 MPa

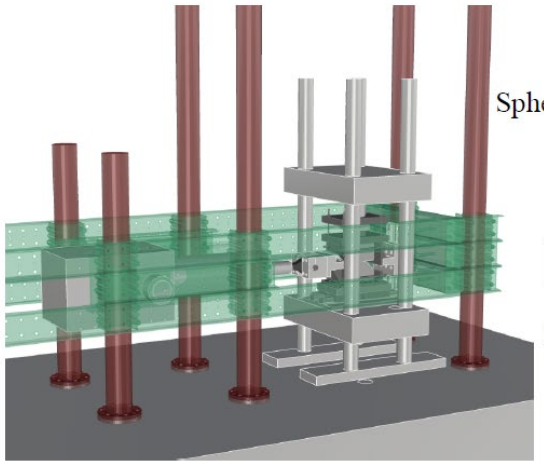
- Brudmekanismer tilsvarende konventionel beton *(Natural Aggregate Concrete, NAC)*
- Brudfladens ruhed

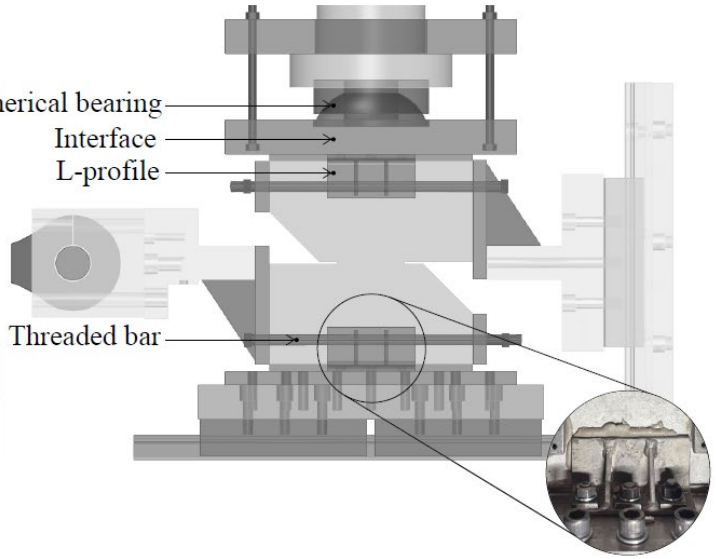


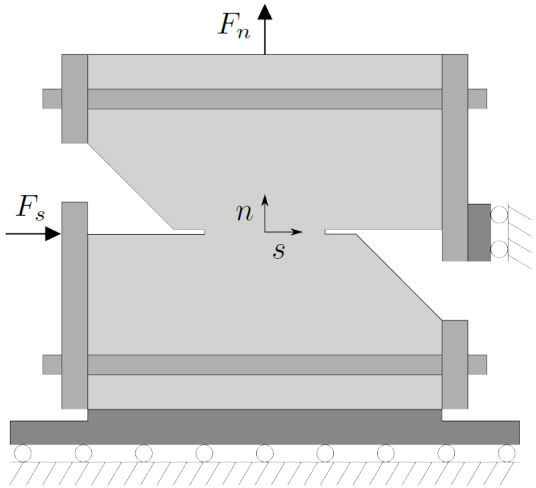
Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

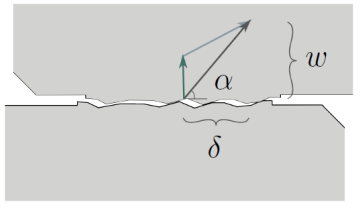
Overførsel af forskydning gennem revnet RCA beton v.$f_{cm,donor}$ = 21 MPa

- Brudmekanismer tilsvarende konventionel beton
- Brudfladens ruhed





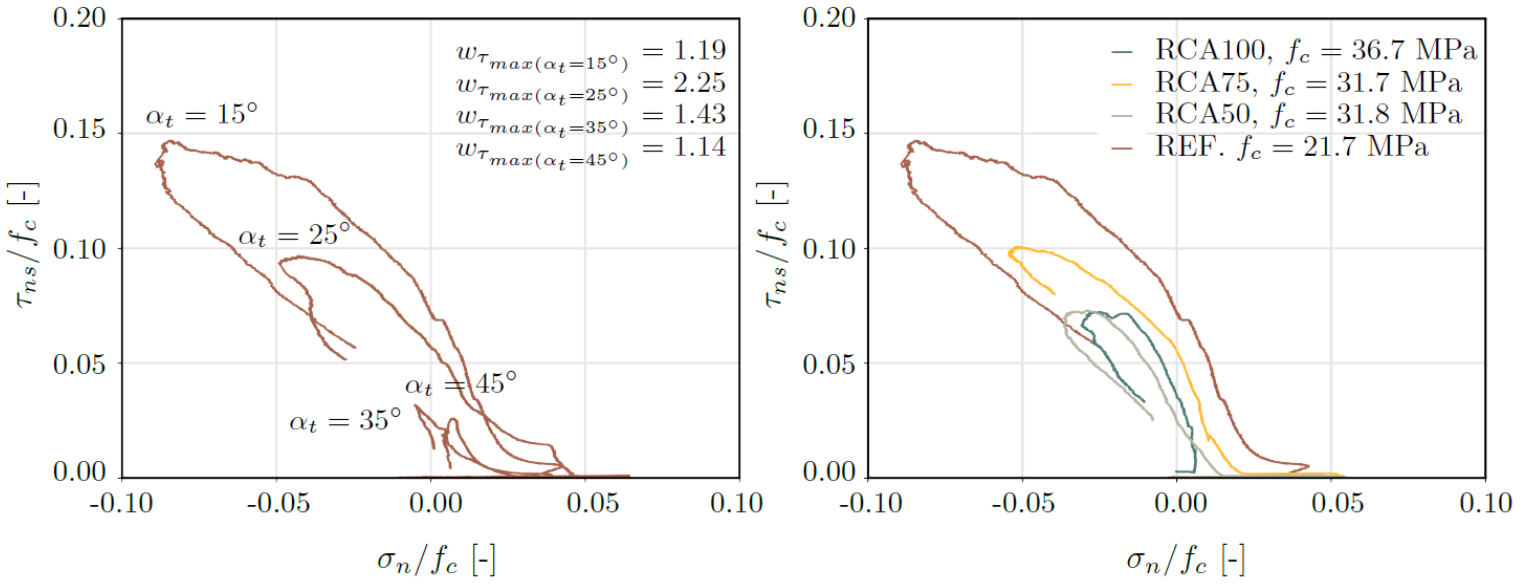


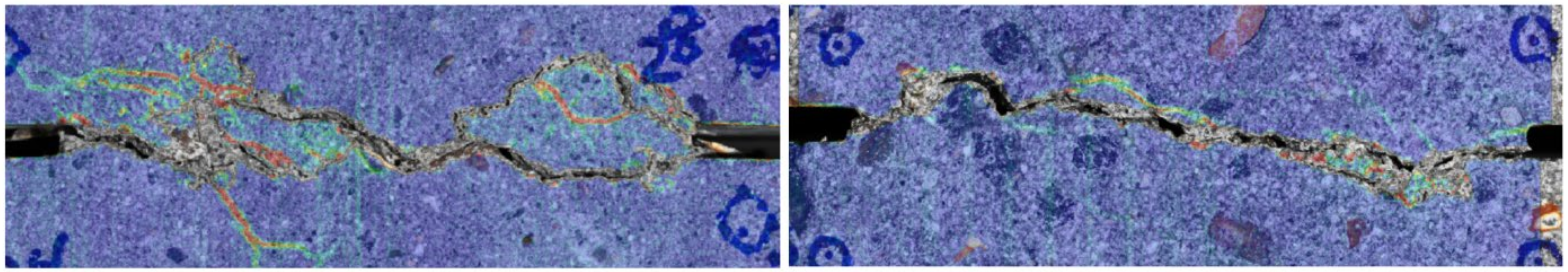


Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Overførsel af forskydning gennem revnet RCA beton v. $f_{cm,donor}$ = 21 MPa

- Brudmekanismer tilsvarende konventionel beton
- Brudfladens ruhed

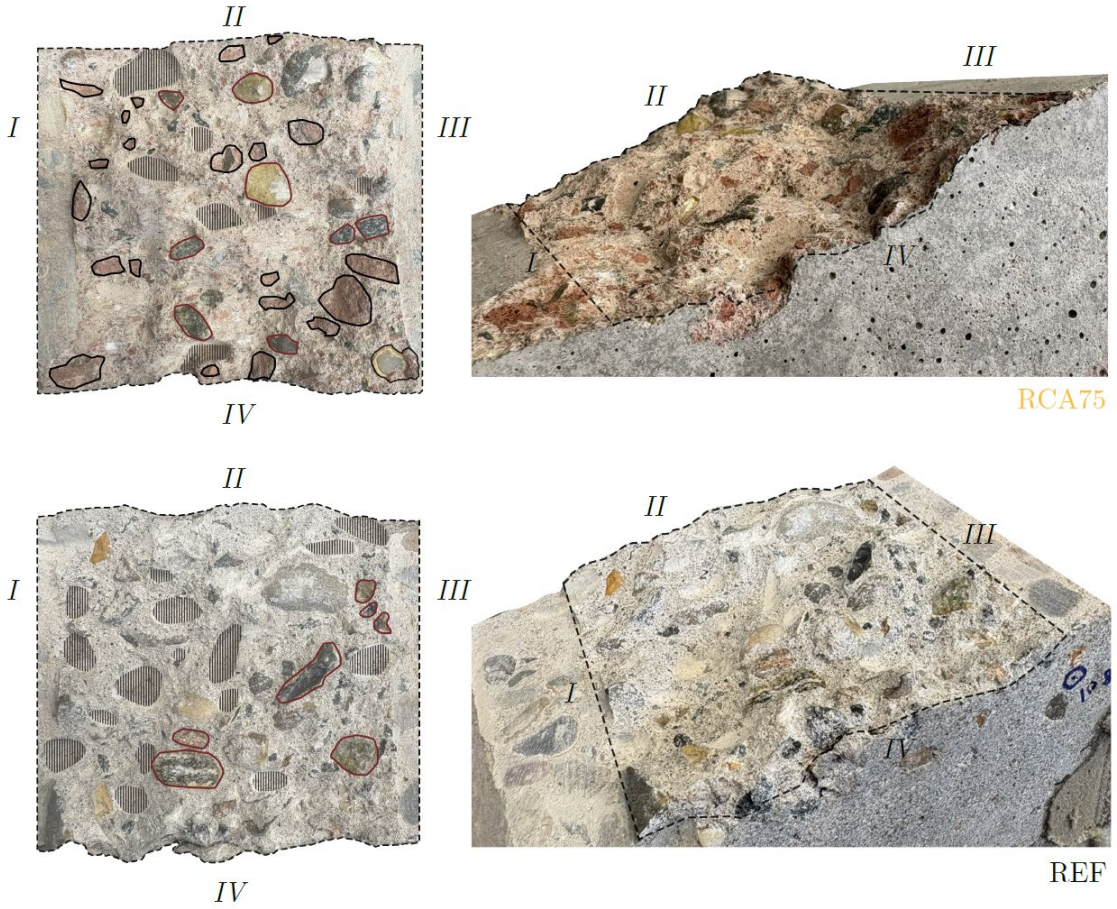




Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Overførsel af forskydning gennem revnet RCA beton v.$f_{cm,donor}$ = 21 MPa

- Brudmekanismer tilsvarende konventionel beton
- Brudfladens ruhed

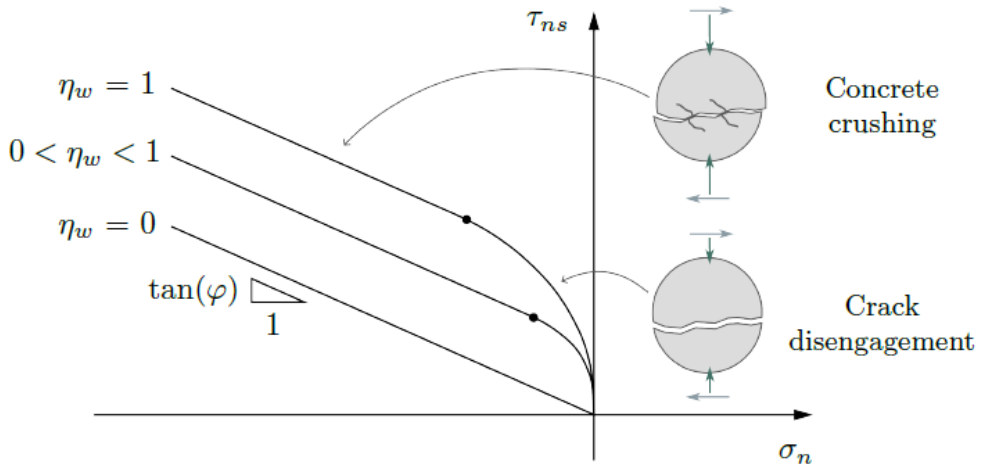


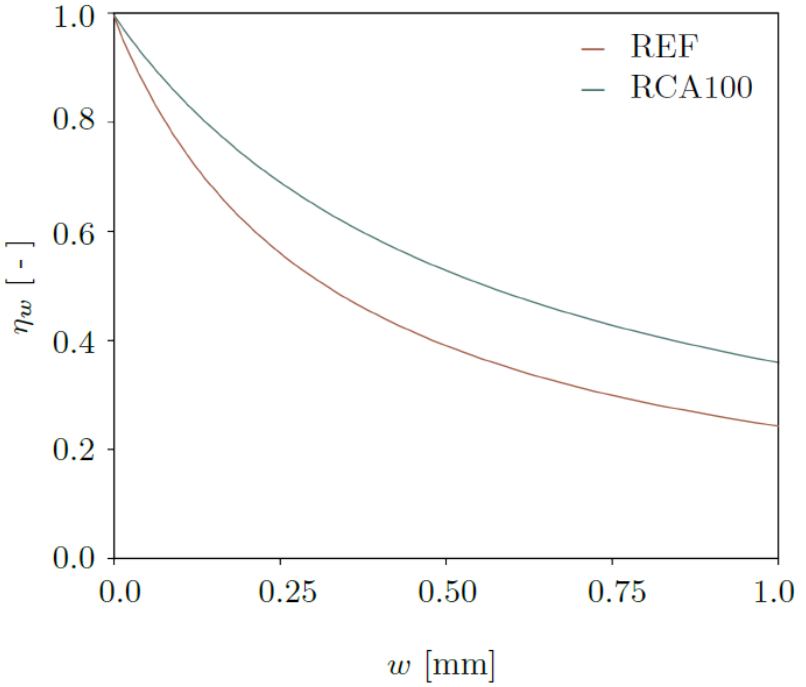
Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Overførsel af forskydning gennem revnet RCA beton v.$f_{cm,donor}$ = 21 MPa

- Brudmekanismer tilsvarende konventionel beton
- Brudfladens ruhed

$$\eta_w = \frac{1}{1 + 100\frac{w}{r}}$$



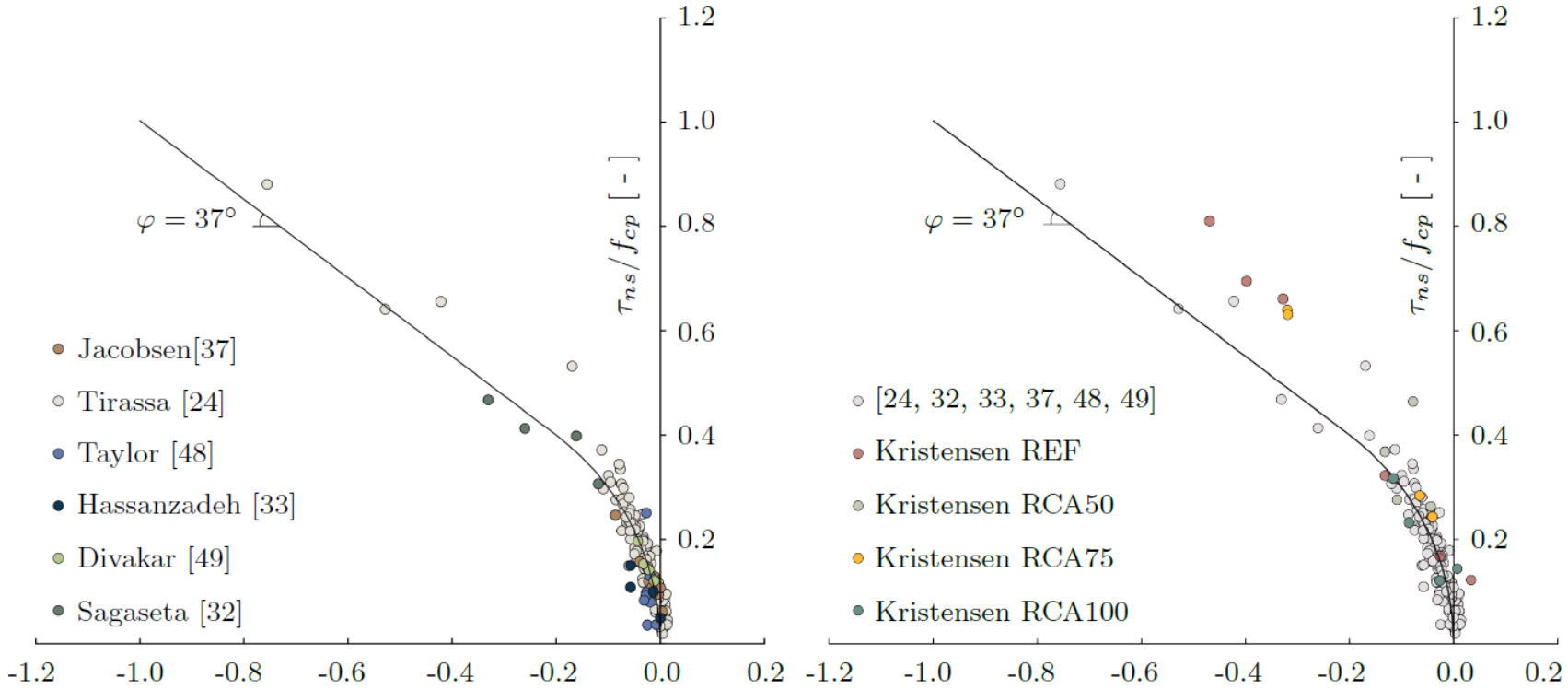


Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Overførsel af forskydning gennem revnet RCA beton v.$f_{cm,donor}$ = 21 MPa

- Brudmekanismer tilsvarende konventionel beton
- Brudfladens ruhed

$$\eta_w = \frac{1}{1 + 100\frac{w}{r}}$$

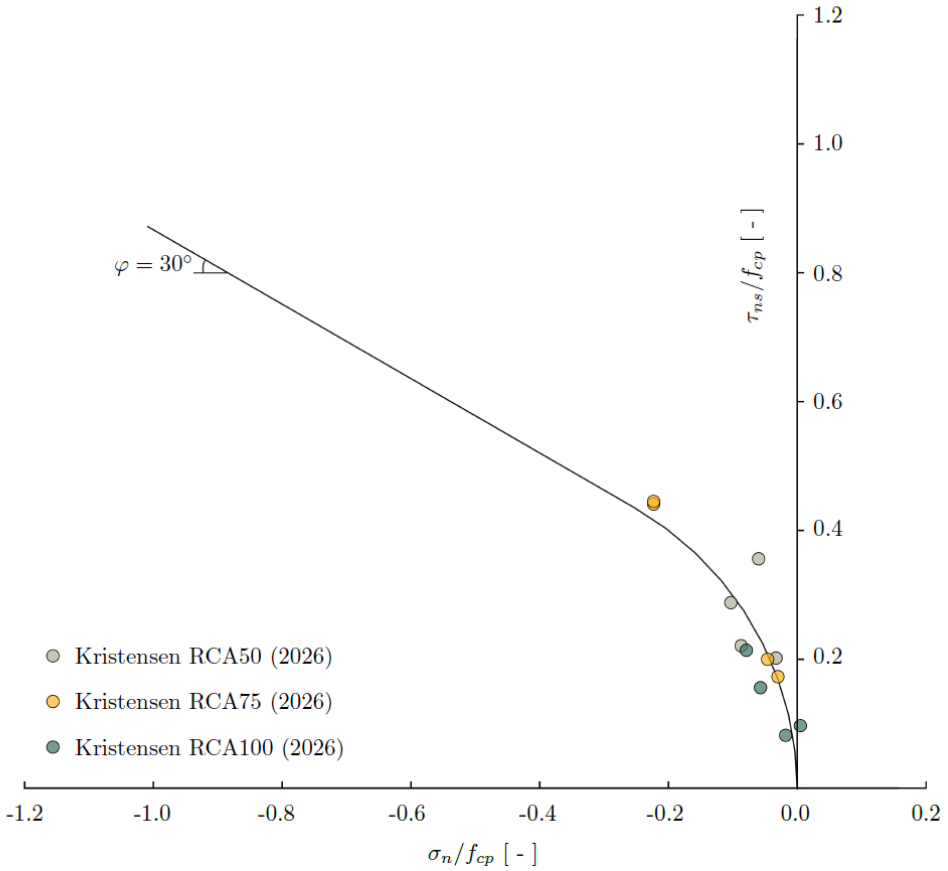


Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Overførsel af forskydning gennem revnet RCA beton v.$f_{cm,donor}$ = 21 MPa

- Brudmekanismer tilsvarende konventionel beton
- Brudfladens ruhed

$$\eta_w = \frac{1}{1 + 100\frac{w}{r}}$$



Nedknust beton som tilslag i ny beton til bærende konstruktioner

Budskaber

- Genanvendt betontilslag kan sagtens anvendes til bærende konstruktioner
  - Tilsvarende trykstyrke
  - Tilsvarende mekanismer
  - Kommende Anneks N i EC2

... men det kræver:

- Dokumentation af materialeegenskaber
  - Donorbeton samt ny beton
- Planlægning
  - Logistik omkring leverance
  - Nedrivning
- Incitament
  - Bæredygtighed
  - Økonomi

Tak for jeres opmærksomhed!
Spørgsmål?