



# BETONS E-MODUL

## EN OVERVURDERET STØRRELSE ?

CLAUS V. NIELSEN, RAMBØLL



BETONS E-MODUL, EN OVERVURDERET STØRRELSE ?  
DANSK BETONDAG 2014-09-18

## INDHOLD

- Generelt, Eurocode 2, empirisk model
- Norske undersøgelser fra 2013
- Sammenligning med danske undersøgelser
- Diskussion af resultater
- Konklusioner

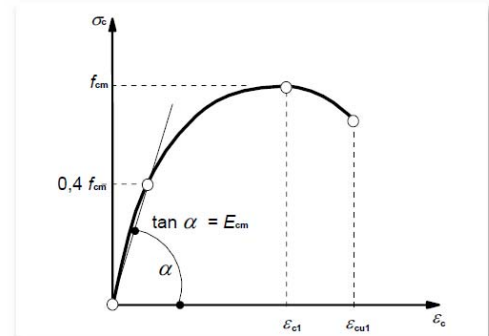


BETONS E-MODUL, EN OVERVURDERET STØRRELSE ?  
DANSK BETONDAG 2014-09-18

## BETONS E-MODUL

- Tilslaget har stor effekt og især den grove fraktion
- Volumenfordeling mellem pasta og tilslag benyttes ofte i kompositmodeller
- EN 1992-1-1 (Eurocode 2) indeholder en empirisk potensformel:

$$E_{cm} = 22 \text{ GPa} \cdot \left( \frac{f_{cm}}{10 \text{ MPa}} \right)^{0,3}$$



BETONS E-MODUL, EN OVERVURDERET STØRRELSE ?  
DANSK BETONDAG 2014-09-18

RAMBØLL

## BETONS E-MODUL

- Samlet af Anders Nielsen, DIA-B, 1980
- Stor variation
- Standardafvigelsen falder med styrkeklassen

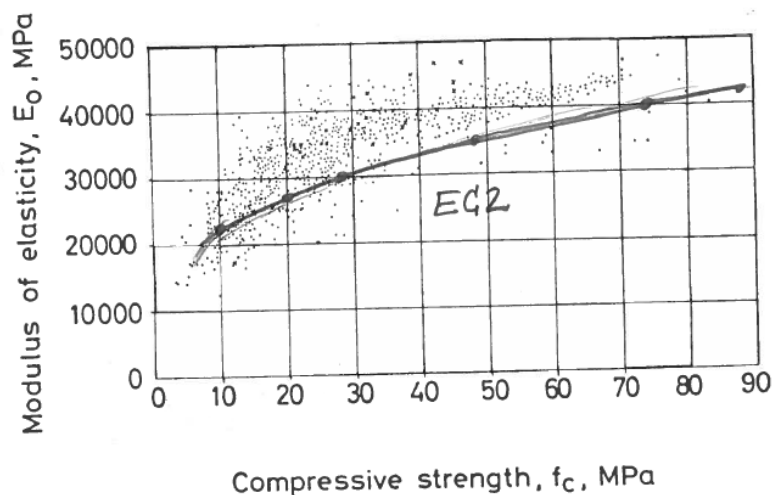
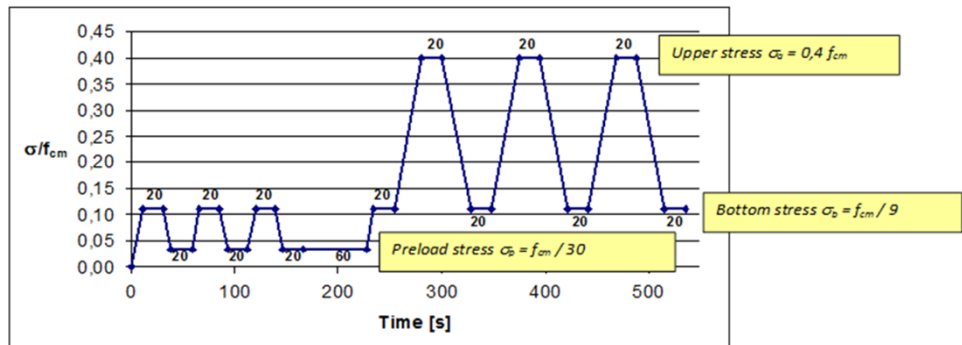


Figure 2. Modulus of elasticity,  $E_0$ , as function of compressive strength  $f_c$ . Experimental results taken from Hansen (1960), Neville (1963) and Betonbogen (1979).

RAMBØLL

## PØVNINGSMETODE DS/EN 12390-13:2013

- Preload cykler til at centrere prøven og kontrollere opstilling
- Der måles på mindst to diametrale linjer
- Trykprøvning efter sidste lastcykel

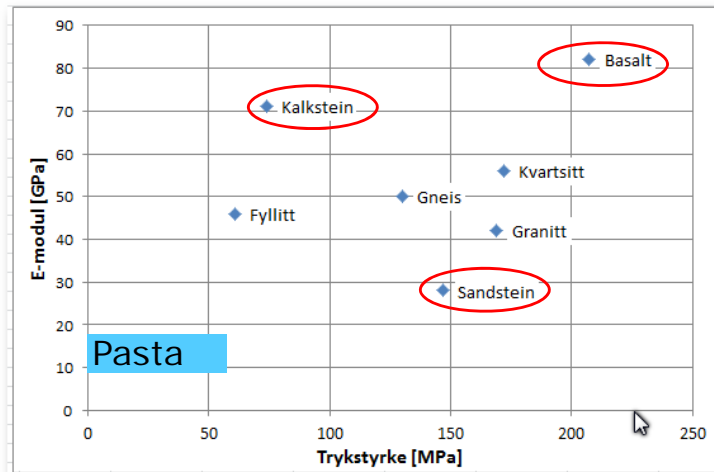


RAMBØLL

BETONS E-MODUL, EN OVERVURDERET STØRRELSE ?  
DANSK BETONDAG 2014-09-18

## TILSLAG

- NGB Håndbok (2000)
- EN 1992-1-1: 2008 indeholder følgende:



### 3.1.3 Elastisk deformation

(1) Betons elastiske deformationer afhænger i høj grad af sammensætningen (især af tilslagsmaterialerne). Værdierne i denne standard bør anses for vejledende til generelle anvendelser. De bør imidlertid vurderes specifikt, hvis konstruktionen er følsom over for afvigelser fra disse generelle værdier.

(2) Elasticitetsmodulet for en beton styres af bestanddelenes elasticitetsmodul. Omtrentlige værdier af elasticitetsmodulet,  $E_{cm}$  (sekantværdi mellem  $\sigma_c = 0$  og  $0,4f_{cm}$ ), for beton med kvartsittilslag er anført i tabel 3.1. For tilslag af kalksten og sandsten bør værdien reduceres med henholdsvis 10 % og 30 %. For tilslag af basalt bør værdien øges med 20 %.

## NORSK UNDERSØGELSE

Vegdirektoratet  
Traffikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  
Tunnel og betong  
16.12.2013



### Trykkfasthet og E-modul for SV-40 betong

En studie av tilslagets betydning

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 177

9 forskjellige leverandører av tilslag.

11 betong-recepter.



## NORSK UNDERSØGELSE

- Stor variation i petrografi
- Slidstyrke uttrykt ved Los Angeles værdien
- To cementer:  
Norcem Anlegg FA CEM II/A-V 42,5N  
AaP Rapid CEM I 52,5  
+ 4% mikrosilika, V/C=0,40
- Sætmålsbeton, luftindblandet  
16 mm sten

RAMBØLL

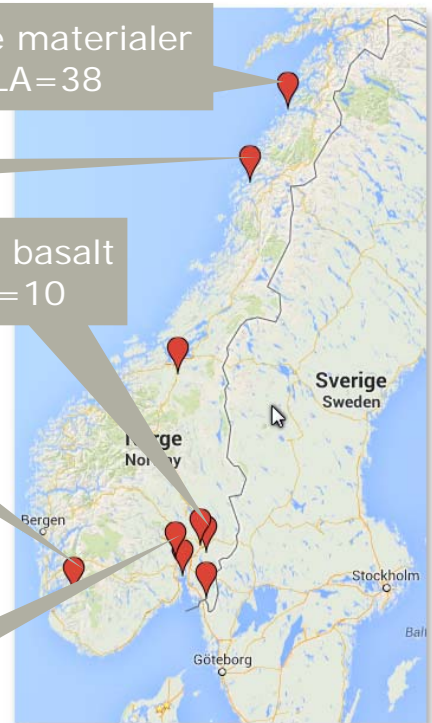
Svage materialer  
LA=38

Knust gabbro  
LA=27

Knust basalt  
LA=10

Delvist knust  
granit/gneis  
LA=26

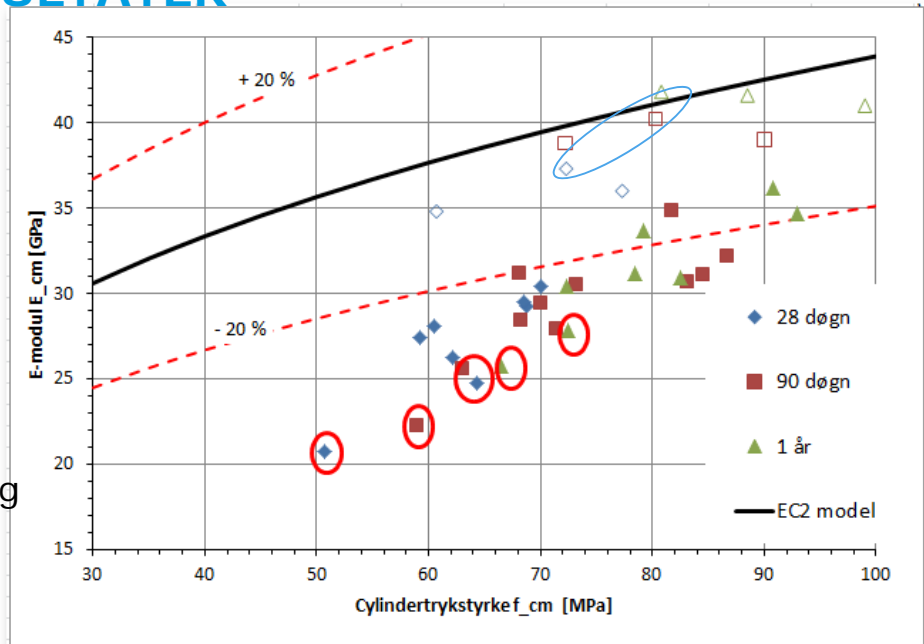
Delvist knust  
granit/gneis  
LA=16



## NORSKE RESULTATER

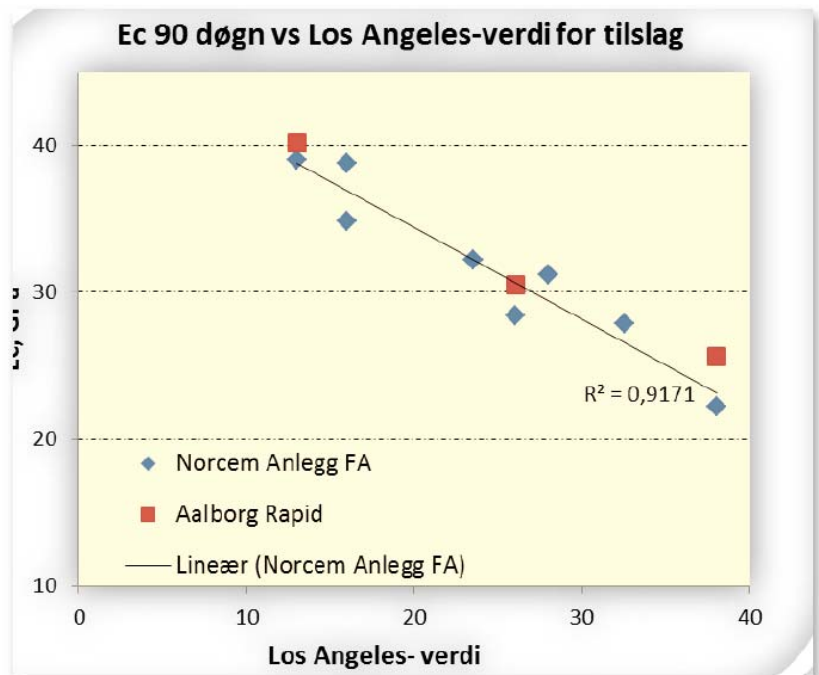
- Tre prøvnings-terminer
- Røde sirkler = svagt tilslag
- Åbne symboler = sterkt tilslag
- Blå ring = Rapid med sterkt tilslag

RAMBOLL



## KORRELATION MED LOS ANGELES

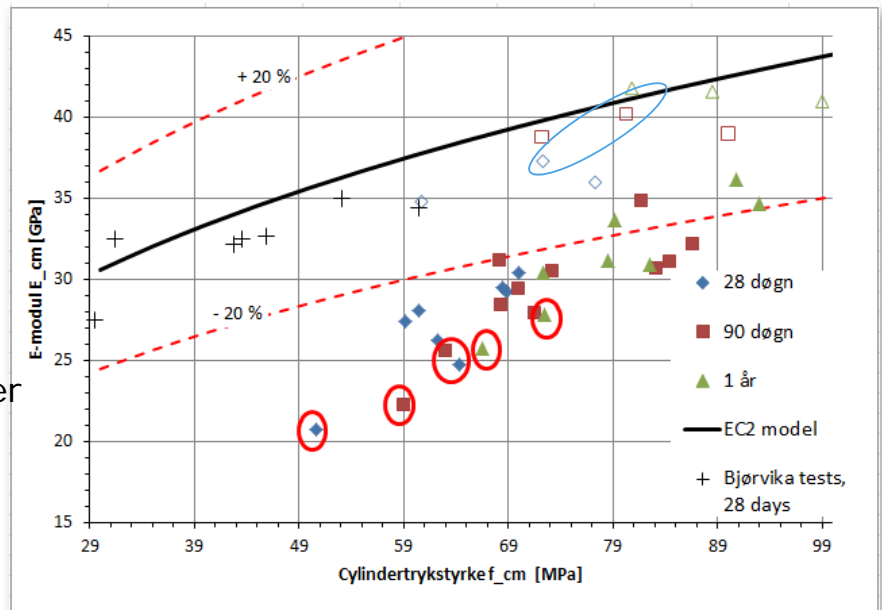
RAMBOLL



## NORSKE RESULTATER ...FORTSAT

- Bjørvika sænke-tunnel forprøvning NTNU 2003
- Middelgodt tilslag 16 mm
- Forskellige binde-middelkombinationer
- $V/C = 0,45$  luftindblanding

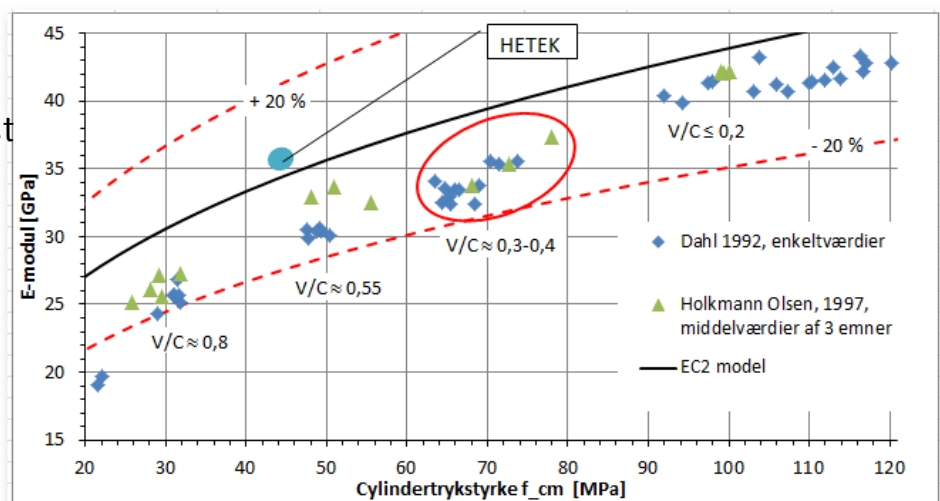
RAMBOLL



## DANSKE RESULTATER ...1

- Ikke standardprøvning, prøveopstilling på DTU
- Typisk Rapid C +FA, MS
- Søsten og knust granit, 16 mm
- Ikke luftindblanding

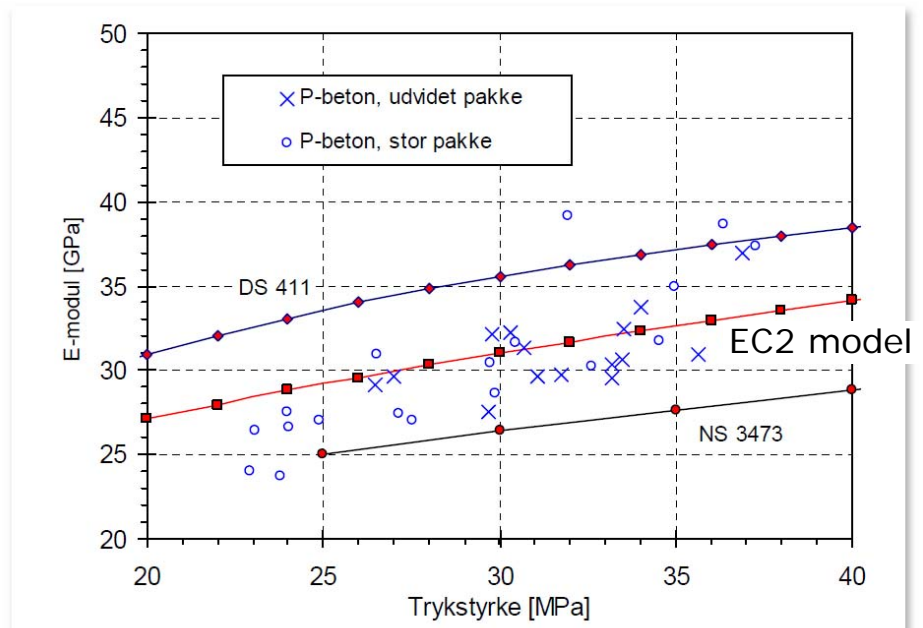
RAMBOLL



## DANSKE RESULTATER ...2

- Grøn Beton  
2002, P-beton
- Uden luft
- $V/C = 0,7$
- Tilslag 32 mm  
knust granit
- Enkeltværdier

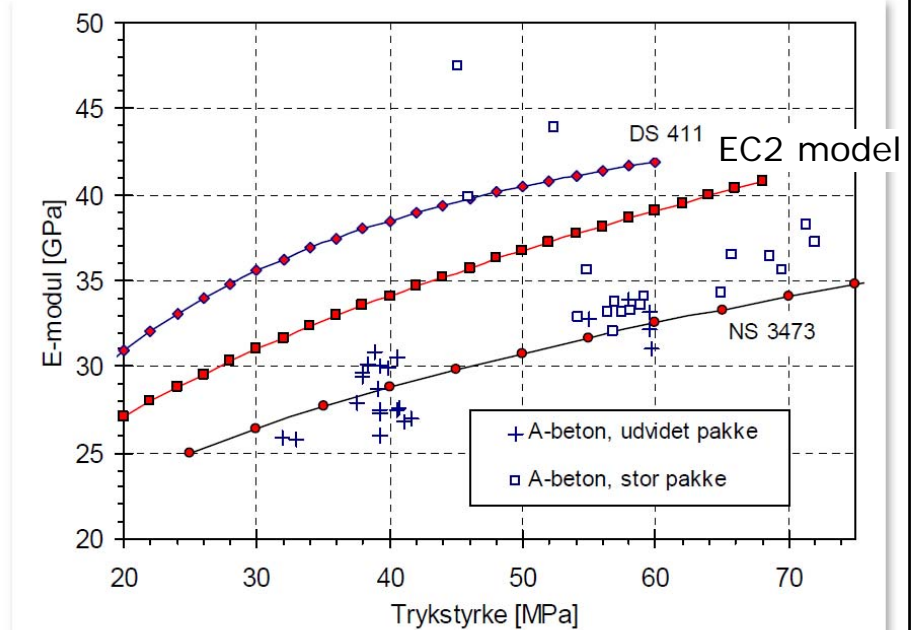
RAMBØLL



## DANSKE RESULTATER ...3

- Grøn Beton  
2002, A-beton
- Luftindblanding
- $V/C \approx 0,4$
- Tilslag knust granit  
32 mm
- Enkeltværdier

RAMBØLL



## DANSKE RESULTATER ...4

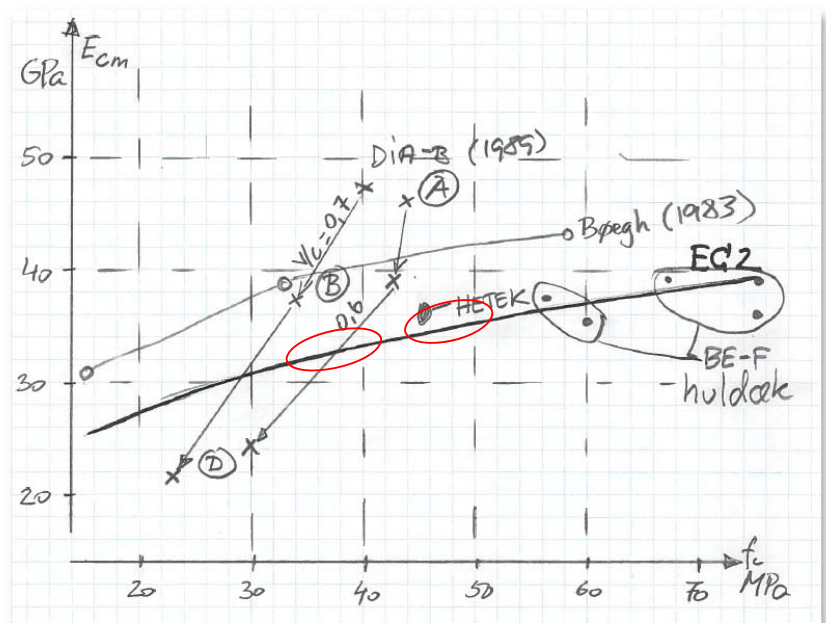
- Stor variation i prøvningsbetingelser gør det svært at konkludere
- Ofte få gentagelser af forsøg
- Effekten af luftindhold på E-modul... og effekten af pastavolumen synes at være til stede, men er den signifikant?
- Nyere resultater fra AaU viser, at danske søsten har en rigtig god effekt på E-modul – bedre end knust granit. Dette underbygges af tidligere forsøg...

RAMBOLL

BETONS E-MODUL, EN OVERVURDERET STØRRELSE ?  
DANSK BETONDAG 2014-09-18

## DE GO'E GAMLE DAGE

- Undersøgelser til dokumentation af nedknust tilslag i ny beton
- Dansk tilslag har traditionelt givet høj stivhed
- Sø- og bakkematerialer



RAMBOLL



## UHPC EKSTREM PAKNING

- C.V. Nielsen (1995)  
Ph.D. thesis
- CRC matrix med stålfibre i store mængder
- Quartz sand Densit binder mikropakning
- Ultralavt V/C

RAMBØLL

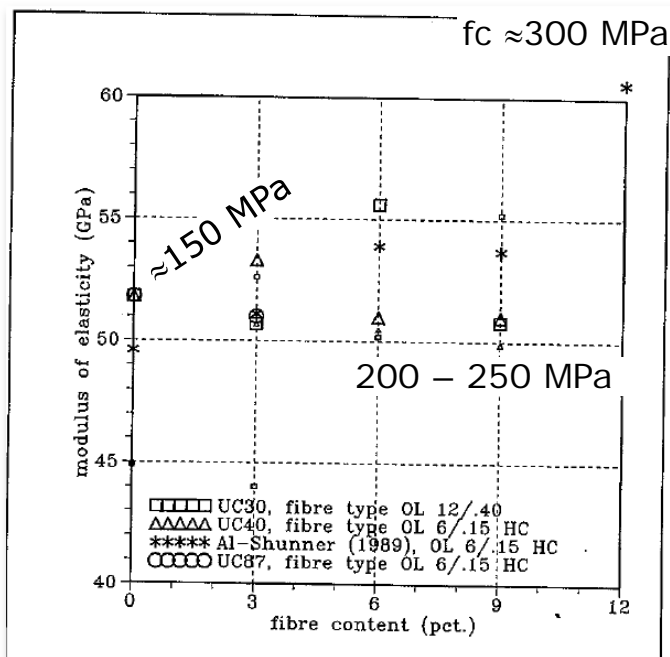


Figure 3.11: Experimental  $E - V_f$  relationship for compressit matrix under compression. The small symbols represents the direct tensile tests, cf. figure 2.13.

## KONKLUSIONER

- Eurocode 2 model synes at beskrive den øvre grænse for betons E-modul snarere end middelværdien – altså overvurderet
- Tilslagstypen betyder rigtig meget, men svært at skelne ud fra de gængse handelsbetegnelser
- Måske kan LA prøvning af sten benyttes til at skelne mellem kvaliteterne
- Deklareret E-modul kunne være en naturlig del af betonproducentens forprøvning
- ...

RAMBØLL

BETONS E-MODUL, EN OVERVURDERET STØRRELSE ?  
DANSK BETONDAG 2014-09-18

## KONKLUSIONER ...FORTSAT

- E-model bliver en konkurrencefaktor i takt med større fokus på optimeret byggeri, forspændte konstruktioner og mere højhusbyggeri
- Heldigvis er SLS – hvor E-modulet primært benyttes – i forvejen præget af ret store variationer pga. tension stiffening, trækstyrken, lastvarighedsfaktorer, krybning, svind mv.

## SPØRGSMÅL ?

## CVN@RAMBOLL.DK