




TNO innovation
for life

VABOR

Bepaling van de druksterkte van bestaande betonnen constructies




Huibert Borsje – TNO
20 september 2012




1
20 september 2012
TNO innovation
for life

Doel van het onderzoek



- › Controle van de geleverde betonkwaliteit
- › Hoe kan op basis van de resultaten van drukproeven op boorkernen een veilige waarde van de materiaalsterkte worden bepaald voor de bepaling van de constructieve veiligheid?
- › Van welke druksterkte mag worden uitgegaan indien er van kunstwerken geen resultaten van drukproeven bekend zijn?

2
20 september 2012
TNO innovation
for life

Regelgeving

- › CUR Aanbeveling 74: Is ingetrokken
- › NEN-EN 13791: Beoordeling van de druksterkte van beton in constructies en vooraf vervaardigde betonelementen
- › NEN-EN 1990: Eurocode - Grondslag van het constructief ontwerpen

3
20 september 2012
TNO innovation
for life

Kernen versus kubussen

- › C20/25 = karakteristieke cilinder-/kubusdruksterkte
 - › Cilinder: \varnothing 150 mm – lengte 300 mm
 - › Kubus: riblengte 150 mm
- › Boorkern \varnothing 100 mm \equiv kubusdruksterkte (mits $l = d$)
- › Boorkern \varnothing 100 mm \neq cilinderdruksterkte

4
20 september 2012

TNO innovation for life

Controle geleverde betonkwaliteit (NEN-EN 13791)

- › Karakteristieke betondruksterkte f'_{ck} is laagste waarde van:
 - › $f'_{ck} = f'_{cm} - k$ (gemiddelde waarde)
 - › $f'_{ck} = f'_{cmin} + 4$ (minimale waarde)
 - › $k = 7$ voor $3 < n < 6$
 - › $k = 6$ voor $7 < n < 9$
 - › $k = 5$ voor $10 < n < 14$
- › Minimaal te behalen karakteristieke druksterkte is gegeven in tabel 1 van de norm

5
20 september 2012

TNO innovation for life

Controle geleverde betonkwaliteit (vervolg)

Table 1 — Minimum characteristic in-situ compressive strength for the EN 206-1 compressive strength classes

Compressive strength class according to EN 206-1	Ratio of in-situ characteristic strength to characteristic strength of standard specimens	Minimum characteristic in-situ strength N/mm ²	
		$f_{ck, in-situ}$	$f_{ck, min}$
C8/10	0,85	7	9
C12/15	0,85	10	13
C16/20	0,85	14	17
C20/25	0,85	17	21
C25/30	0,85	21	26
C30/37	0,85	26	31
C35/45	0,85	30	38
C40/50	0,85	34	43
C45/55	0,85	38	47
C50/60	0,85	43	51
C55/67	0,85	47	57
C60/75	0,85	51	64
C70/85	0,85	60	72
C80/95	0,85	68	81
C90/105	0,85	77	89
C100/115	0,85	85	99

NOTE 1: The in-situ compressive strength may be less than that measured on standard test specimens taken from the same batch of concrete.
NOTE 2: The ratio 0,85 is part of γ_c in EN 1992-1-1:2004.

6
20 september 2012

TNO innovation for life

Controle geleverde betonkwaliteit (vervolg)

- › Tabel 1 geeft ratio van 0,85 voor in-situ versus controlekubussen
 - › In-situ waarde mag verhoogd worden met 1/0,85
 - › Ratio maakt deel uit van γ_c in NEN-EN 1992-1-1 ($\gamma_c = 1,5$)
 - › Voor toetsing conform NEN 6720 mag ratio niet verrekend worden ($\gamma_c = 1,2$)

7
20 september 2012

TNO innovation for life

Controle constructieve veiligheid (NEN-EN 1990)

- › Art. 5.2 Design assisted by testing
 - › (1) Design may be based on a combination of tests and calculations
 - › Testing may be carried out to confirm by control checks assumptions made in the design. See Annex D.
 - › Statistische onzekerheid in rekening brengen voor bepaling van karakteristieke druksterkte
 - › Aantal proefstukken is daarvoor bepalend
 - › Geldt voor gemiddelde EN standaardafwijking

8
20 september 2012

TNO innovation for life

Karakteristieke waarde van de druksterkte

- › Definitie $f_{ck,cube}$: 95% ondergrens van de kubusdruksterkte
- › Op basis van een lognormale verdeling (altijd gunstig)
 - › Rekening houdend met statistische onzekerheid
 - › Rekening houdend met een minimale waarde van de standaardafwijking
 - › Laagste waarde van methode A en B
- › Methode A $f_{ck,cube,A} = \exp\{f_{cm,cube}(Y)\} \cdot \exp\left\{-t_{n-1}(p = 0,05) \cdot s_{cube}(Y) \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n}}\right\}$
- › Methode B $f_{ck,cube,B} = \exp\{f_{cm,cube}(Y)\} \cdot \exp\left\{-1,64 \cdot \sqrt{\ln\left(1 + \left(\frac{s_{cube,min}}{f_{cm}}\right)^2\right)} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n}}\right\}$

9
20 september 2012

TNO innovation for life

Methode A

- › Gaat uit van berekende standaardafwijking uit meetresultaten
- › Onzekerheid a.g.v. aantal proeven in rekening brengen via student-t-verdeling

v = n - 1	p = 0,05
1	6,31
2	2,92
3	2,35
4	2,13
5	2,02
6	1,94
7	1,89
8	1,86
9	1,83
10	1,81
20	1,72
30	1,70
∞	1,64

10
20 september 2012

TNO innovation for life

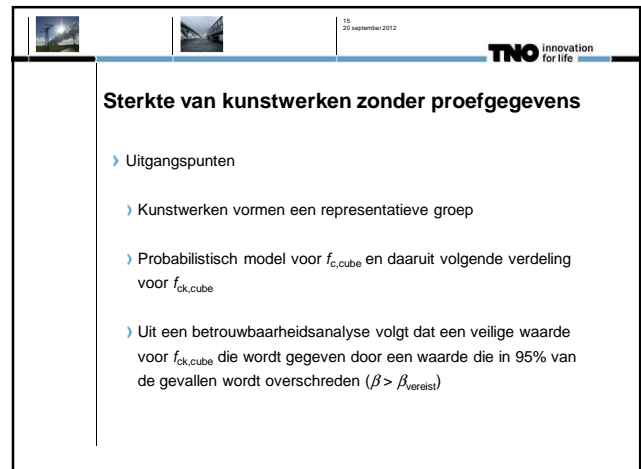
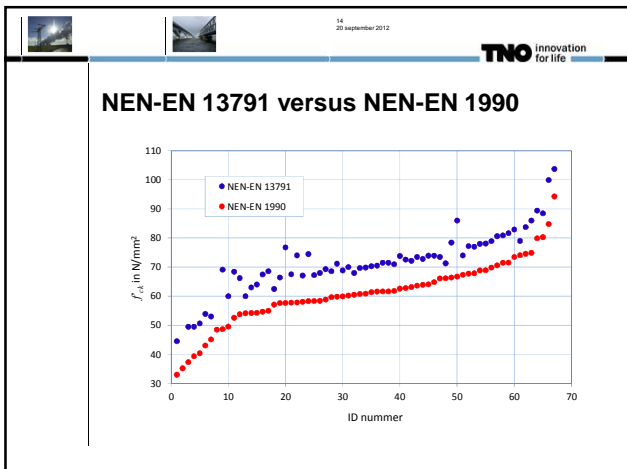
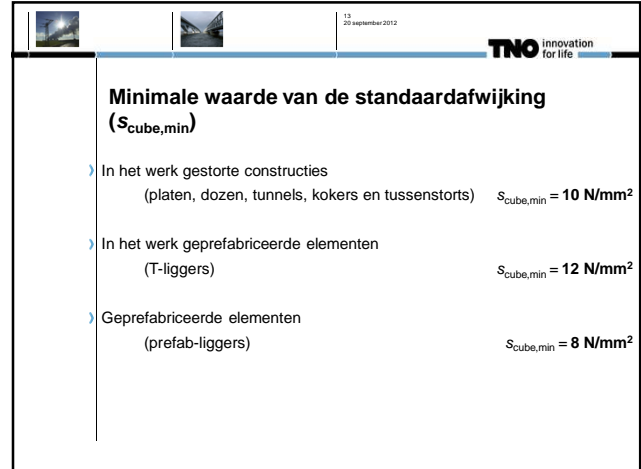
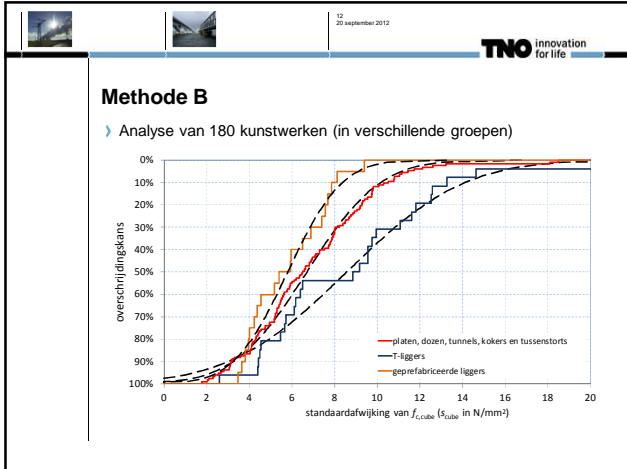
Methode B

- › Gaat uit van minimaal in rekening te brengen standaardafwijking
- › ModelCode:
 - › Standaardafwijking bij nieuwe constructies $s_{cube,min} = 5$ Mpa
 - › Bestaande constructies van hogere ouderdom geven hogere waarden

11
20 september 2012

TNO innovation for life

Methode B



16
20 september 2012

TNO innovation
for life

Sterkte van kunstwerken zonder proefgegevens

- › Bij een de beoordeling volgens NEN 6720
 - › platen, dozen, tunnels, kokers, T-liggers en tussenstorts: **C35/45**
 - › geprefabriceerde liggers **C53/65**
- › Bij een beoordeling volgens NEN-EN 1992-1-1
 - › platen, dozen, tunnels, kokers, T-liggers en tussenstorts: **C35/45**
 - › geprefabriceerde liggers **C55/67**

17
20 september 2012

TNO innovation
for life

Conclusies

- › Sterkte in de loop der jaren enorm toegenomen
 - › In het werk gestort: $f_{ck,cube} = 55 \text{ à } 65 \text{ N/mm}^2$
 - › Geprefabriceerd $f_{ck,cube} \approx 90 \text{ N/mm}^2$
- › Sterkte van kunstwerken waar geen informatie van beschikbaar is
 - › platen, dozen, tunnels, kokers, T-liggers en tussenstorts: C35/45
 - › geprefabriceerde liggers C55/67

18
20 september 2012

TNO innovation
for life

Referenties

- › Cement 8/2011: EN 13791 ter discussie
- › Cement 4/2012: Betonsterkte bestaande constructies