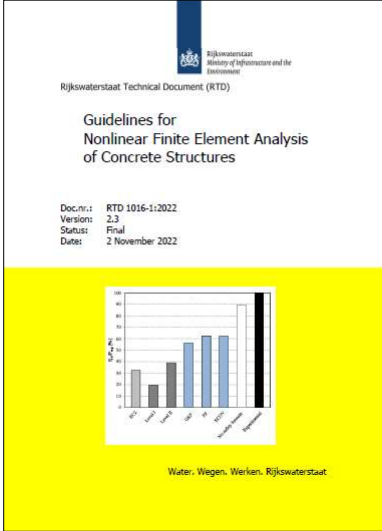






Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Update RWS Richtlijn voor niet-lineaire analyses van betonconstructies

DOV lezingenavond

Marco Roosen
15-02-2023

1



Terugblik RWS GPO - NLFEA van betonconstructies

- Strategie
- Validatieproces (met TNO, TU Delft)
 - (blinde) voorspellingen
 - modelfactor
 - probabilistische numerieke analyse
- Blinde voorspellingen (door TNO)
- Onderzoek (door TNO: GRF)
- Niet lineaire analyses (door TNO, IB's)
- Beheren richtlijn (met TU Delft)
- Interne RWS werkgroep

2



Vooruitblik activiteiten RWS GPO - NLFEA van betonconstructies

- Onderzoek modeleringsstrategie prefab-liggers met druklaag (TU Delft)
- Validatie prefab-liggers met druklaag (TU Delft / TNO)
- Validatie hoge platen (TNO)
- Validatie T&N (TNO)
- Niet lineaire analyses (TNO, IB's)

3



RTD1016-1

- Verminderen intrinsieke model- en gebruikersfactoren
- Verbeteren robuustheid van de analyses o.b.v. (i) ervaringen gebruikers, (ii) validatieonderzoeken, (iii) normwijzigingen & (iv) wetenschappelijk onderzoek...
- RTD1016-1 v2.1 (2017): Ane de Boer, Max Hendriks, Beatrice Belletti
- RTD1016-1 v2.3 (2022): Marco Roosen, Max Hendriks
- <https://standaarden.rws.nl/>
- RTD1016-2/3A/3B/3C/3D

4



Verschillen tussen RTD1016 versie 2.1 en 2.3

- Van handreiking naar contractdocument
 - Basis = Eurocode in plaats van Model Code 2010
 - Veiligheidsformat GFR voorgeschreven
- (i) het aanscherpen van de toepassingsvoorwaarden
 (ii) het aanpassen van de Global Resistance Factor
 (iii) het aanpassen van de GRF materiaaleigenschappen
 (iv) het aanpassen van de factor voor lange duur belasting
 (v) een aanpassing in de Tension-Compression Interaction

5



(i) het aanscherpen van de toepassingsvoorwaarden

Applicability (RTD1016 §1.2)

.....It should be ensured that the analysis at hand **is validated for similar structural types**, presence of stirrups, presence of pre-stressing and reinforcement ratios.

A blind prediction competitionrevealed that the use of current guidelines could not be validated for a case of a reinforced concrete girder with a low longitudinal reinforcement ratio and without stirrups. At the moment of issuing the document, this is under investigation.

6



(ii) het aanpassen van de Global Resistance Factor*

- $R_d = \frac{R(f_{sm}, f_{c,red})}{\gamma_{GL}}$
- $\gamma_{GL}^{steel} = \frac{f_m}{f_d} = \frac{1,1 f_k}{\frac{f_k}{\gamma_S}} = 1,1 \gamma_S$
- $\gamma_{GL}^{cc} = \frac{f_{cm}}{f_{cd}} = \frac{1,1 f_{ck}}{\frac{f_{ck}}{\gamma_C}} = 1,1 \gamma_C$
- $\gamma_{GL}^{ct} = \frac{f_{ctm}}{f_{ctd}} = \frac{f_{ctm}}{\frac{f_{ctk} \cdot 0,05}{\gamma_C}} = \frac{f_{ctm}}{\frac{0,7 f_{ctm}}{\gamma_C}} = \frac{\gamma_C}{0,7}$

$$\gamma_S = 1,15$$

$$\gamma_{cC} = 1,5$$

$$\gamma_{GL} = 1,27$$

$$\gamma_{GL}^{steel} = 1,27$$

$$\gamma_{GL}^{cc} = 1,65$$

$$\gamma_{GL}^{ct} = 2,14$$

(*Allaix, 2020)

7



(ii) het aanpassen van de Global Resistance Factor

$$\gamma_M = \gamma_m \gamma_{Rd1} \gamma_{Rd2}$$

- γ_m is de partiele factor voor materiaalonzekerheid;
- γ_{Rd1} is de partiele factor voor onzekerheid weerstandsmodel;
- γ_{Rd2} is de partiele factor voor onzekerheid geometrie.
- Wapeningsstaal (*fib* MC2010): $\gamma_s = 1,08$, $\gamma_{Rd1} = 1,025$, $\gamma_{Rd2} = 1,05 \rightarrow \gamma_S = 1,15$
- Beton (*fib* MC2010): $\gamma_c = 1,39$, $\gamma_{Rd1} = 1,05$, $\gamma_{Rd2} = 1,05 \rightarrow \gamma_C = 1,5$
- γ_{Rd1} onderzoeken i.v.m. NLFEM modelleringsstrategie, $\gamma_{Rd1} = \gamma_{Rd,NLFEM}$

8



(ii) het aanpassen van de Global Resistance Factor

Modelonzekerheid $\gamma_{Rd,NLFEM}$ *:

- Pons: 1,16
- Dwarskracht: 1,13
- Buiging: 1,01
- Alle faalmechanismen: = 1,16

Analyse TNO voorgespannen liggers (4 experimenten, indicatie): $\gamma_{Rd,NLFEM} = 1,12$

NEN-EN1992-2 $\gamma_{Rd,NLFEM} = 1,15$

Aanbevolen TNO: $\gamma_{Rd,NLFEM} = 1,15$

* Gebaseerd op: gemiddelden en variatiecoëfficiënten volgens artikel Cervenka V, Cervenka J, Kadlec L (2018), $\alpha_R = 0,32$ en $\beta = 3,8$.

9



(ii) het aanpassen van de Global Resistance Factor

- $\gamma_s = 1,08$ $\gamma_{Rd,NLFEM} = 1,15$ $\gamma_{Rd2} = 1,05$ $\rightarrow$ $\gamma_s = 1,30$ (i.p.v. 1,15)
- $\gamma_c = 1,39$ $\gamma_{Rd,NLFEM} = 1,15$ $\gamma_{Rd2} = 1,05$ $\rightarrow$ $\gamma_c = 1,68$ (i.p.v. 1,5)
- $\gamma_{GL} = \gamma_{GL}^{steel} = \frac{f_m}{f_d} = \frac{1,1 f_k}{\frac{f_k}{\gamma_s}} = 1,1 \gamma_s = 1,43 \approx 1,4$

RTD1016 §4.2:

- The global resistance factor γ_0 , is equal to: $\gamma_0 = 1.4$
- In case bending failure is governing, a global resistance factor of 1.27 can be applied, under the condition that it is demonstrated that shear failure will not occur at a global resistance factor of 1.4.

10

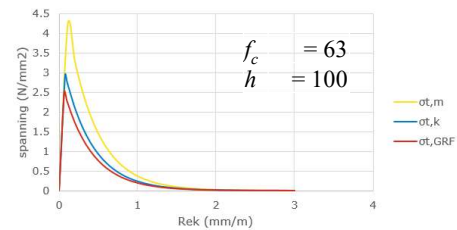
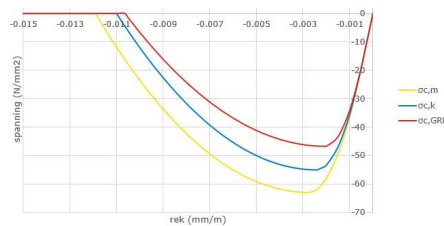


(iii) het aanpassen van de GRF materiaaleigenschappen

- $f_{c,GRF} = \frac{\gamma_{GL}^{steel}}{\gamma_{GL}^{cc}} \alpha_{cc} f_{cm} = \frac{1,1 \gamma_S}{1,1 \gamma_C} \alpha_{cc} f_{cm} = 0,77 \alpha_{cc} f_{cm} = 0,85 \alpha_{cc} f_{ck}$
- $f_{ct,GRF} = \frac{\gamma_{GL}^{steel}}{\gamma_{GL}^{ct}} \alpha_{ct} f_{ctm} = \frac{1,1 \gamma_S}{\frac{\gamma_C}{0,7}} \alpha_{ct} f_{ctm} = 0,60 \alpha_{ct} f_{ctm} = 0,85 \alpha_{ct} f_{ctk}$

$$G_{F,GRF} = 0,85 G_{Fk}$$

$$G_{C,GRF} = 0,85 G_{Ck}$$



11



(iii) het aanpassen van de GRF materiaaleigenschappen

Staal	$\gamma_{GL}^s = \gamma_s \cdot \frac{f_{yk}}{f_{yk}} \cdot \frac{1,15}{1,025} = 1,15 \times 1,1 \times \frac{1,15}{1,025} = 1,42$
Voor sp.	$\gamma_{GL}^v = \gamma_p \cdot \frac{f_{p0,1m}}{f_{p0,1k}} \cdot \frac{1,15}{1,025} = 1,1 \times 1,04 \times \frac{1,15}{1,025} = 1,28$
$f_{p0,1 GRF}$	$= \frac{\gamma_{GL}^s}{\gamma_{GL}^v} \cdot f_{p0,1m} = 1,11 f_{p0,1m} = 1,15 f_{p0,1k}$

12



(iii) het aanpassen van de GRF materiaaleigenschappen

RTD1016 §4.2:

$$\begin{aligned}
 f_{y,GRF} &= 1.1 f_{yk} & f_{c,GRF} &= 0.85 \alpha_{cc} k_t f_{ck} \\
 f_{t,GRF} &= 1.1 f_{tk} & f_{ct,GRF} &= 0.85 \alpha_{ct} k_t f_{ctk} \\
 f_{p0,1,GRF} &= 1.15 f_{p0,1pk} & G_{F,GRF} &= 0.85 G_{Fk} \\
 f_{p,GRF} &= 1.15 f_{pk} & G_{C,GRF} &= 0.85 G_{Ck}
 \end{aligned}$$

13



(iv) het aanpassen van de factor voor lange duur belasting

$$f_{cd} = \alpha_{oo} f_{ck} / \gamma_c$$

α_{oo} is de coëfficiënt die rekening houdt met langedureffecten op de druksterkte en met ongunstige effecten als gevolg van de manier waarop de belasting aangrijpt.

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} f_{ctk,0.05} / \gamma_c$$

α_{ct} is een coëfficiënt die rekening houdt met langedureffecten op de treksterkte en met ongunstige effecten als gevolg van de manier waarop de belasting aangrijpt.

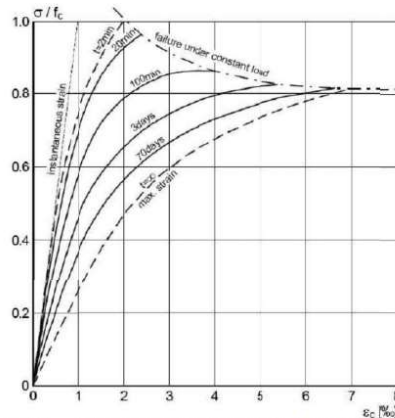
Als de betonsterkte is bepaald op een ouderdom $t > 28$ dagen, behoren de waarden α_{oo} en α_{ct} gedefinieerd in 3.1.6 (1)P en 3.1.6 (2)P, te zijn verminderd met een factor k_t .

NB 1992-1-1: k_t factor = 0.85, $\alpha_{cc} = 1,0$ $\alpha_{ct} = 1.0$

14



(iv) het aanpassen van de factor voor lange duur belasting



figuur 2 Spanning-rek-relaties bij verschillende tijdsduren van een één-assige druklast [Rüsch 1960]

CEN/TC 250/SC 2/WG 1 N 632 Sustained loading effect on concrete compressive strength

- $k_{tc} = 0,85$ in case the effect of the permanent action (or variable actions of a duration > 1 hour) represents 100% of the total effect at design level;
- $k_{tc} = 1,0$ when rapid variable actions (actions of duration < 1 hour) represent at least 20% of the total effect at design level
- For intermediate cases (effect of rapid actions between 0 and 20% of the total load effect at design level), k_{tc} should be determined by linear interpolation between the previous values

15



(iv) het aanpassen van de factor voor lange duur belasting

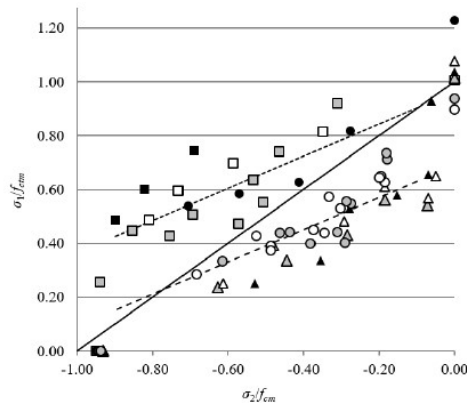
• RTD1016 §2.3.1:

As long as traffic loads represent at least 20% of the total effect, no long terms effect have to be considered for the concrete compressive strength. For existing structures no further increase in concrete strengths is to be expected. Under these conditions the reduction due to long term effect does not have to be compensated with the increase in strength and the factors k_t , and α_{cc} should be set to 1. If traffic loads represent less than 20% of the total load effect, long terms effect for the compressive strength have to be considered and a value of k_t of 0.85 should be used.

16



(v) een aanpassing in de Tension-Compression Interaction



- Proeven op schijfelementen: treksterkte (σ_1 waarbij element scheurt) reduceert door gelijktijdig aanwezige hoofddrukspanningen (σ_2).
- Dit effect wordt genegeerd doordat in analyses wordt uitgegaan van éénassige treksterkte (f_{ct})

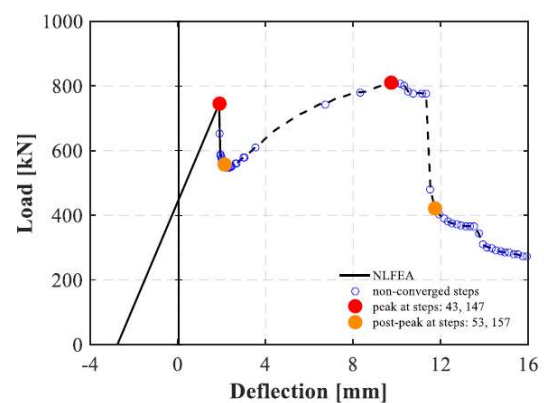
17



(v) een aanpassing in de Tension-Compression Interaction

Blind predictions experiment PB5
(RTD 1016-3D(2020) version 1.0) :

- 'Considering a mean concrete tensile strength according to (CEB/fib, 2012), the numerical analysis overestimates the load level at the first diagonal crack by 18%.'
- $F_{exp} = 633 \text{ kN}$, $F_{NLFEA} = 745 \text{ kN}$



18



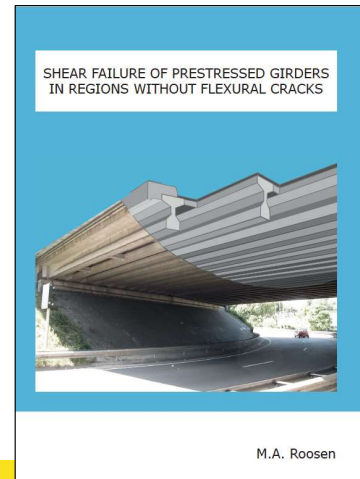
(v) een aanpassing in de Tension-Compression Interaction

- RTD1016 §2.4.1.5:

..A research by Roosen (2021) demonstrated that the Mohr-Coulomb approximation is a suitable equation to determine the effective tensile strength $f_{ctm,eff}$ from the uniaxial tensile strength f_{ctm} to analyze diagonal tension cracking (and possibly shear tension failure) of the web of a prestressed girder:

$$f_{ctm,eff} = [1 + \sigma_2 / f_{cm}] f_{ctm}$$

As an alternative to using the effective tensile strength, the uniaxial tensile strength can be used provided that a sensitivity analysis demonstrates that the use of the uniaxial tensile strength does not significantly affect the ultimate resistance.

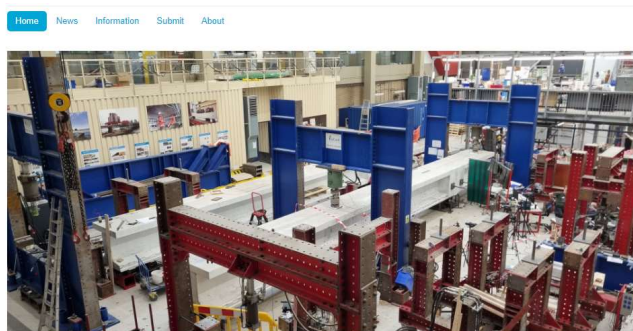


19



Beam prediction contest

- <https://concrete-prediction-contest.tudelft.nl/home>
- Voorspelling 2 experimenten
- Doorgaande prefab liggers met druklaag (1:1).
- Zeer lage dwarskrachtwapeningsverhouding
- Analytisch & numeriek
- Deadline 1 Mei 2023
- Speciale sessie bij het *fib* symposium, 5-7 Juni 2023, Istanbul



Rijkswaterstaat
Ministry of Infrastructure
and Water Management

20



Dank voor uw aandacht

