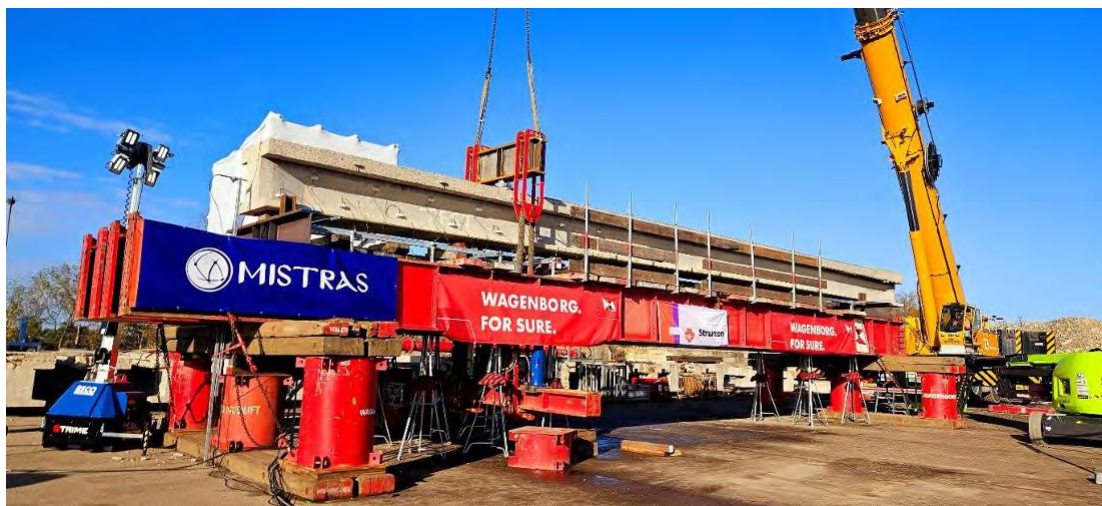




Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



Nieuwe dwarskrachtregels

Invloed maximale korrelafmeting
op dwarskrachtweerstand

Marco Roosen
30 oktober 2025



Wie ben ik?

- Senior specialist betonconstructies RWS – GPO – Bruggen en Viaducten
- Dag/week op de TU Delft
- Beheer richtlijnen (RTD1006, RTD1016)
- Advies constructieve veiligheid bestaande bruggen & viaducten
- Automatisering beoordelingen bestaande liggerviaducten
- Invoering aankomende Eurocode betonconstructies



Inhoud presentatie nieuwe dwarskrachtregels

- Waar zijn nieuwe dwarskrachtregels vastgelegd?
- Elementen zonder dwarskrachtwapening $V_{Rd,c}$
 - Aanleiding, achtergrond, formule
 - Evaluatie noodzaak nieuwe dwarskrachtregels
- Elementen met dwarskrachtwapening $V_{Rd,s}$
 - Aanleiding, achtergrond, formule
 - Evaluatie noodzaak nieuwe dwarskrachtregels
- Invloed maximale korrelafmeting + discussie

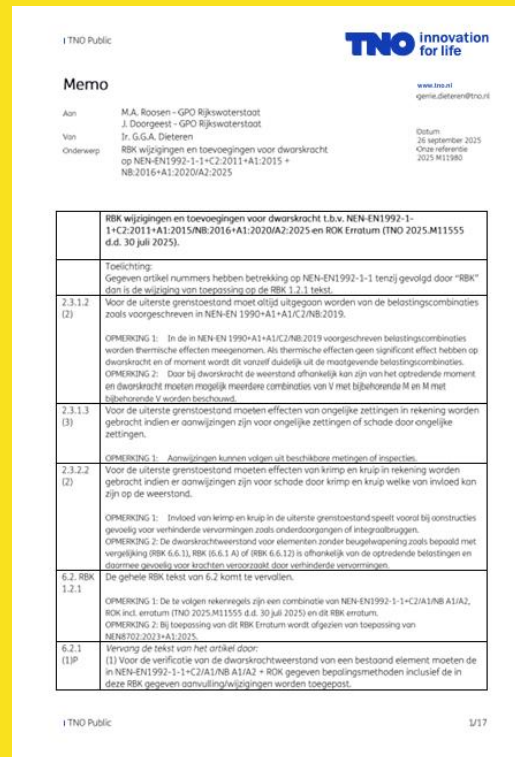
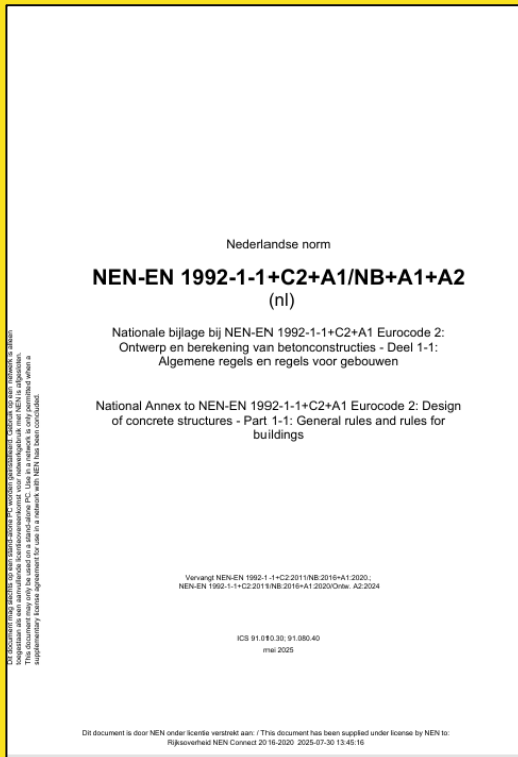


- Waar zijn nieuwe dwarskrachtregels vastgelegd?
- Elementen zonder dwarskrachtwapening $V_{Rd,c}$
 - Aanleiding, achtergrond, formule
 - Evaluatie noodzaak nieuwe dwarskrachtregels
- Elementen met dwarskrachtwapening $V_{Rd,s}$
 - Aanleiding, achtergrond, formule
 - Evaluatie noodzaak nieuwe dwarskrachtregels
- Invloed maximale korrelafmeting + discussie



Normen en richtlijnen

- Nieuwbouw, dwarskrachtregels voor elementen **zonder** dwarskrachtwapening
 - NB NEN-EN1992-1-1+C2+A1/NB +A1+A2 (mei 2025)
 - Erratum ROK 2.0 t.b.v. dwarskrachtregelen (juli 2025)
- Bestaande bouw, dwarskrachtregels voor elementen **zonder en met** dwarskrachtwapening
 - RBK Wijzigingen en toevoegingen dwarskracht (september 2025)

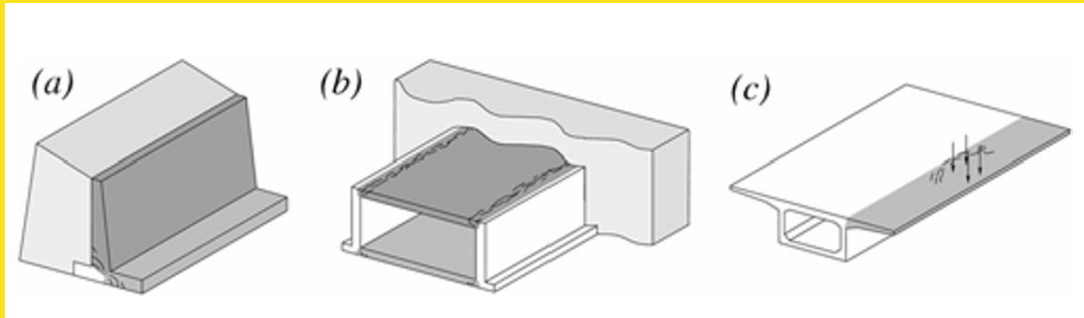


Errata te vinden op <https://rok.rwskennisbron.nl/index.php/Contract>) als RTD1001-E en RTD1006-E.



- Waar zijn nieuwe dwarskrachtregels vastgelegd?
- Elementen zonder dwarskrachtwapening $V_{Rd,c}$
 - Aanleiding, achtergrond, formule
 - Evaluatie noodzaak nieuwe dwarskrachtregels
- Elementen met dwarskrachtwapening $V_{Rd,s}$
 - Aanleiding, achtergrond, formule
 - Evaluatie noodzaak nieuwe dwarskrachtregels
- Invloed maximale korrelafmeting + discussie

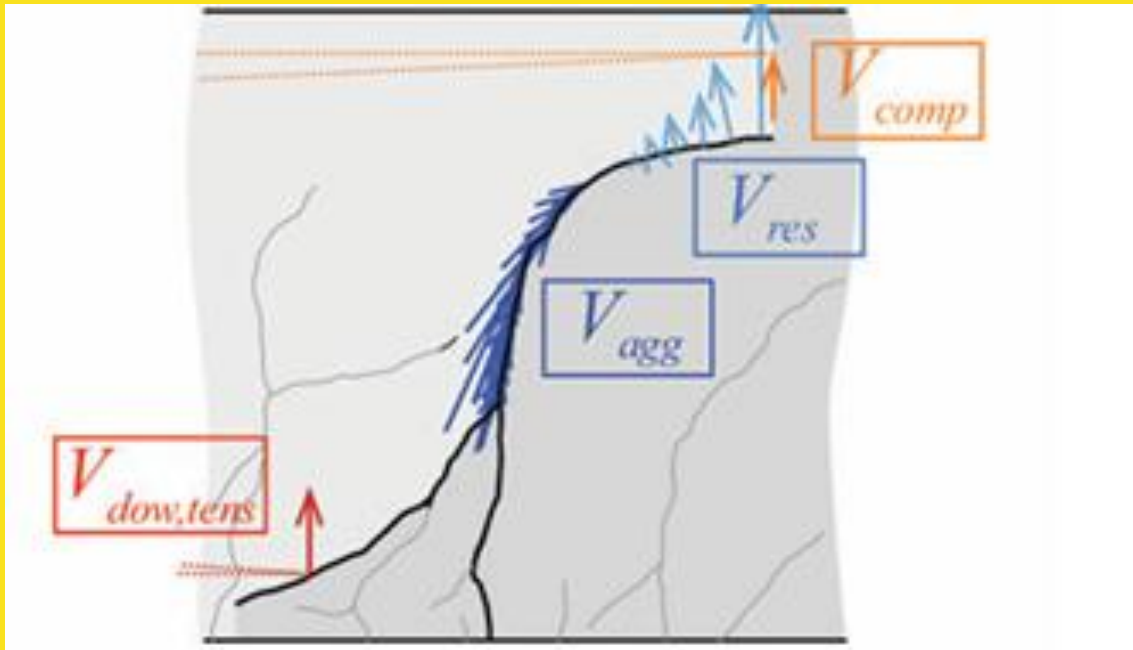
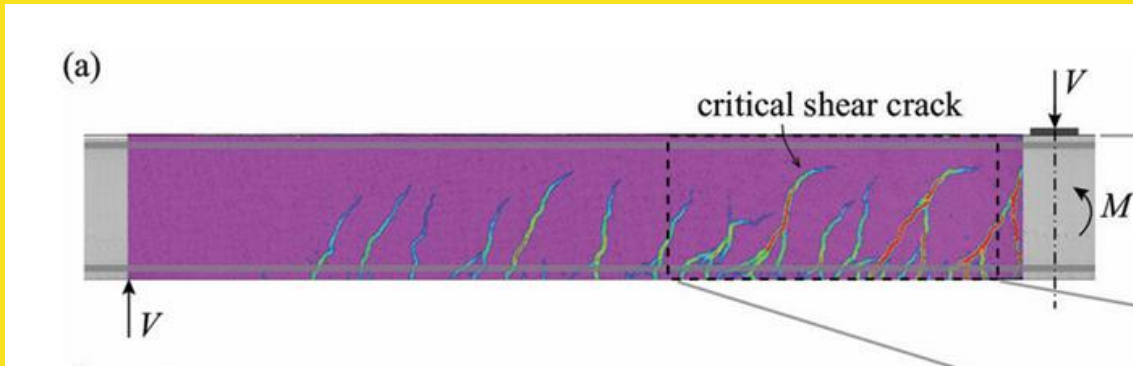
Elementen zonder dwarskrachtwapening



Aanleiding: beter rekening houden met invloed van

- Schaaleffect
- De dwarskrachtslankheid
- Maximale korrelafmeting

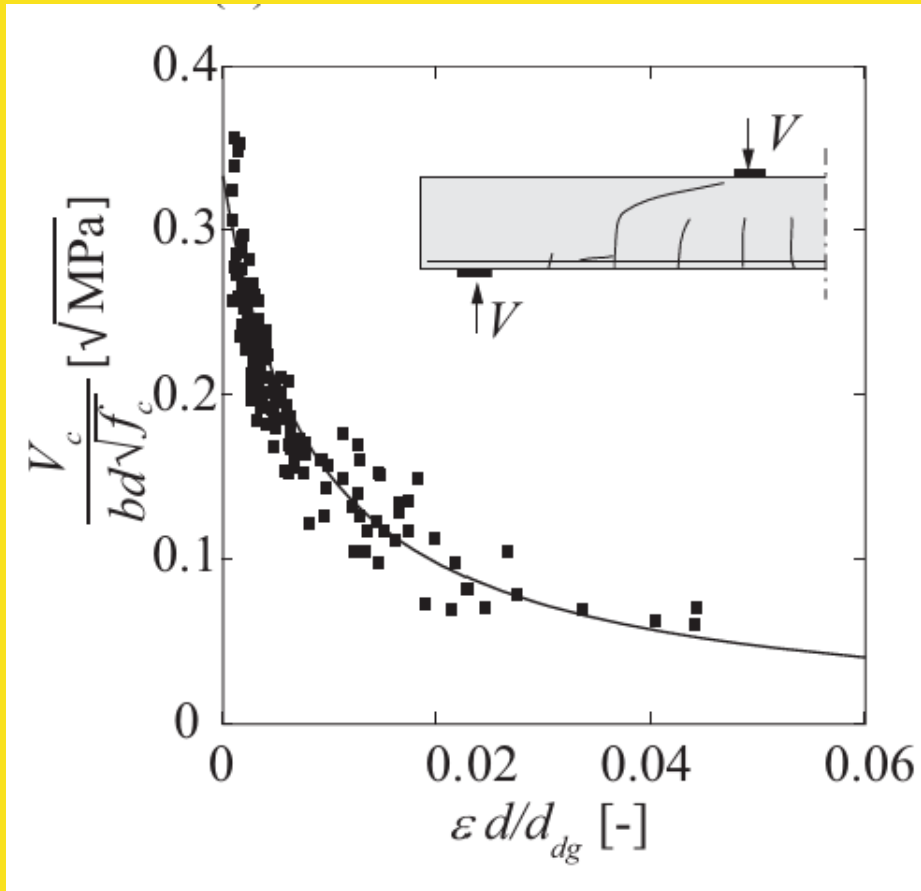
Van een empirisch model naar een model met fysische basis.



Basis nieuwe dwarskrachtregels

- Critical shear crack theory, kritische scheur verstoort overdrachtsmechanismen
- $V_{Rd,c}$ afhankelijk van:
 - de geometrie
 - de cilinderdruksterkte
 - de opening van de scheur
 - en de ruwheid van de scheur
- Theorie later gevalideerd met proevenserie 'Cavagnis'

Basis nieuwe dwarskrachtregels



- Critical shear crack theory is in basis een hyperbolische functie
- In formule nieuwe dwarskrachtregels is in plaats hiervan een 'gesloten formule' opgenomen



Formule nieuwe dwarskrachtregels

Invloed ruwheid scheur

$$V_{Rd,c} = \frac{0,64}{\gamma_c} k_{vd} \left(\frac{100 \rho_l \cdot d_{dg} \cdot f_{ck}}{k_{vp} \cdot a_v} \right)^{1/3} b_w \cdot d$$

Rekenwaarde

Schaaleffect

Invloed N_{Ed}

Invloed
schaaleffect
& effect
scheurwijdte

Een hogere dwarskrachtweerstand wordt gevonden bij:

- een hogere N_{Ed} (k_{vp})
- een lagere M_{Ed} (a_v)
- een grotere korrelafmeting (d_{dg})
- een lagere d (a_v , k_{vd})

Eenvoudige maar conservatieve invulling door $k_{vp} \cdot a_v$ te vervangen door d



Bestaande constructies

ROK/ NB A2 (2025)

$$V_{Rd,c} = \frac{0,64}{\gamma_c} k_{vd} \left(\frac{100 \rho_l \cdot d_{dg}}{k_{vp} \cdot a_v} \cdot f_{ck} \right)^{1/3} b_w \cdot d$$

RBK

$$V_{Rd,c} = k_{vd} \cdot k_{cap} \cdot \frac{0,64}{\gamma_c} \left(100 \rho_l \cdot f_{cl} \cdot \frac{d_{dg}}{k_b \cdot k_{vp} \cdot a_v} \right)^{1/3} \cdot b_{w,gem} \cdot d$$

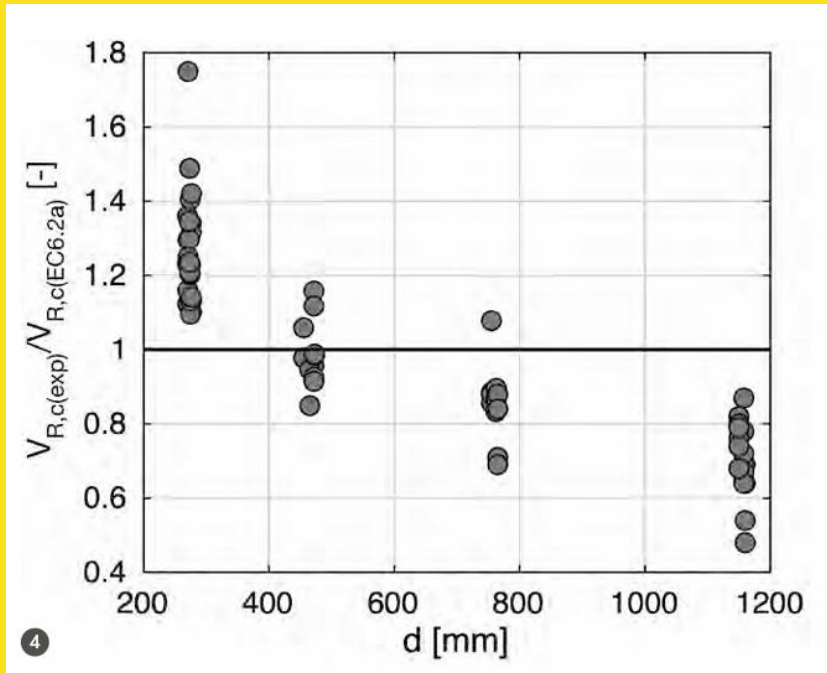
- Gunstige invloed plaatfactor (k_{cap})
- Gunstige invloed niet-rechthoekige doorsneden ($b_{w,gem}$)
- Ongunstige invloed glad staal (k_b)



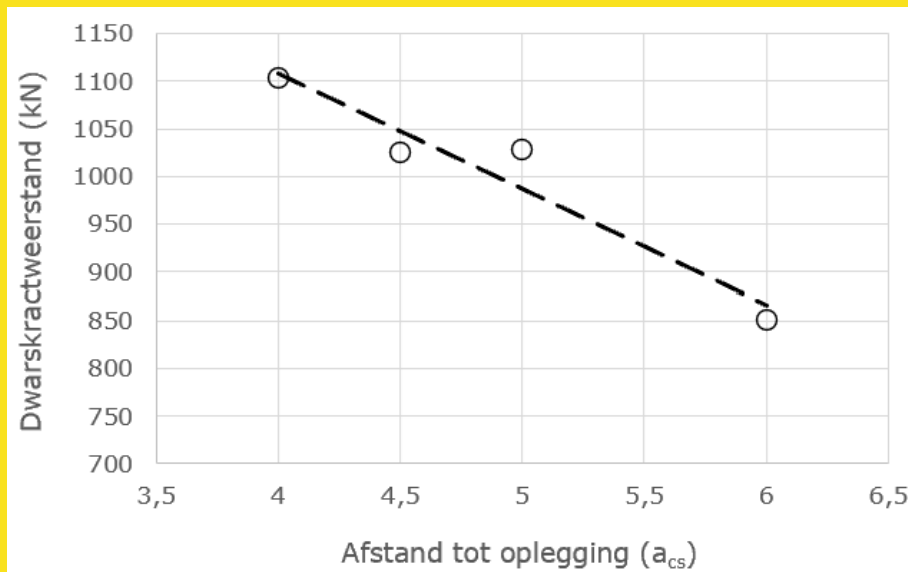
- Waar zijn nieuwe dwarskrachtregels vastgelegd?
- Elementen zonder dwarskrachtwapening $V_{Rd,c}$
 - Aanleiding, achtergrond, formule
 - Evaluatie noodzaak nieuwe dwarskrachtregels
- Elementen met dwarskrachtwapening $V_{Rd,s}$
 - Aanleiding, achtergrond, formule
 - Evaluatie noodzaak nieuwe dwarskrachtregels
- Invloed maximale korrelafmeting + discussie



Noodzaak nieuwe dwarskrachtregels



1^{ste} generatie EC2 houdt onvoldoende rekening met schaaleffect



$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d$$

Noodzaak nieuwe dwarskrachtregels

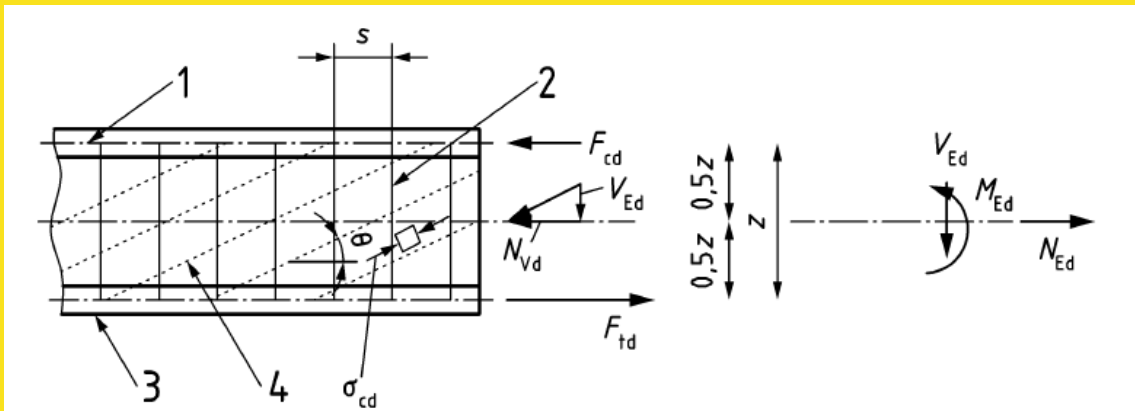
1^{ste} generatie EC2 kan invloed:

- dwarskrachtslankheid op $V_{Rd,c}$ overschatten
 - 1ste gen. EC2 $V_{Rd,c}$ constant bij toenemende slankheid
 - 2de gen. EC2 $V_{Rd,c}$ neemt af bij toenemende slankheid
- bijdrage N_{Ed} aan $V_{Rd,c}$ (15%) overschatten



- Waar zijn nieuwe dwarskrachtregels vastgelegd?
- Elementen zonder dwarskrachtwapening $V_{Rd,c}$
 - Aanleiding, achtergrond, formule
 - Evaluatie noodzaak nieuwe dwarskrachtregels
- **Elementen met dwarskrachtwapening $V_{Rd,s}$**
 - **Aanleiding, achtergrond, formule**
 - Evaluatie noodzaak nieuwe dwarskrachtregels
- Invloed maximale korrelafmeting + discussie

Elementen met dwarskrachtwapening



- Basis blijft: vakwerkmodel met variabele hoek
- Minimale hoek drukdiagonalen te conservatief voor voorgespannen liggers
- Op rek gebaseerde waarde voor v .



Elementen met dwarskrachtwapening

$$\cot\theta = \sqrt{\frac{\nu \cdot f_{cd}}{\rho_w \cdot f_{ywd}}} - 1 \geq 1$$

$$\nu = \frac{1}{1,0 + 110 \cdot (\varepsilon_x + (\varepsilon_x + 0,001) \cdot \cot^2\theta)} \leq 1,0$$

- Eenvoudige maar conservatieve rekenregel: $\cot\theta = 3$ bij $\sigma_{cp} \geq 3$ MPa.
- Uitgebreidere rekenregel: iteratief bepalen θ en ν .



- Waar zijn nieuwe dwarskrachtregels vastgelegd?
- Elementen zonder dwarskrachtwapening $V_{Rd,c}$
 - Aanleiding, achtergrond, formule
 - Evaluatie noodzaak nieuwe dwarskrachtregels
- **Elementen met dwarskrachtwapening $V_{Rd,s}$**
 - Aanleiding, achtergrond, formule
 - **Evaluatie noodzaak nieuwe dwarskrachtregels**
- Invloed maximale korrelafmeting + discussie



Validatie FprEN1992-1-1 dwarskrachtregels voor voorgespannen liggers met dwarskrachtwapening

Noodzaak nieuwe dwarskrachtregels

Geen noodzaak: de rekenregels
zijn minder conservatief

Waarom gaat RWS al over voor
bestaande kunstwerken?:

- één model voor $V_{Rd,c}$
- $V_{Rd,s}$ geeft voor voorgespannen liggers dezelfde dwarskrachtweerstand als oude RBK ($V_{Rd,c} + V_{Rd,s}$)
- geen aparte regel voor gebieden zonder buigscheuren
- aansluiting Europese regels

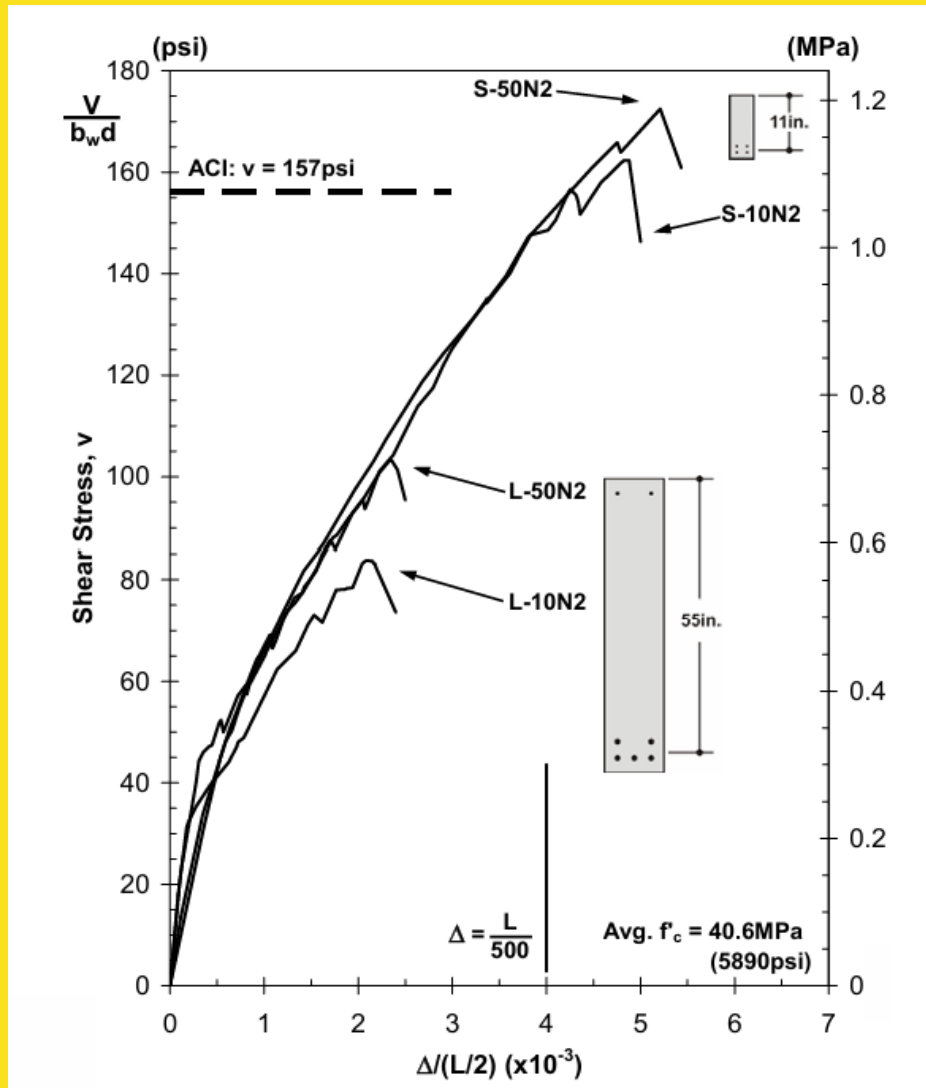


- Waar zijn nieuwe dwarskrachtregels vastgelegd?
- Elementen zonder dwarskrachtwapening $V_{Rd,c}$
 - Aanleiding, achtergrond, formule
 - Evaluatie noodzaak nieuwe dwarskrachtregels
- Elementen met dwarskrachtwapening $V_{Rd,s}$
 - Aanleiding, achtergrond, formule
 - Evaluatie noodzaak nieuwe dwarskrachtregels
- Invloed maximale korrelafmeting + discussie



Invloed maximale korrelafmeting

- Dwarskrachtweerstand voor elementen zonder dwarskrachtwapening afhankelijk maximale korrelafmeting
- Van minimaal 8 naar maximaal 24mm of hoger: 18% extra dwarskrachtweerstand
- Bij hogere cilinderdruksterktes (en lichtbeton) gaan scheuren door korrel
- Maximale korrelafmeting in norm via eisen aan zeefopening voor grofste korrelgroep





d_{dg} is een parameter die de ruwheid van het dwarskrachtscheurvlak weergeeft afhankelijk van de betonsterkteklasse en de toeslagmateriaaleigenschappen, in mm;

d_{dg} moet als volgt worden bepaald:

- $16 \text{ mm} + D_{\text{lower}} \leq 40 \text{ mm}$ voor beton waarvoor geldt $f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$;
- $16 \text{ mm} + D_{\text{lower}}(60/f_{ck})^2 \leq 40 \text{ mm}$ voor beton waarvoor geldt $f_{ck} > 60 \text{ MPa}$.

D	Grootste zeefopening voor een toeslagmateriaal aangeduid als korrelgroep d / D OPMERKING EN 12620 staat toe dat een gedefinieerd massapercentage uit deeltjes groter is dan ' D '.
D_{onder}	Kleinste waarde van D voor de grofste korrelgroep toeslagmateriaal in het beton dat is toegelaten volgens de specificatie van het beton
D_{boven}	Grootste waarde van D voor de grofste korrelgroep toeslagmateriaal in het beton dat is toegelaten volgens de specificatie van het beton
D_{max}	Opgegeven waarde van D voor de grofste korrelgroep toeslagmateriaal die daadwerkelijk wordt gebruikt in het beton

Het weerstandsmodel in vergelijking (NB 6.6.1) is gekalibreerd aan de hand van testen die zijn uitgevoerd met gebruikelijke gradaties voor beton vergelijkbaar met in Nederland gebruikelijke zeefkrommen. Het gebruik van een niet-typische gradatie toeslagmateriaal waarbij het percentage grootste grove toeslagmaterialen (D_{max}) in verhouding tot D_{lower} klein is, kan leiden tot ander constructief gedrag en overschatting van de dwarskrachtweerstand.

Eisen zeefopening grofste korrelgroep

- Eisen aan (minimale) waarde zeefopening grofste korrelgroep opgeven door constructeur ($D_{\text{onder}} / D_{\text{max}}$)
- Constructeur moet hierbij rekening houden met vrije ruimte tussen staven (D_{boven})
- Geen minimaal massapercentage deeltjes gedefinieerd, enkel gebruik 'gebruikelijke/typische gradaties'



Dilemma's maximale korrelafmeting

- Zouden constructeurs terughoudend moeten zijn met voorschrijven $D_{lower} > 8 \text{ mm}$.
- Zouden we meer invulling moeten geven aan het bepalen van een minimaal massapercentage deeltjes groter dan D_{max} ?