

# Technische Voorlichting 236

## Berekening van staalplaat- betonvloeren volgens Eurocode 4

Informatieavond

27 Januari 2010

Sint-Katelijne-Waver

dr. ir. Lincy Pyl

CAMPUS  
DE NAYER



Empowered by *Lessius* | ASSOCIATIE K.U. LEUVEN

# Algemeen

- Berekening volgens NBN EN 1994-1-1, Hoofdstuk 9  
*Composite slabs with profiled steel sheeting for buildings*
- Verwijzingen naar NBN EN 1992-1-1 en 1993-1-1
- Brand deel 1-2

CAMPUS  
DE NAYER

 infosteel

dr. ir. Lincy Pyl

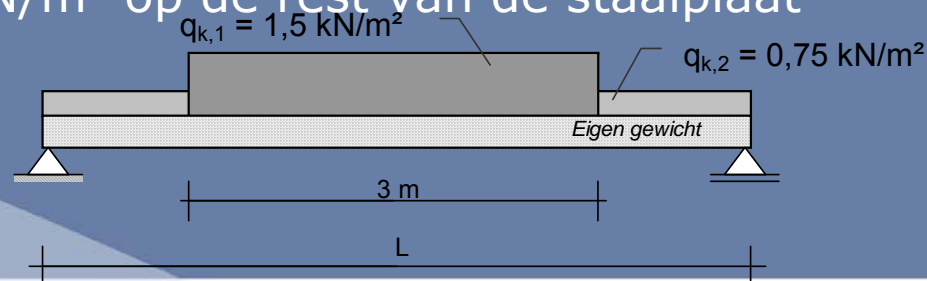
Empowered by *Lessius* | 

- Constructiefasen
  - Uitvoeringsfase (staalplaat als bekisting)
    - Zonder onderstempeling (spanwijdte 3 tot 4 m → voor grotere overspanningen onderstempeling of kinderbalken)
      - Uitvoeringsfase maatgevend
    - Met onderstempeling
      - Eindfase meestal maatgevend
  - Eindfase (staal-betonplaat als monolithisch geheel)
    - Opname van schuifkrachten in het contactvlak tussen beton en staal

- Fundamentele belastingscombinatie in uiterste grenstoestand (UGT) (NBN EN 1990)

$$\gamma_G \mathbf{G}_k + \gamma_{Q,1} \mathbf{Q}_{k,1} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} \mathbf{Q}_{k,i}$$

- Belastingen in uitvoeringsfase
  - Het eigen gewicht van de staalplaat
  - Het eigen gewicht van het verse beton en de wapening
  - Montagebelasting (materieel voor het betonstorten, uitvoerend personeel,...):
    - 1,5 kN/m<sup>2</sup> over 3x3 m<sup>2</sup> op de meest ongunstige positie
    - 0,75 kN/m<sup>2</sup> op de rest van de staalplaat



- Belastingen in uitvoeringsfase

- De belastingen van eventuele opslag
- 'Ponding effect' = extra belasting door de vermeerdering van de betondikte ten gevolge van het doorbuigen van de staalplaat in rekening te brengen als  $\delta_s \geq 0,1h$   
met  $\delta_s$  de doorbuiging van de platen in het midden onder hun eigen gewicht en het gewicht van het verse beton in de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT)

⇒ Nominale dikte vers beton vermeerderen met  $0,7 \delta_s$

- Toetsing van geprofileerde staalplaat als bekisting in UGT
  - Klasse 4 doorsnede → conform EN 1993-1-3
  - Gegevens platen verstrekt door plaatleveranciers
    - Weerstand tegen dwarskracht
    - Plastische momentcontrole
- Toetsing van geprofileerde staalplaat als bekisting in BGT
  - Karakteristieke belastingscombinatie (NBN EN 1990)

$$\sum_{j \geq 1} g_{kj} + q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{0i} q_{ki}$$

- Eigen gewicht staalplaat en gewicht betonspecie, excl. bouwbelastingen

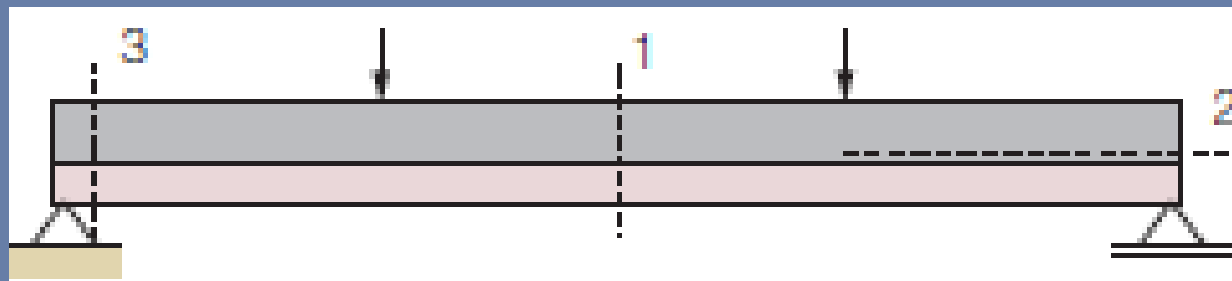
$$\delta_s \leq \delta_{s,max}$$

$$\delta_{s,max} = \frac{L}{180}$$

- Belastingen in eindfase (fundamentele combinatie)
  - Het eigen gewicht (staalplaat, wapening, beton)
  - De andere permanente belastingen
  - De reacties veroorzaakt door het verwijderen van (eventueel aanwezige) stempels tijdens het betonneren
  - De gebruiksbelastingen

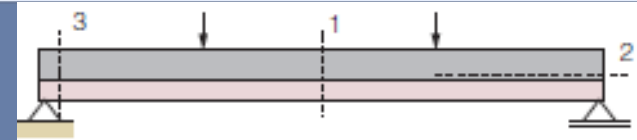
# Ontwerp van staalplaat- betonvloeren in UGT

- Bezwijkmechanismen
  - door buiging (snede 1)
  - door de afschuifkrachten in de langsrichting aan het contactoppervlak tussen de staalplaat en het beton (snede 2)
  - door verticale afschuiving in de onmiddellijke omgeving van de opleggingen tengevolge van de dwarskrachten die op deze plaats optreden (snede 3)



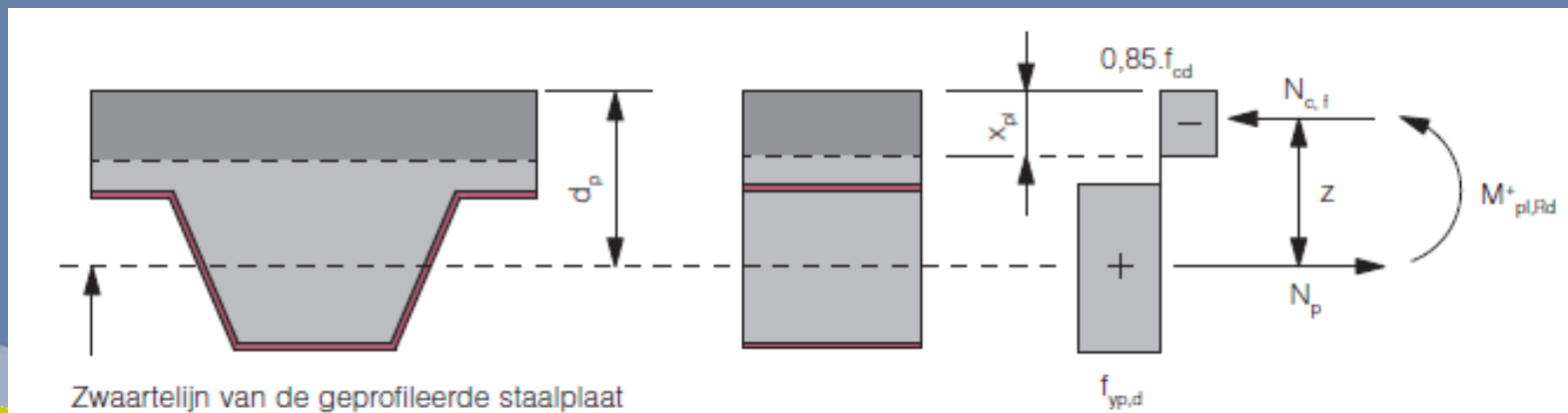
# Ontwerp van staalplaat-betonvloeren in UGT

- Buiging (bezwijkmechanisme 1)
  - Star-plastisch gedrag van beton en staal
  - Volledig schuifsterke verbinding tussen beton en staal



$$M_{pl,Rd}^+ \geq M_{Ed}^+ \text{ (veld)}$$

$$M_{pl,Rd}^- \geq M_{Ed}^- \text{ (steunpunt)}$$



CAMPUS  
DE NAYER

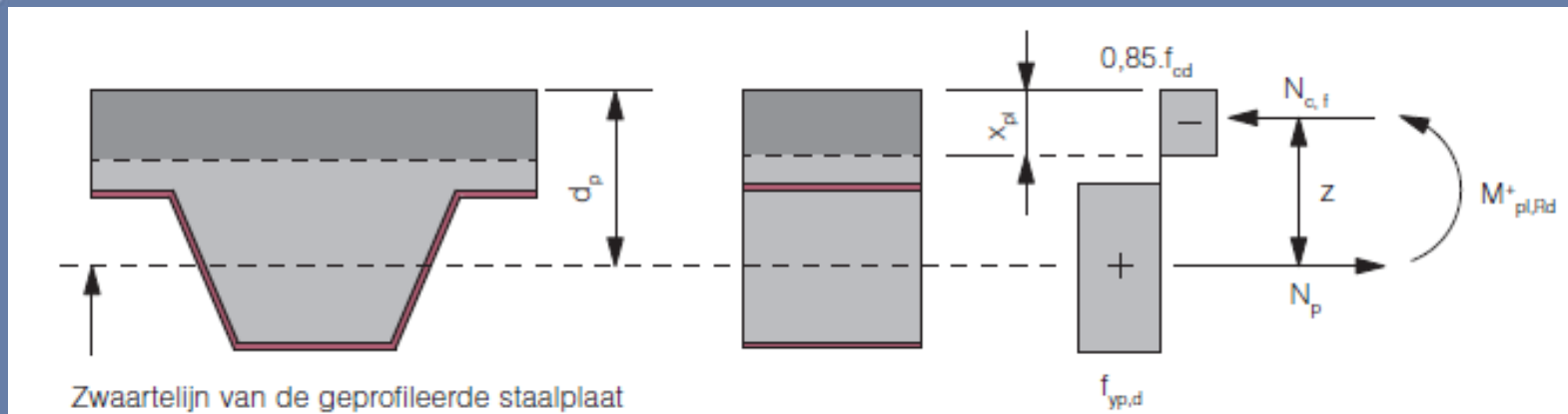


dr. ir. Lincy Pyl

Empowered by *Lessius* | ASSOCIATIE KULLEUVEN

# Ontwerp van staalplaat- betonvloeren in UGT

- Positieve momentweerstand  $M_{pl,Rd}^+$  (veld)
  - Neutrale lijn in het beton



(index f: full connection = volledig schuifsterke verbinding)

$$N_{c,f} = 0,85 f_{cd} b x_{pl}$$

$$N_p = A_p f_{yp,d}$$

CAMPUS  
DE NAYER



dr. ir. Lincy Pyl

Empowered by *Lessius* | ASSOCIATIE KULLEUVEN

# Ontwerp van staalplaat- betonvloeren in UGT

- Neutrale lijn in het beton (*vervolg*)

- Langsevenwicht

$$N_{c,f} = N_p$$

$$\Rightarrow x_{pl} = \frac{A_p f_{yp,d}}{0,85 f_{cd} b}$$

- Hefboomsarm

$$z = d_p - \frac{x_{pl}}{2}$$

- Plastische momentweerstand van de staal-betonddoorsnede

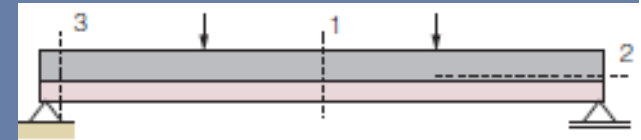
$$M_{pl,Rd}^+ = N_{c,f} (d_p - 0,5x_{pl})$$

- Neutrale lijn in de staalplaat
- Negatieve momentweerstand

# Ontwerp van staalplaat-betonvloeren in UGT

- Afschuifkracht in langsrichting (bezwijkmechanisme 2)
  - m-k methode:

$$V_{I,Rd} = \frac{bd_p}{\gamma_{vs}} \left( \frac{mA_p}{bL_s} + k \right) \geq V_{Ed}$$



- m en k: experimenteel bepaald  
waarden opgegeven door de staalplaatfabrikant  
[N/mm<sup>2</sup>]
- d<sub>p</sub>: ligging zwaartelijns staalplaat tov de meest gedrukte  
betonvezel [mm]
- A<sub>p</sub>: dwarsdoorsnede van de staalplaat [mm<sup>2</sup>]
- L<sub>s</sub>: te beschouwen afschuiflengte [mm]
- γ<sub>vs</sub>: = 1,25 partiële veiligheidscoëfficiënt van de  
afschuifverbinding

# Ontwerp van staalplaat-betonvloeren in UGT

- Afschuifkracht in langsricting (vervolg)

- m-k methode:

- Buiging

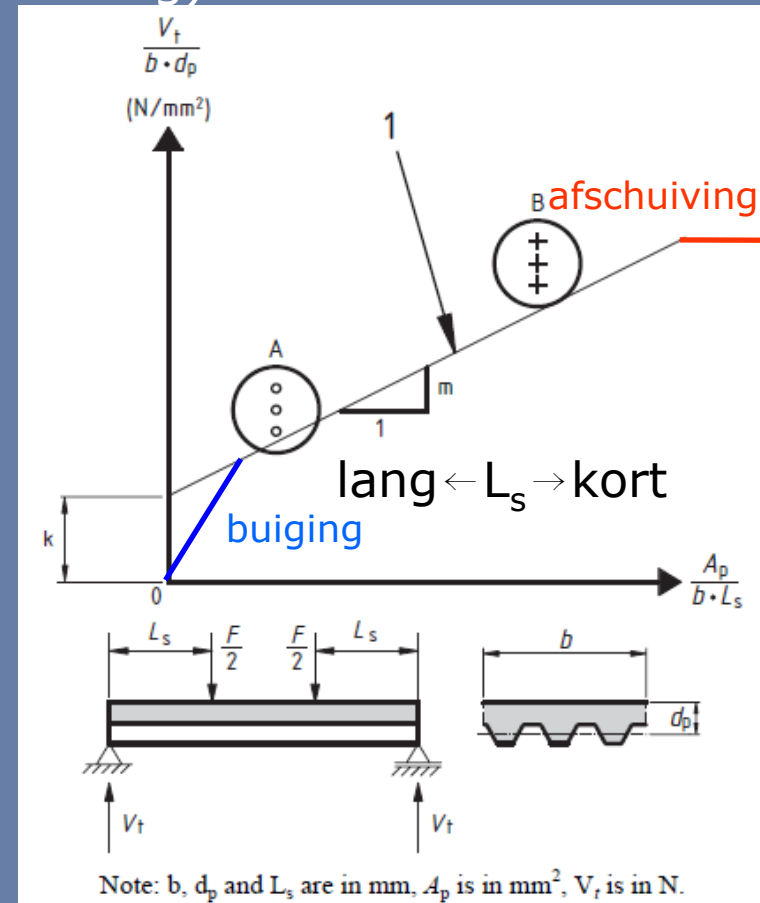
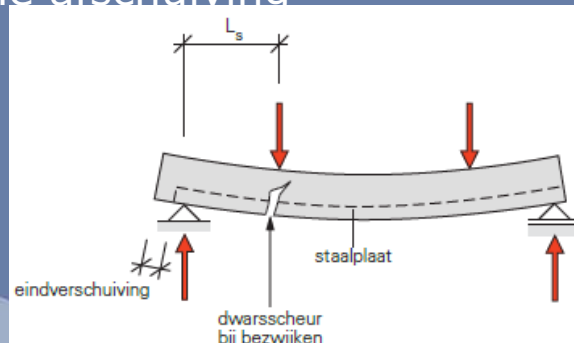
$$M_u = V_t \cdot L_s$$

$$M_u \approx A_p f_{yp} d_p$$

$$\Rightarrow \frac{V_t}{b d_p} = \frac{M_u}{b d_p L_s} \approx \frac{A_p f_{yp}}{b L_s}$$

- Horizontale afschuiving

$$\frac{V_t}{b d_p} = m \left( \frac{A_p}{b L_s} \right) + k$$

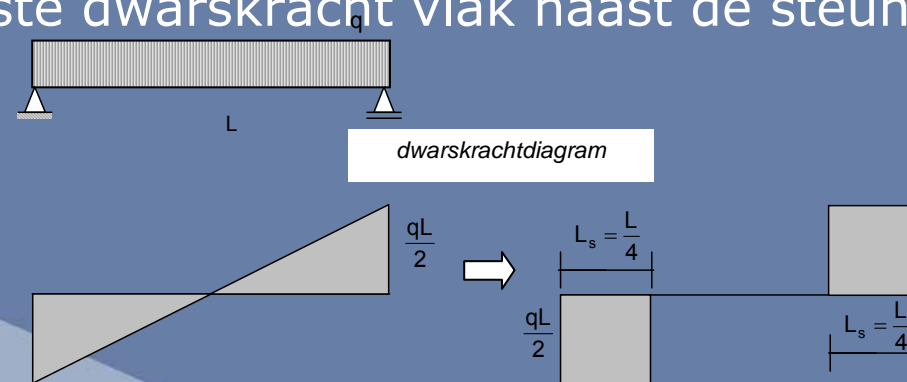


dr. ir. Lincy Pyl



# Ontwerp van staalplaat- betonvloeren in UGT

- m-k methode (vervolg):
  - Te beschouwen afschuiflengte  $L_s$ 
    - $L/4$  bij een gelijkmatig verdeelde belasting over de gehele overspanningslengte
    - de afstand tussen de aangebrachte belasting en het dichtstbijzijnde steunpunt bij twee gelijke, symmetrisch geplaatste belastingen
  - combinatie van gelijkmatig verdeelde belastingen en asymmetrische puntlasten: voor de beschouwde overspanning het maximale moment te delen door de grootste dwarskracht vlak naast de steunpunten



# Ontwerp van staalplaat- betonvloeren in UGT

- m-k methode (vervolg):
  - Te beschouwen afschuiflengte  $L_s$ 
    - In geval van vrij opgelegde vloeren is  $L$  de lengte van de overspanning
    - Staalplaat-betonvloer beschouwd als doorgaande vloerplaat → uitgaan van equivalente isostatische overspanning met lengte:
      - » Eindoverspanning :  $L \rightarrow 0,9L$
      - » Tussenoverspanning :  $L \rightarrow 0,8L$

CAMPUS  
DE NAYER

 infosteel

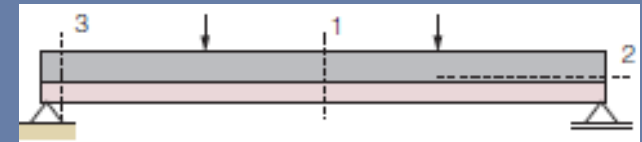
dr. ir. Lincy Pyl

Empowered by *Lessius* | 

# Ontwerp van staalplaat-betonvloeren in UGT

- Verticale afschuiving (bezwijkmechanisme 3)
  - Dwarskrachtcontrole - volgens NBN EN 1992-1-1

$$V_{v,Rd} \geq V_{Ed}$$



- Weerstand tegen dwarskracht ter hoogte van een eindsteunpunt

$$V_{v,Rd} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} \frac{b}{b_s} b_0 d_p$$

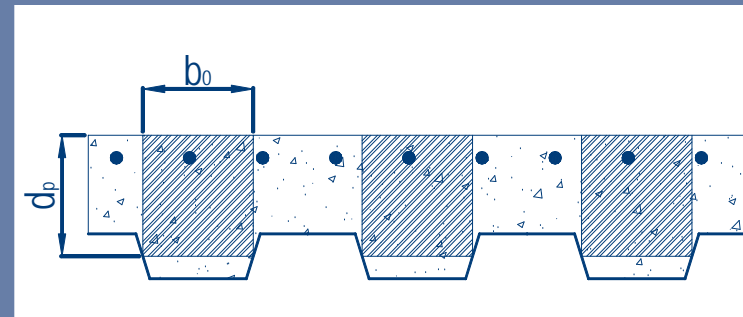
met

$$V_{v,Rd,min} = V_{min} \frac{b}{b_s} b_0 d_p$$

$$V_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \text{ met } f_{ck} \text{ in N/mm}^2$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_p}} \leq 2,0 \text{ met } d_p \text{ in mm}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12 \text{ voor } \gamma_c = 1,5 \quad \rho_l = \frac{A_p}{bd_p} \leq 0,02$$



CAMPUS  
DE NAYER

 infosteel

dr. ir. Lincy Pyl

Empowered by  | 



# Controle van staalplaat- betonvloeren in BGT

- Scheurvorming

- In zones met negatieve buiging
- Scheurwijdte wordt gecontroleerd onder de quasi-blijvende belastingscombinatie (NBN EN 1992-1-1 7.3)
- Geen controle nodig als
  - $h \leq 200$  mm en  $A_s \geq A_{s,min}$

$$A_s \geq A_{s,min} = 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d \geq 0,0013 b_t d$$

- Controle zonder directe berekeningen
  - Maximum staafdiameter NBN EN1992-1-1 7.3.3(2) Tabel 7.2N
  - Maximum afstand tussen de staven NBN EN1992-1-1 7.3.3(2) Tabel 7.3N
- Voor normale toepassingen wordt een maximale scheurwijdte van 0,3 mm vooropgesteld
- Berekening (EN 1992-1-1 7.3.4)

CAMPUS  
DE NAYER



dr. ir. Lincy Pyl

Empowered by *Lessius* | ASSOCIATIE KULLEUVEN

# Controle van staalplaat- betonvloeren in BGT

- Doorbuiging (NBN EN 1994-1-1 9.8.2(4))
  - Moet niet expliciet gecontroleerd worden als voldaan wordt aan:
    - een minimale verhouding tussen hoogte en overspanning (NBN EN 1992-1-1 7.4.2)

$$\frac{L}{d_p} \leq k$$

Constructief systeem	k
Eenvoudig opgelegde plaat	20
Eindveld van een doorlopende plaat	26
Tussenveld van een doorlopende plaat	30

- eis met betrekking tot verschuiving van de uiteinden die verwijst naar proefondervindelijke resultaten
  - Zelden voldaan

CAMPUS  
DE NAYER

 infosteel

dr. ir. Lincy Pyl

Empowered by *Lessius* | 

# Controle van staalplaat- betonvloeren in BGT

- Doorbuiging (vervolg)

- Berekening

- Karakteristieke belastingscombinatie (NBN EN 1990)

- blijvende belastingen (met uitzondering van het eigengewicht van de staalplaat en het beton)

- veranderlijke belastingen

- eventuele stempelkrachten

- Grenswaarden doorbuiging conform NBN B 03-003 (2003)

$$\delta \leq \delta_{\max} \quad (\text{zonder } \delta_s !)$$

- L/500 voor een vloerbekleding van grote afmetingen of stevig bevestigd,

- L/350 voor een vloerbekleding van kleine afmetingen of zo bevestigd dat de vervorming van de ondersteuning niet geheel overgedragen op de bekleding,

- L/250 voor een soepele bekleding

CAMPUS  
DE NAYER

 infosteel

dr. ir. Lincy Pyl

Empowered by *Lessius* | ASSOCIATIE KULLEVEN

# Controle van staalplaat- betonvloeren in BGT

- Doorbuiging (vervolg)
  - Equivalente staaldoorsnede:

$$A_i = \frac{A_{c,i}}{n} + \sum A_s + A_p$$

met

n: verhouding van elasticiteitsmoduli van staal en beton

$A_c$ : betonddoorsnede

$A_s$ : dwarsdoorsnede wapeningsstaal

$A_p$ : dwarsdoorsnede staalplaat

CAMPUS  
DE NAYER

 infosteel

dr. ir. Lincy Pyl

Empowered by *Lessius* | 

# Controle van staalplaat- betonvloeren in BGT

- Doorbuiging (vervolg)

- Twee uitgangspunten:

- De buigstijfheid is over de gehele lengte constant en is het gemiddelde van de buigstijfheid van de gescheurde ( $I_2^+$ : veld,  $I_2^-$ : tussensteunpunt) en de niet-gescheurde betondoorsnede ( $I_1$ )

$$I_{gem}^+ = \frac{I_1 + I_2^+}{2} \text{ veld} \quad I_{gem}^- = \frac{I_1 + I_2^-}{2} \text{ tussensteunpunt}$$

- Het tijdsafhankelijk gedrag van beton wordt in rekening gebracht op basis van de totale belasting door uit te gaan van een verhouding  $n$  van de moduli, die het gemiddelde is van de  $n$ -waarde voor de korte en voor de lange duur:

$$n = \frac{n_0 + n_\infty}{2} \quad n_0 = \frac{E_a}{E_{cm}}$$

–De voorgestelde formule in NBN EN 1994-1-1 5.4.2.2(1) voor de verhouding  $n_\infty$  van de moduli voor lange duur is ingewikkeld en hangt af van een aantal parameters zoals de vochtigheidsgraad en de ouderdom bij belasten. Ter vereenvoudiging wordt hier een forfaitaire waarde voorgesteld:

$$n_\infty = \frac{E_a}{E_{cm} / 3}$$

CAMPUS  
DE NAYER

 infosteel

dr. ir. Lincy Pyl

Empowered by  

# Controle van staalplaat- betonvloeren in BGT

Tetra-project TRICON  
P. Van den Broeck

- Dynamische controle

- Belangrijkste trillingsbronnen: stappen, gesynchroniseerde menselijke bewegingen, machines, windbelastingen en grondtrillingen tengevolge van het verkeer
- Bij grote spanwijdtes leidt de toepassing van staalplaat-betonvloeren tot lichte constructies met een lage eigenfrequentie en een geringe demping
- Bij dergelijke grote spanwijdtes → controle van het trillingsgedrag
- EN 1994-1-1 verwijst hiervoor naar EN 1990 A1.4.4
- De eigenfrequentie met betrekking tot trillingen van de constructie of constructie-element dient hoger te zijn dan gepaste waarden (afhankelijk van de functie van het gebouw, van de bron van trillingen, en afgesproken met de cliënt en/of de relevante overheid)
- Indien de eigenfrequentie lager is dan de gepaste waarde → meer verfijnde analyse van de dynamische respons van de constructie, met inbegrip van de demping
- Waarts P. H.
  - Trillingen van vloeren door lopen. Richtlijn voor het voorspellen, meten en beoordelen. Rotterdam, SBR, 2005
- ArcelorMittal
  - Design guide for floor vibrations. Luxemburg, ArcelorMittal, 2008.

CAMPUS  
DE NAYER



dr. ir. Lincy Pyl

Empowered by *Lessius* | ASSOCIATIE K.U. LEUVEN

# Brandwerendheid van een staalplaat-betonvloer

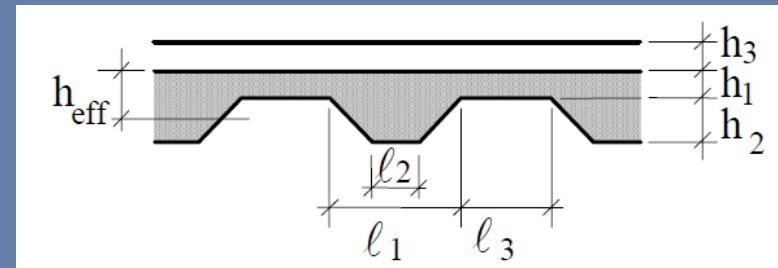
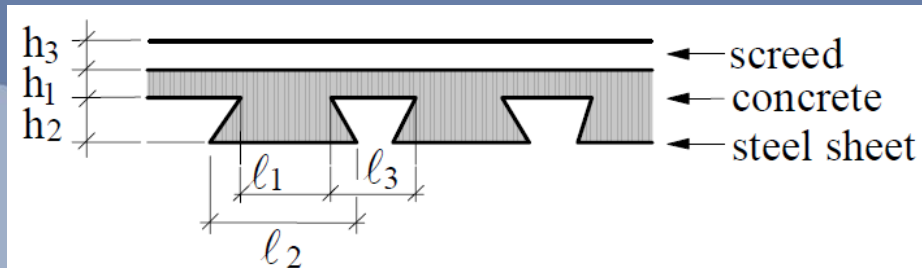
- De brandwerendheid van een staalplaat-betonvloer waarvan de onderzijde onderworpen wordt aan een standaardbrand moet beoordeeld worden volgens § 4.3 en bijlage D van de norm NBN EN 1994-1-2
- Toepassingsgebied onbeschermd staalplaat-betonvloeren

## for re-entrant steel sheet profiles

$77,0$	$\leq$	$l_1$	$\leq$	$135,0$	mm
$110,0$	$\leq$	$l_2$	$\leq$	$150,0$	mm
$38,5$	$\leq$	$l_3$	$\leq$	$97,5$	mm
$50,0$	$\leq$	$h_1$	$\leq$	$130,0$	mm
$30,0$	$\leq$	$h_2$	$\leq$	$60,0$	mm

## for trapezoidal steel sheet profiles

$80,0$	$\leq$	$l_1$	$\leq$	$155,0$	mm
$32,0$	$\leq$	$l_2$	$\leq$	$132,0$	mm
$40,0$	$\leq$	$l_3$	$\leq$	$115,0$	mm
$50,0$	$\leq$	$h_1$	$\leq$	$125,0$	mm
$50,0$	$\leq$	$h_2$	$\leq$	$100,0$	mm



# Brandwerendheid van een staalplaat-betonvloer

- Accidentele of buitengewone belastingscombinatie (ontwerp in UGT)

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + "A_d" + "( \psi_{1,1} \text{ of } \psi_{2,1} ) Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \right\}$$

- Bij een berekening in overeenstemming met NBN EN 1994-1-1, is de brandwerendheid van staalplaat-betonvloeren, met of zonder extra wapening, tenminste 30 minuten, indien vastgesteld voor het draagvermogen criterium "R"

CAMPUS  
DE NAYER



dr. ir. Lincy Pyl

Empowered by *Lessius* | ASSOCIATIE KULLEVEN

# Brandwerendheid van een staalplaat-betonvloer

- Integriteit "E"
  - Men gaat ervan uit dat aan het brandwerendheids criterium 'E' inzake integriteit voldaan is, omwille van het feit dat de staalplaat-betonvloer een uitstekende gas- en vlamdichtheid

CAMPUS  
DE NAYER

 infosteel

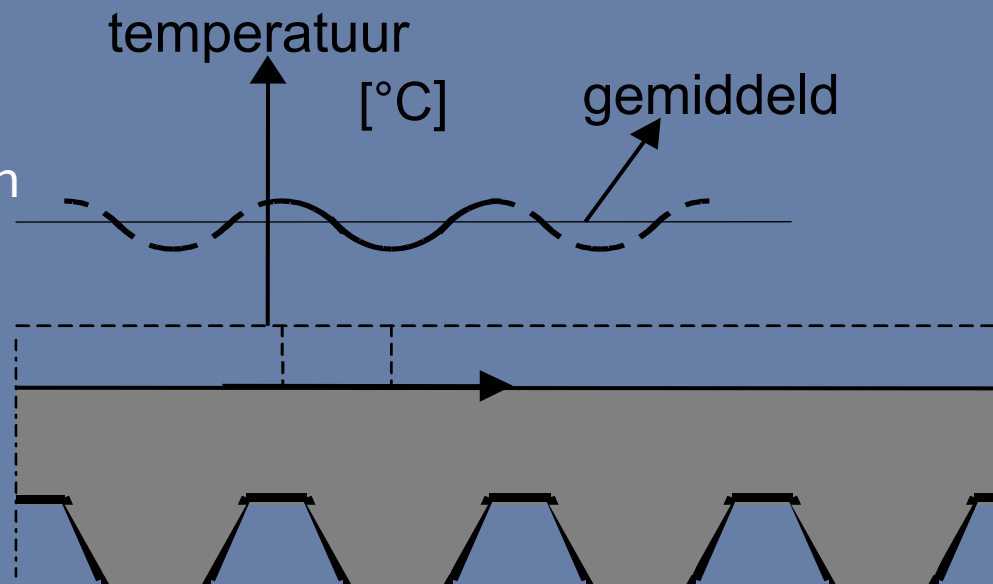
dr. ir. Lincy Pyl

Empowered by *Lessius* | 

# Brandwerendheid van een staalplaat-betonvloer

- Isolatiecriterium "I"
  - gemiddelde temperatuurtoename ( $140^{\circ}\text{C}$ )
  - maximale temperatuurtoename ( $180^{\circ}\text{C}$ )

temperatuurverdeling aan de NIET-verhitte zijde



CAMPUS  
DE NAYER

 infosteel

dr. ir. Lincy Pyl

Empowered by *Lessius* | 

# Brandwerendheid van een staalplaat-betonvloer

- Isolatiecriterium "I"

- De resultaten zijn geanalyseerd met behulp van lineaire regressie:

$$t_i = a_0 + a_1 h_1 + a_2 \phi + a_3 A/L_r + a_4 1/L_3 + a_5 A/L_r 1/L_3 \quad [\text{min}]$$

- Parameters:

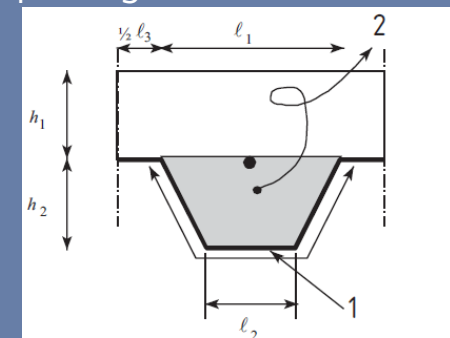
$A/L_r$ : rib geometrie-factor

$\phi$ : zichtfactor voor de bovenflens vd staalplaat

$h_1$ : hoogte van de betonplaat

$l_3$ : breedte van de bovenflens

$a_i$ : regressiecoëfficiënten



Verklaring

1 – Blootgesteld oppervlak:  $L_r$

2 – Oppervlakte:  $A$

	$a_0$ [min]	$a_1$ [min/mm]	$a_2$ [min]	$a_3$ [min/mm]	$a_4$ [mm min]	$a_5$ [min]
Normaal beton	-28,8	1,55	-12,6	0,33	-735	48,0
Lichtbeton	-79,2	2,18	-2,44	0,56	-542	52,3

- Alternatief: minimale effectieve dikte ifv brandwerendheidseis

CAMPUS  
DE NAYER

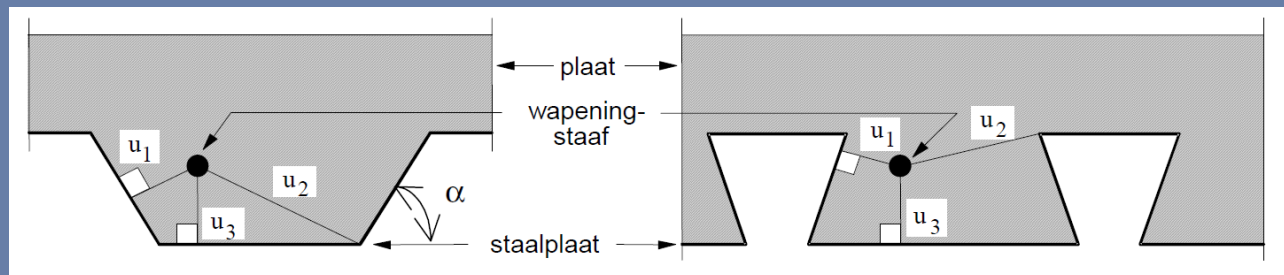
infosteel

dr. ir. Lincy Pyl

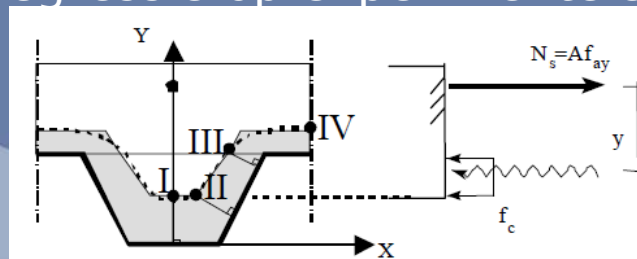
Empowered by Lessius | ASSOCIATIE KULLEVEN

# Brandwerendheid van een staalplaat-betonvloer

- Draagvermogenscriterium "R"
  - Positieve buigweerstand  $M_{fi,Rd}^+$  halverwege de overspanning
    - Temperatuur in de wapening, delen staalplaat bepalen mbv formules afgeleid uit lineaire regressie op experimentele resultaten
    - Gereduceerde sterkte eigenschappen



- Negatieve buigweerstand  $M_{fi,Rd}^-$  ter hoogte van de steunpunten
  - Grenswaarde temperatuur bepalen mbv formules afgeleid uit lineaire regressie op experimentele resultaten



CAMPUS  
DE NAYER

infosteel

dr. ir. Lincy Pyl

Empowered by *Lessius* | ASSOCIATIE KULLEUVEN

- Dank voor uw aandacht !

CAMPUS  
DE NAYER

 infosteel

dr. ir. Lincy Pyl

Empowered by *Lessius* | 