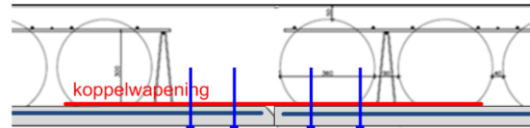




Adviesbureau ir. J.G. Hageman B.V.

Versterken breedplaatvloeren met korte ankers



Seminar Breedplaatvloeren

18 September 2019

Dick Hordijk



Advisering op het gebied van constructies voor gebouwen en civiele werken

Task Force Versterken Breedplaatvloeren

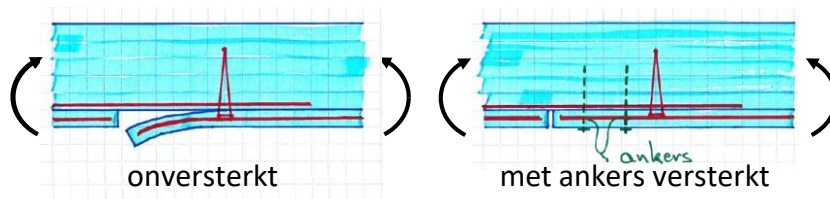


- Start: oktober 2017
- Initiatief van **BAM Bouw en Techniek**
- Samenstelling:

- Vincent van der Wal	BAM Advies & Engineering
- René Sterken	BAM Advies & Engineering
- Jeroen van Driel	BAM Advies & Engineering
- Marjan Vos-Pols	Hilti Nederland B.V.
- Martijn van de Craats	Hilti Nederland B.V.
- Mark Verbaten	ABT
- Johan Galjaard	ABT
- Arno Melssen	Van Rossum Raadgevende Ingenieurs
- Laurens Ensink	Adviesbureau ir. J.G. Hageman B.V.
- Dick Hordijk	Adviesbureau ir. J.G. Hageman B.V.



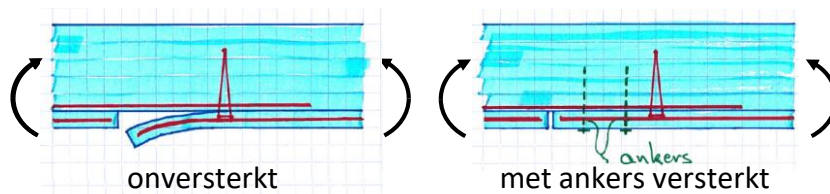
Basisgedachte versterking met korte ankers



3



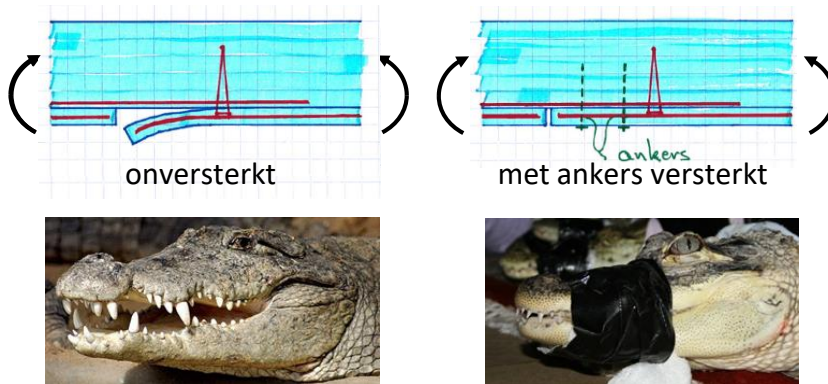
Basisgedachte versterking met korte ankers



4



Basisgedachte versterking met korte ankers



- Mobiliseren afschuifcapaciteit aansluitvlak voor tralieligger (*adhesie*)
- Extra afschuifcapaciteit (*wrijving en deuvewerking*) door ankers

5



Hoe versterken en hoe rekenen?

- Diverse vragen:
 - Waar ankers plaatsen?
 - Hoeveel ankers nodig?
 - Hoe lang moeten de ankers zijn?
 - Wat is het effect van de staalkwaliteit?
 - enz.
- Onderzoek
 - Experimenteel (*Structures Laboratory TU Eindhoven*)
 - Numeriek (*EEM*)
- Analyse
 - Aansluiting bij rekenregels in Eurocode 2

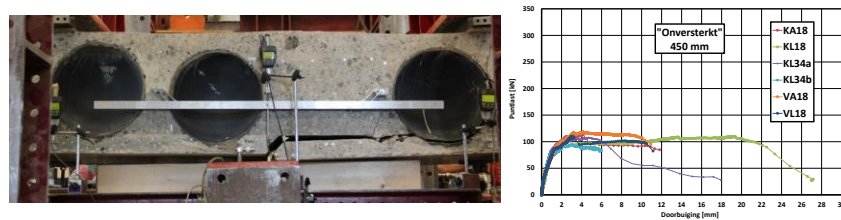
Eerste resultaten:
Cement 2019-1

6



Proeven met "volledige" versterking

- Proeven 2017: "Onderzoek naar oorzaak gedeeltelijk bezwijken parkeergarage Airport Eindhoven"



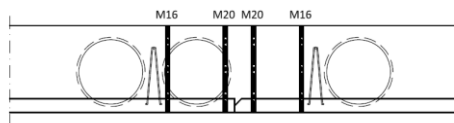
- Drie proefstukken over; gebruikt voor eerste verkennende "relatief zware" versterkingen

7

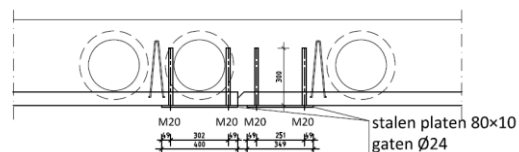


Proeven met "volledige" versterking

- Ankers door en door en voorgespannen



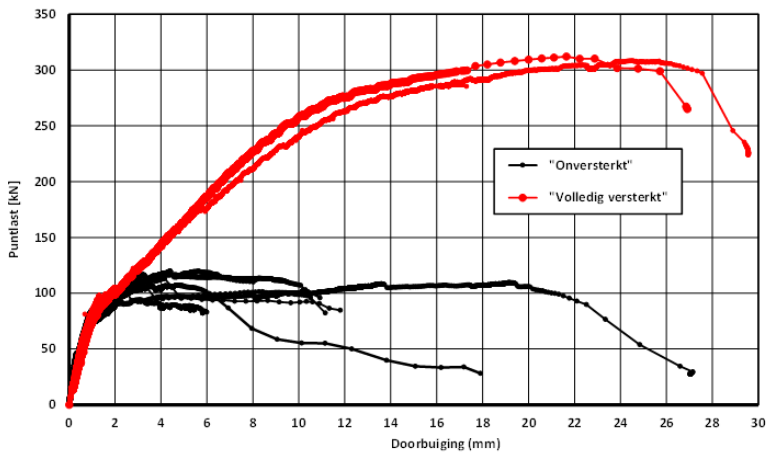
- Zware lijmankers met stalen strip



8



Proeven met "volledige" versterking



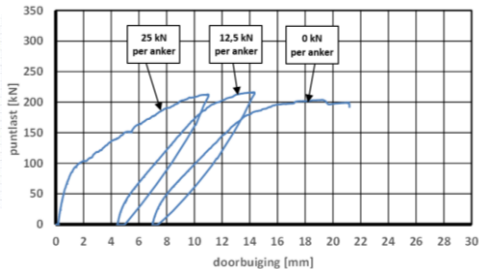
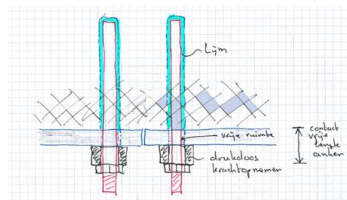
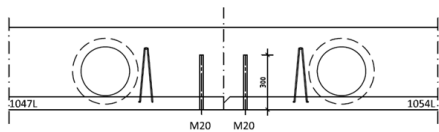
Resultaat:
- Vloeien wapening
- "Volledig versterkt"



Proeven met "volledige" versterking

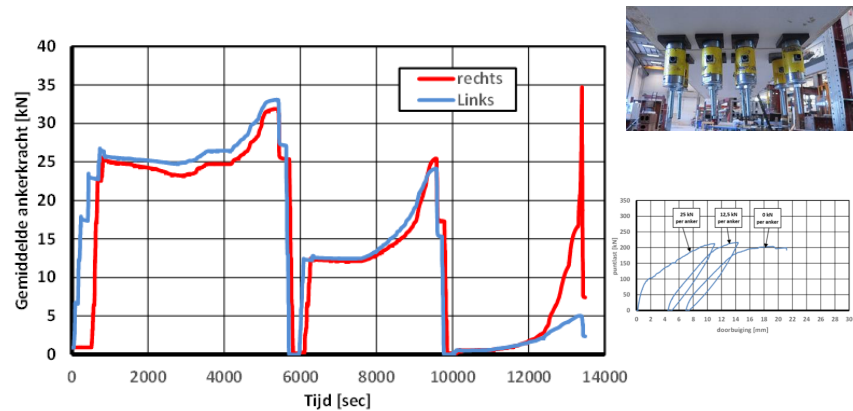


- "Special" met registratie van kracht in de ankers



Proeven met "volledige" versterking

- "Special" met registratie van kracht in de ankers



11



Versterking met korte ankers

- Toegepaste variabelen

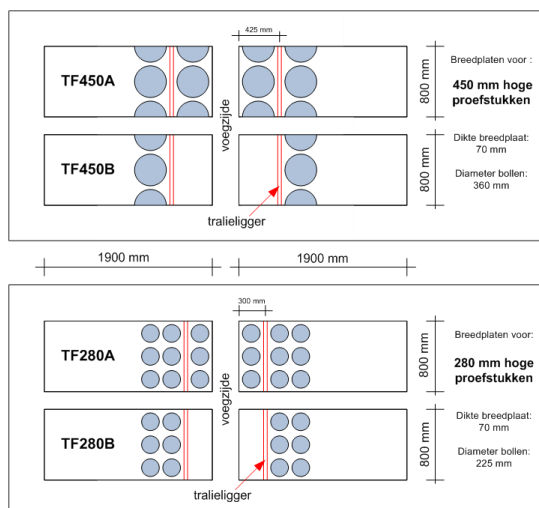
Variabele			Opmerkingen
Proefstukhoogte	450 mm	280 mm	Dikte breedplaat: 70 mm
Bollenconfiguratie	Bollen tot aan voeg	Tussen voeg en tra- lieligger geen bollen	
Ankers	Lijmanker HAS-M 12	Schroefanker HUS 14 x 150	Lengte ankers: - HUS 14 schroefanker: 150 mm - Lijmankers veelal 220 mm

12



Versterking met korte ankers

- Toegepaste proefstukken



13



Versterking met korte ankers

- Productie proefstukken in hal in Culemborg



Productie proefstukken:
Jan de Goede BAM

14



Versterking met korte ankers

- Productie proefstukken in hal in Culemborg



15



Versterking met korte ankers

- Verkennende **trek**- en afschuifproeven bij Hilti in Schaan



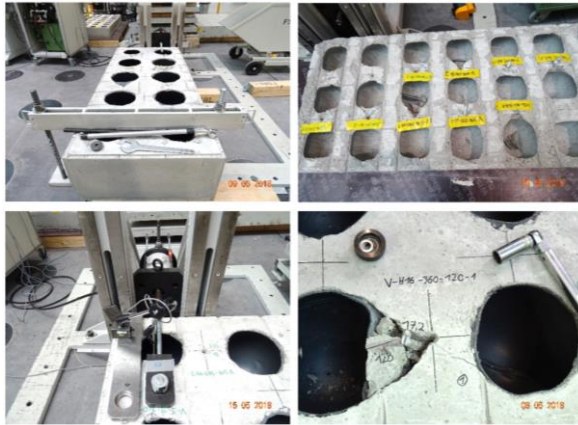
Proeven op ankers in het beton
van de druklaag van restanten
van de parkeergarage
Eindhoven Airport

16



Versterking met korte ankers

- Verkennende trek- en **afschuif**proeven bij Hilti in Schaan



17



Versterking met korte ankers

- Plaatsingsproef schroefankers



Controle op loskomen aansluitvlak bij plaatsen schroefanker: **Treedt niet op!**

18



Resultaten eerste proevenseries

- Druksterkte proevenserie 2018-1

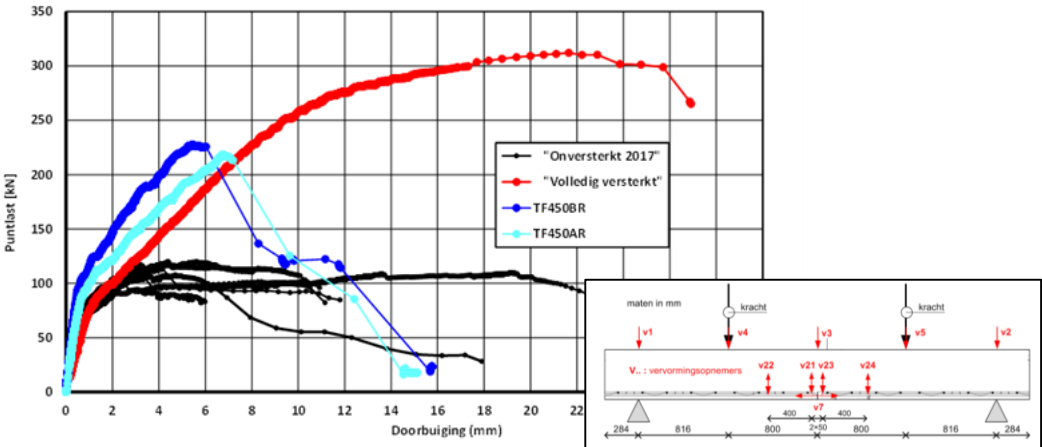
proefstuk	datum beproeving	breedplaat			druklaag		
		Ouderdom (dagen)	kubus-drusterkte [N/mm²]	splijttreksterkte [N/mm²]	Ouderdom (dagen)	kubus-druksterkte [N/mm²]	splijttreksterkte [N/mm²]
TF450BR	9 mei 2018	23	54,6	5,1	16	54,1	4,6
TF450AR	15 mei 2018	29	60,3	4,4	22	60,9	4,6
TF450AS1	16 mei 2018	30	52,0	4,5	23	63,1	4,3
TF280R	17 mei 2018	31	51,5	4,8	24	55,7	4,1
TF280AR	22 mei 2018	36	52,5	4,4	29	58,2	4,5
Gemiddelde [N/mm²] :			54,2	4,64	58,4		
Standard afwijking [N/mm²]:			3,62	0,31	3,68		
Variatiecoëfficiënt [%]:			6,7	6,6	6,3		

19



Resultaten eerste proevenseries

- Last-doorbuigingsrelaties (onversterkt - referentie)

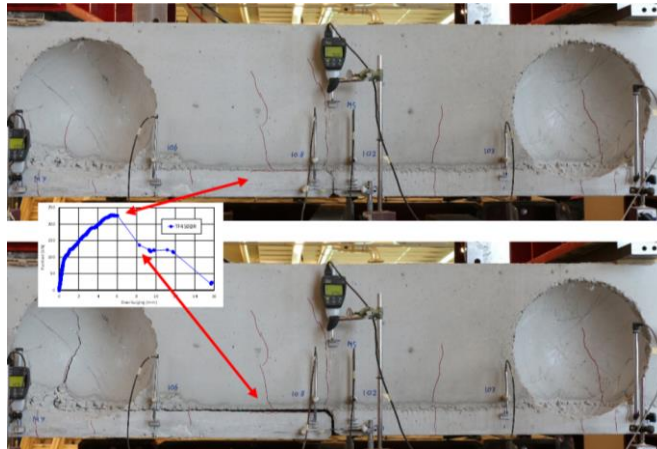


20



Resultaten eerste proevenseries

- Last-doorbuigingsrelaties (onversterkt - referentie)

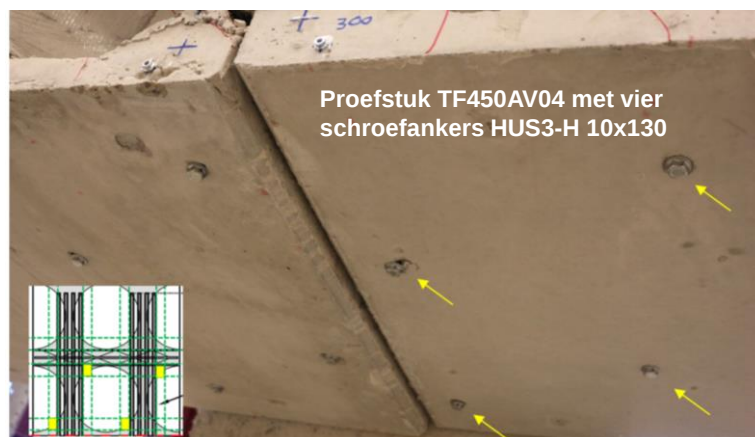


21



Resultaten eerste proevenseries

- Verkennende proeven met versterking

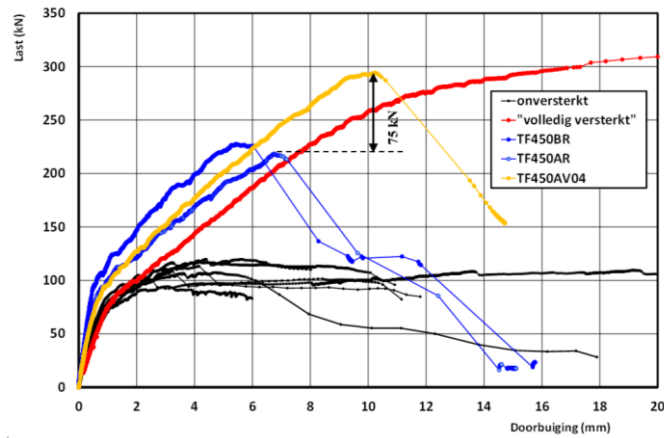


22



Resultaten eerste proevenseries

- Verkennende proeven met versterking



23



Resultaten eerste proevenseries

- Verkennende proeven met versterking



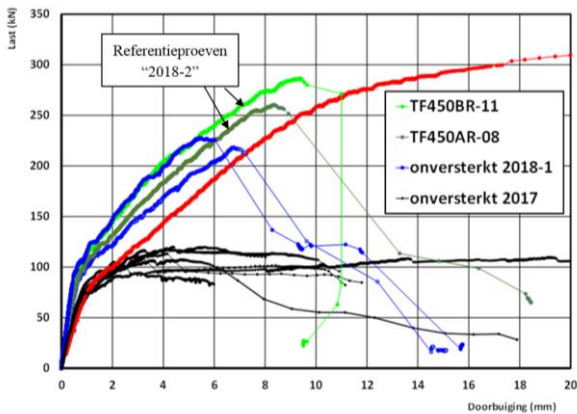
24



Resultaten eerste proevenseries



- Tweede proevenserie (2018-2) vergelijkbare resultaten



Proefstukken nu gemaakt in Vianen direct naast betoncentrale.



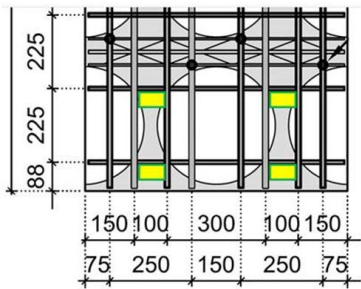
25



Resultaten eerste proevenseries



- Plaatsing ankers in baan koppelwapening bij nieuwe verkennende proeven met versterking



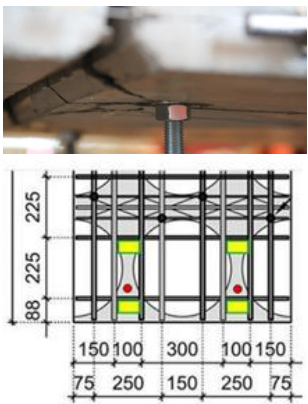
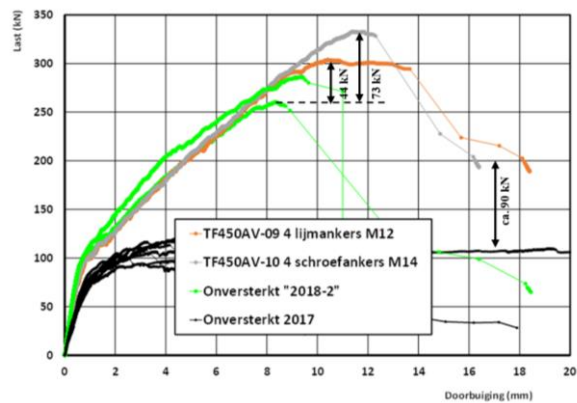
Plaatsing ankers door Hilti

26



Resultaten eerste proevenseries

- 4 ankers in de baan met de koppelwapening (proef met lijmankers en proef met schroefankers)



Aanpassing positie schroefankers

27



Proevenseries met folie voor tralieligger



450 mm hoog proefstuk



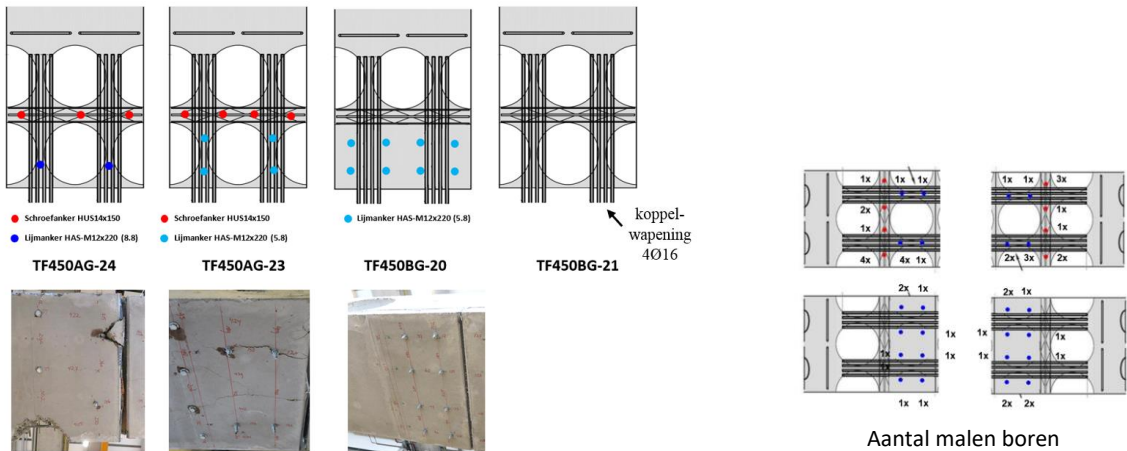
280 mm hoog proefstuk

28



Proevenseries met folie voor tralieliggger

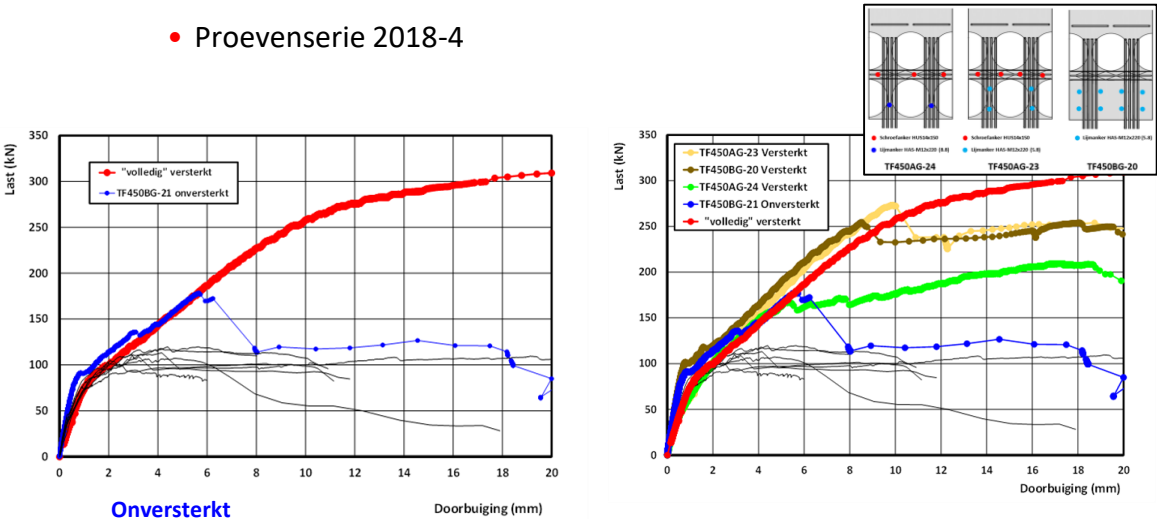
• Proevenserie 2018-4



29

Proevenseries met folie voor tralieliggger

• Proevenserie 2018-4



30

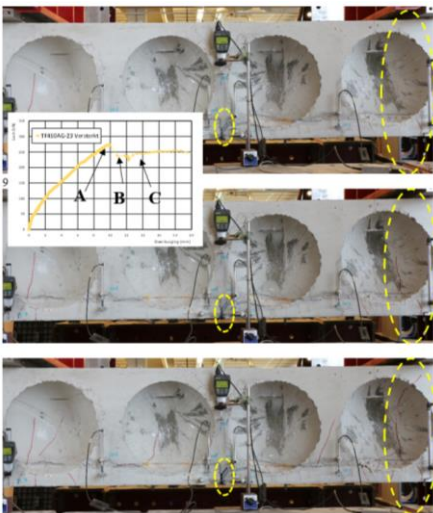
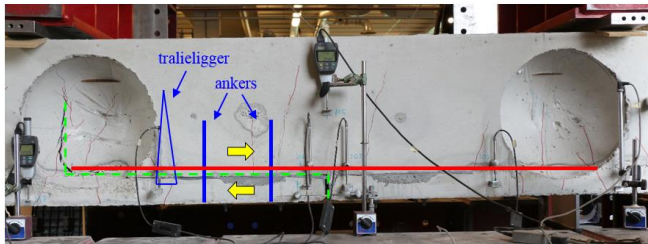
Proevenseries met folie voor tralieligger

TF450AG-23



Proefstuk TF450BG-20 na bezwijken.

TF450BG-20

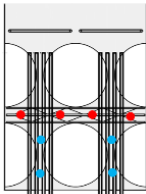
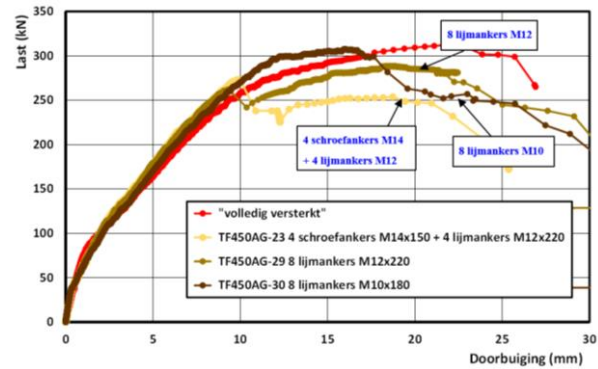


31



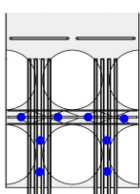
Proevenseries met folie voor tralieligger

• Proevenserie 2018-5



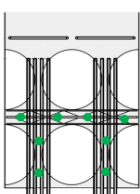
4 x HUS14x150
4 x M12x220 (5.8)

TF450AG-23



8 x M12x220 (8.8)

TF450BG-29



8 x M10x180 (8.8)

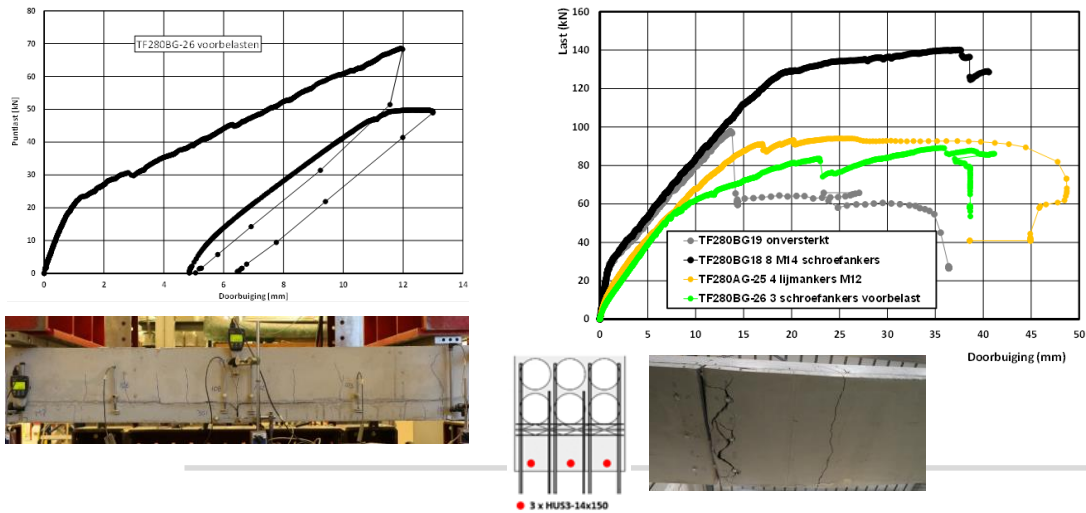
TF450AG-30

32



Proevenseries met folie voor tralieligger

- TF280BG-26 voorbelast tot 13 mm doorbuiging, versterkt en beproefd



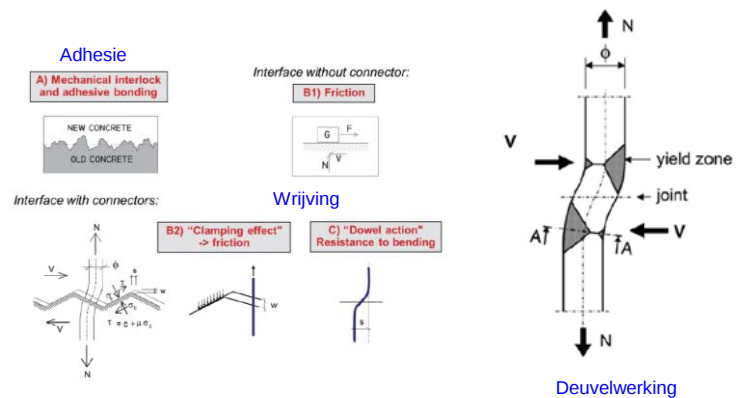
33

Van proefresultaten naar rekenmodel

- Aansluiten bij rekenregels voor aansluitvlakken in Eurocode 2
(artikel 6.2.5 van NEN-EN 1992-1-1)

- Theorie (Randl):

- A) Adhesie
B) Wrijving
C) Deuvelwerking



34

Van proefresultaten naar rekenmodel



- Bepaling voor aansluitvlakken in huidige Eurocode 2
(artikel 6.2.5 van NEN-EN 1992-1-1)

$$v_{Rd,1} = c f_{ctd} + \mu \sigma_n + \rho f_{yd} (\mu \sin \alpha + \cos \alpha)$$

$c f_{ctd}$:	adhesie (bij de breedplaten de aanhechting van de ter plaatse gestorte druklaag aan de breedplaat);
$\mu \sigma_n$:	wrijving door een drukspanning in het aansluitvlak als gevolg van een externe normaalkracht;
$\rho f_{yd} \mu \sin \alpha$:	wrijving door een drukspanning in het aansluitvlak, die wordt veroorzaakt door het betonstaal door het aansluitvlak , dat bij afschuiving door dilatantie (uit elkaar gaan van de beide zijden van het aansluitvlak bij verschuiven) op trek wordt belast;
$\rho f_{yd} \cos \alpha$:	de ontbondene langs het aansluitvlak van de trekkracht die door dilatantie in de wapening door het aansluitvlak wordt opgewekt.

35



Van proefresultaten naar rekenmodel



- Revisie EC 2: Bepalingen voor aansluitvlakken in nieuwe Eurocode 2:
 - conform fib Model Code 2010
 - EN 1992-1-1 PT1 Concept D3 - Shear of interface, CEN TG4.
- Opsplitsing in twee formules (mijn bewoordingen):
 - 8.55 voor bros gedrag
 - 8.56 voor ductiel gedrag
- De afschuifspanning in het aansluitvlak moet voldoen aan:

$$\tau_{Edi} \leq \tau_{Rdi}$$

τ_{Edi} is de rekenwaarde voor de optredende schuifspanning in het aansluitvlak;

τ_{Rdi} is de rekenwaarde voor afschuifsterkte van het aansluitvlak.

36



Van proefresultaten naar rekenmodel

- Vergelijking 8.55 voor **bros gedrag** (Rev. EC 2):

8.55 $\tau_{Rdi} = c_{v1} \cdot \sqrt{(f_{ck})/\gamma_c} + \mu_v \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu_v \cdot \sin\alpha + \cos\alpha)$

- f_{ck} is de laagste waarde van de karakteristieke betondruksterkte aan beide zijden van het aansluitvlak;
- σ_n is de normaal drukspanning in het aansluitvlak door een externe belasting;
- ρ = A_s/A_i
- A_i is het oppervlak van het aansluitvlak;
- A_s is het oppervlak van de verbindingsmiddelen die door het aansluitvlak lopen en aan beide zijden voldoende zijn verankerd;
- c_{v1} en μ_v zijn factoren die afhangen van de ruwheid van het aansluitvlak.

Surface roughness	Equation 8.55		Equation 8.56		
	c_{v1}	μ_v	c_{v2}	k_t	k_f
very smooth	0,0095	0,5	0	0	1,5
smooth	0,075	0,6	0	0,5	1,1
rough	0,15	0,7	0,075	0,5	0,9
very rough	0,19	0,9	0,15	0,5	0,9
keyed	0,37	0,9	-	-	-

37



Van proefresultaten naar rekenmodel

- Vergelijking 8.56 voor **ductiel gedrag** (Rev. EC 2):

8.56 $\tau_{Rdi} = \tau_{Rdi} = c_{v2} \cdot \sqrt{(f_{ck})/\gamma_c} + \mu_v \cdot \sigma_n + k_t \cdot \rho \cdot f_{yd} \cdot \mu_v + k_f \cdot \rho \cdot \sqrt{(f_{yd} \cdot f_{cd})}$

- c_{v2} , k_t en k_f zijn factoren die afhangen van de ruwheid van het aansluitvlak;
- c_{v1} en μ_v zijn hetzelfde als bij 8.55

Surface roughness	Equation 8.55		Equation 8.56		
	c_{v1}	μ_v	c_{v2}	k_t	k_f
very smooth	0,0095	0,5	0	0	1,5
smooth	0,075	0,6	0	0,5	1,1
rough	0,15	0,7	0,075	0,5	0,9
very rough	0,19	0,9	0,15	0,5	0,9
keyed	0,37	0,9	-	-	-

38



Van proefresultaten naar rekenmodel

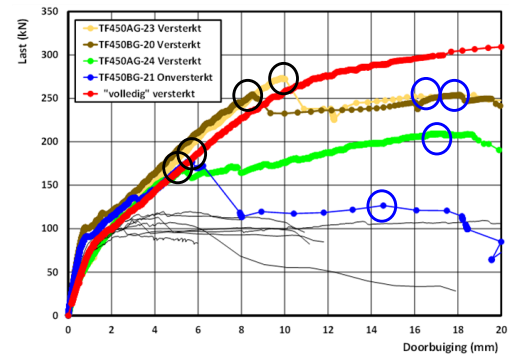
- Voor vergelijking met de experimenten en uitgaande van "glad" voor de eigenschappen van het aansluitvlak, geldt:

$$8.55 \quad \tau_{Rdi} = c_{v1} \cdot \sqrt{(f_{ck})/\gamma_c} + \rho \cdot f_{yd} \cdot \mu_v \cdot \sin \alpha$$

$$8.56 \quad \tau_{Rdi} = k_t \cdot \rho \cdot f_{yd} \cdot \mu_v + k_f \cdot \rho \cdot \sqrt{(f_{yd} \cdot f_{cd})}$$

○ Punten gebruikt voor toetsing 8.55

○ Punten gebruikt voor toetsing 8.56

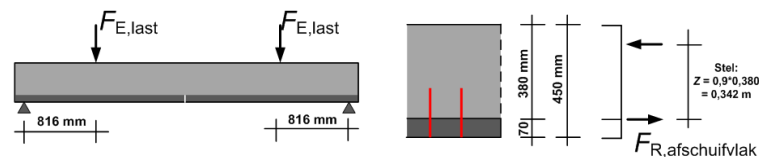


39



Van proefresultaten naar rekenmodel

- Van afschuifcapaciteit in aansluitvlak naar last in vierpuntbuigproef



450 mm hoge proefstukken: $F_{R,afschuifvlak} = (0,816/0,342) F_{E,last} = 2,4 F_{E,last}$

280 mm hoge proefstukken: $F_{R,afschuifvlak} = (0,816/0,189) F_{E,last} = 4,3 F_{E,last}$

- Van rekenwaarde afschuifcapaciteit naar gemiddelde waarde afschuifsterkte

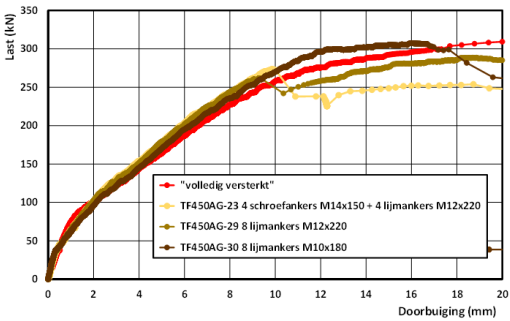
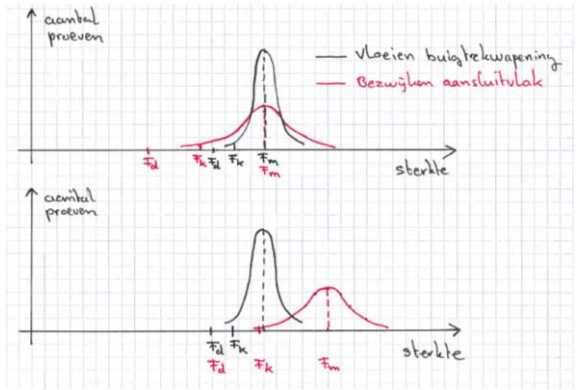
- in eerste instantie factor 2 aangehouden (zie ook *landelijk onderzoek*)
- vervolgens statistisch bepaald uitgaande van lognormale verdeling

40



Van proefresultaten naar rekenmodel

- Effect van verschil in spreiding en onzekerheden tussen vloeien van de wapening en bezwijken van het aansluitvlak



Bij eenzelfde sterkte in de proef voor vloeien wapening en bezwijken aansluitvlak, is er een factor ca. 1,6 verschil in de rekenwaarden.

41



Van proefresultaten naar rekenmodel

- Proefstukken zonder folie
- Uitwerking 8.55 per proef

Vergelijking 8.55 (bros gedrag)						
Proef	TF450AV04	Adhesie	A _{aansl.} (mm ²)	F _{adh} (kN)	Wrijving	F _{wrijving} (kN)
serie	2018-1					
aansluitvlak	glad	voor tralieligger	277796	84	tralieligger	
C _{v1}	0,075	achter tralieligger	217796	66	A _{s, tralieligger}	396 mm ²
f _{ck} (N/mm ²)	36,4	Totaal	495593	150	f _{yd}	435 N/mm ²
μ _v	0,6				sin α	0,94 97
					A _{s, 4HUS10}	232 mm ²
					f _{yd}	512 N/mm ²
					sin α	1,00 80
Afschuifkracht in aansluitvlak		(kN)	Kracht in vierpuntsbuigproef (kN)			
Totale oppervlak		327	277			
Alleen achter tralieligger		243	203			

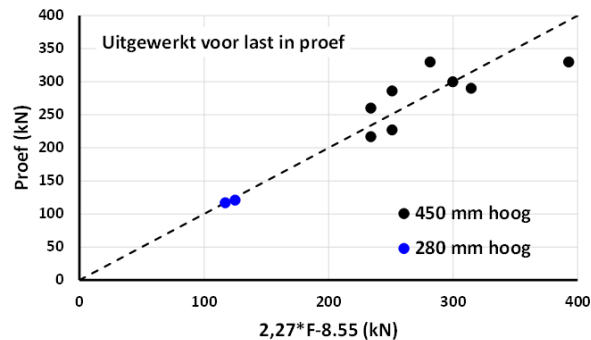
42



Van proefresultaten naar rekenmodel

- Proefstukken zonder folie
- Resultaat voor 8.55

Uitgaande van lognormale verdeling variatiecoëfficiënt 0,11



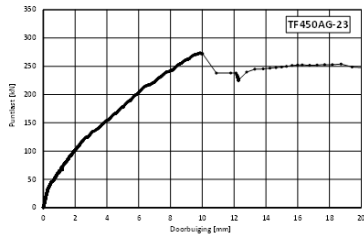
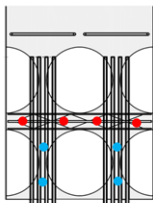
8.55 $F_{Rdi} = 1,38 \cdot \{c_{v1} \cdot \sqrt{(f_{ck} / \gamma_c) \cdot A_{aansluitvlak} + A_s \cdot f_{yd} \cdot \mu_v \cdot \sin \alpha}\}$

43



Van proefresultaten naar rekenmodel

- Proefstukken met folie voor de tralieligger
- Uitwerking 8.56 per proef



Vergelijking 8.56 (ductiel gedrag)				$k_t A_s f_{yd} \mu_v$ (kN)		$A_s k_t \sqrt{(f_{yd} f_{cd})}$ (kN)	$F_{afsch.}$ (kN)	Kracht in vierpunts- buigproef (kN)	
Proef	TF450AG-23								
			Tralieligger	G	52	51	103		
serie	2018-4		4 HUS14	G	83	75	158		
Aansluitvl.	G	ZG	4 lijn M12	G	34	38	72		
μ_v	0,6	0,5	5,8	ZG	0	52	52		
k_t	0,5	0	Afschuifcapaciteit (alles glad)					332	277
k_f	1,1	1,5	Afschuifcapaciteit (voor zeer glad en achter tralie glad)					313	261
								experiment	254
Vergelijking 8.55 (bros gedrag)									
C_{v1}	G	0,075	Adhesie	tralieligger	Ankers 1	Ankers 2			
C_{v1}	ZG	0,0095	kN	kN	kN	kN			
f_{ck} (N/mm²)	47,6		87	97	166	56	407	339	
							experiment	273	
Vloei wapening				Koppelvapening					394
				Breedplaat					339

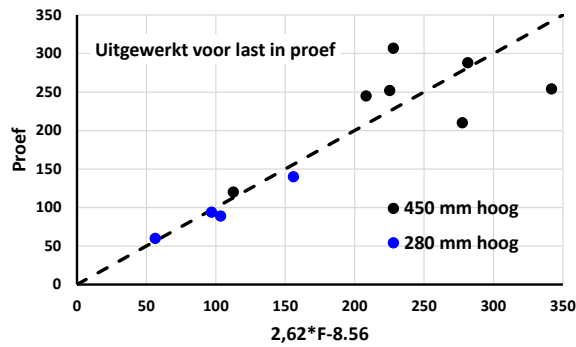
44



Van proefresultaten naar rekenmodel

- Proefstukken met folie voor de tralieligger
- Resultaat voor 8.56

Uitgaande van
lognormale verdeling
variatiecoëfficiënt 0,20



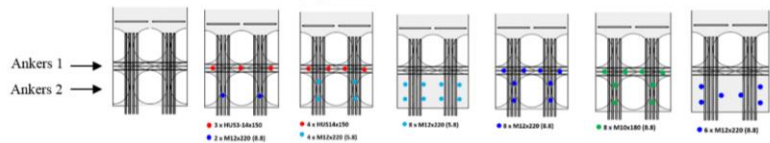
8.56 $F_{Rdi} = 0,94 \cdot \{k_t \cdot A_s \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha \cdot \mu_v + A_s \cdot k_f \cdot \sqrt{(f_{yd} \cdot f_{cd})}\}$

45



Van proefresultaten naar rekenmodel

- Resultaten proeven met folie voor de tralieligger



450 mm hoge
proefstukken

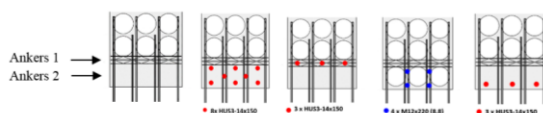
	TF450BG-21	TF450AG-24	TF450AG-23	TF450BG-20	TF450BG-29	TF450AG-30	TF450BG-27
Afschuifcapaciteit bij bros gedrag 8.55 (kN)							
Adhesie	75	87	87	90	81	81	83
Tralie	97	97	97	97	97	97	97
Ankers 1		124	166		108	74	
Ankers 2		45	56	112	90	62	135
Totaal	172	353	406	299	376	314	315
Kracht in vierpuntsbuigproef (kN)							
8.55 th.	143	294	338	249	313	262	262
8.55 Ex.	178	166	273	253	261	299	249
Ex./Th. (%)	124%	56%	81%	102%	83%	114%	95%
Afschuifcapaciteit bij ductiel gedrag 8.55 (kN)							
Tralie	103	103	103	103	99	99	99
Ankers 1		118	158		99	68	
Ankers 2		51	72	144	99	68	148
Totaal	103	272	333	247	297	235	247
8.56 th.	86	227	277	206	247	196	206
8.56 Ex.	120	209	254	252	288	307	245
Ex./Th. (%)	140%	92%	92%	122%	116%	157%	119%
Opm.							voorbelast

46



Van proefresultaten naar rekenmodel

- Resultaten proeven met folie voor de tralieligger



280 mm hoge
proefstukken

	TF280BG-19	TF280BG-18	TF280AG-22	TF280AG-25	TF280BG-26
Afschuifcapaciteit bij bros gedrag 8.55 (kN)					
Adhesie	70	78	87	88	90
Tralie	87	87	87	87	87
Ankers 1		234	124		
Ankers 2				90	104
Totaal	157	399	298	265	281
Kracht in vierpuntsbuigproef (kN)					
8.55 th.	73	186	139	123	131
8.55 Ex.	100	-	75	91	69
Ex./Th. (%)	137%	-	54%	74%	53%
Afschuifcapaciteit bij ductiel gedrag 8.55 (kN)					
Tralie	93	93	103	99	99
Ankers 1			118		
Ankers 2		286		96	114
Totaal	93	379	221	195	213
8.56 th.	43	176	103	92	99
8.56 Ex.	60	140	74	94	89
Ex./Th. (%)	139%	79%	72%	104%	90%
Optm.		Vloeien			voorbelaat

47



Voorstel voor berekeningsmethode voor een versterking met korte ankers (*nader te bespreken*):

- De laagste waarde van $F_{rdi,8.55}$ en $F_{rdi,8.56}$ mag worden aangehouden om de benodigde ankers te bepalen.

Waarbij:

- $F_{rdi,8.55}$ is de rekenwaarde van de afschuifcapaciteit in het aansluitvlak, die gelijk is aan de rekenwaarde van de trekkracht in de wapening bij vloeien (*ductiliteit uit vloeien wapening*):

$$F_{rdi,8.55} = \alpha_{8.55} \cdot \{c_{v1} \cdot \sqrt{(f_{ck} / \gamma_c)} \cdot A_{aansluitvlak} + A_s \cdot f_{yd} \cdot \mu_v \cdot \sin \alpha\}$$

- $F_{rdi,8.56}$ is de rekenwaarde van de afschuifcapaciteit in het aansluitvlak, die gelijk is aan de optredende trekkracht in de koppelwapening (*ductiliteit uit aansluitvlak met ankers*):

$$F_{rdi,8.56} = \alpha_{8.56} \cdot \{k_t \cdot A_s \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha \cdot \mu_v + A_s \cdot k_r \cdot \sqrt{(f_{yd} \cdot f_{cd})}\}$$

Factoren $\alpha_{8.55}$ en $\alpha_{8.56}$ nader te bepalen en mogelijk gelijk aan 1,0.

- Voor het mogen toepassen van de voorgaande bepalingen moet in het gebied voor de tralieligger een minimale hoeveelheid ankers zijn toegepast, welk voldoen aan de detailleringsregels.

48

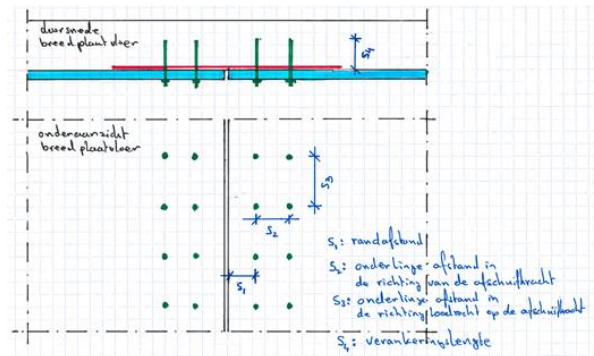


Voorstel voor berekeningsmethode versterking met korte ankers (*nader te bespreken*):

- Voldaan moet worden aan detailleringsregels betreffende:

- randafstand s_1 ;
- onderlinge afstand ankers loodrecht op de breedplaatrand, s_2 ;
- onderlinge afstand ankers evenwijdig aan de breedplaatrand, s_3 ;
- minimale lengte van de ankers, s_4 ;
- minimale hoeveelheid en positie ankers voor de tralieliger.

Aan voorstellen hiervoor wordt gewerkt.



49



Conclusies

- Voor de berekening van breedplaatvloeren versterkt met korte ankers kan worden aangesloten bij de bepalingen voor aansluitvlakken in de (Revisie) Eurocode 2.
- De juistheid van deze aanpak is onderbouwd met een zeer uitgebreid experimenteel programma.

50

