

Rapport Groen D07-2_Addendum



Studievereniging uitvoering
betonconstructies
STUBECO

Rapport D07-2 Addendum Groene Versie

**Tijdelijke constructies voor het
ondersteunen van bekistingen**
Versie 2.0

Arno Jeurdink en d.d. 24 januari 2023

1



Studievereniging uitvoering
betonconstructies
STUBECO

Inhoud Presentatie

1. Inleiding
2. Opdracht
3. Stukje geschiedenis
4. Commissieleden
5. Voortgang
6. Studiewerk
Diverse (alle) detailonderdelen
7. Rapportage

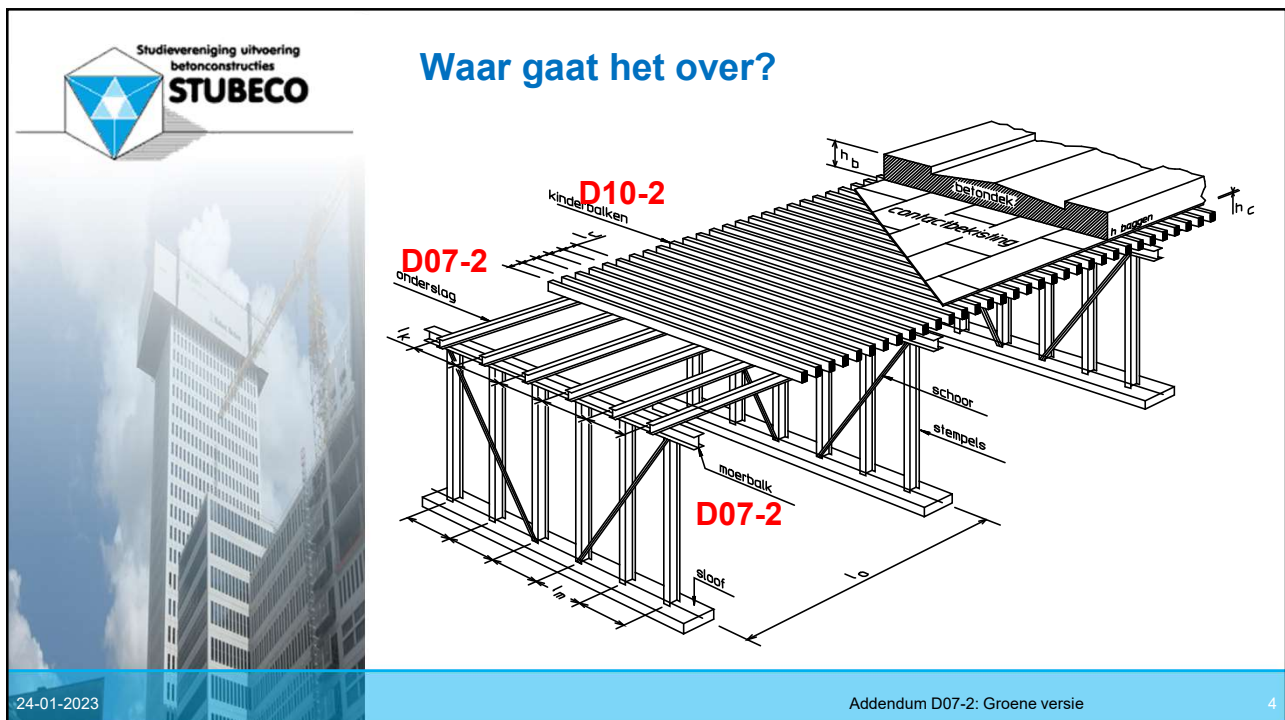
Hoe verder?

2

Rapport Groen D07-2_Addendum



3



24-01-2023

Addendum D07-2: Groene versie

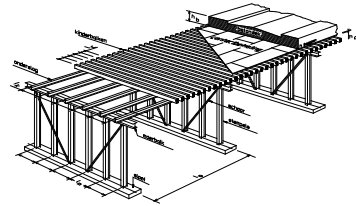
4

4

Rapport Groen D07-2_Addendum



Voor wie?



Hulpconstructie = specialisme!

Voor ontwerpers / constructeurs!

*Rapporten hebben een hoog theoretisch gehalte,
Uitvoeringsaspecten komen niet aan de orde.
Hier is andere literatuur voor beschikbaar.*

24-01-2023

Addendum D07-2: Groene versie

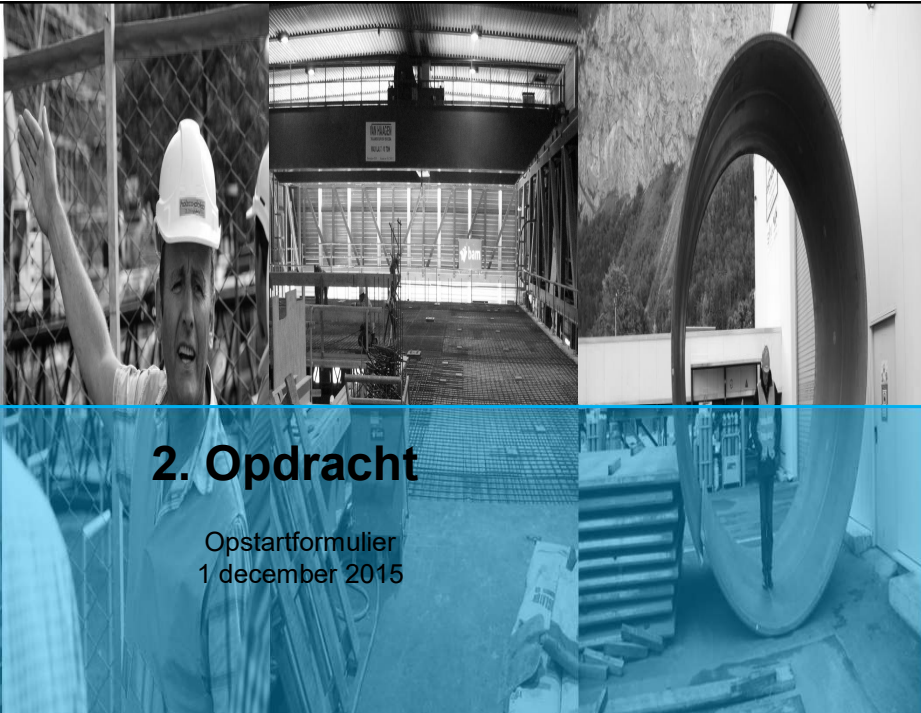
5

5



2. Opdracht

Opstartformulier
1 december 2015



6

Rapport Groen D07-2_Addendum



Opdracht

Probleemstelling:

Rapport D07-2 is in maart 2018 gepresenteerd. De commissie is destijds gestuit op een aantal zaken die niet in de huidige Eurocodes zijn geregeld.

Dit was de aanleiding voor het opstellen van een Addendum op het huidige D07-2 om een aantal zaken nader toe te lichten en aan te vullen.

24-01-2023

Addendum D07-2: Groene versie

7

7



3. Stukje geschiedenis

Al ca. 50 jaar een
onderwerp voor discussie
en studie



8

Rapport Groen D07-2_Addendum



Stukje geschiedenis

Citaat Betoniek 2 2018:

“Het ontwerpen van bekistingen en ondersteuning is een specialistisch vak. Door de complexiteit en grootte van veel hedendaagse bouwwerken, is het alleen maar specialistischer geworden.

Zeker in het verleden was het niet altijd duidelijk hoe de materiaalnormen moesten worden toegepast en met welke belastingen moest worden gerekend. Dit leidde vaak tot onvoldoende inzicht om een optimale constructie te kunnen ontwerpen.

Er zijn in het verleden diverse studies verricht, onder andere door de stichting ‘Arbeidstechnisch Onderzoek Bouwnijverheid’ en later door SBR.

Rijkswaterstaat, TNO-IBBC en de Nederlands Spoorwegen hebben ook een belangrijke bijdrage geleverd in de kennisontwikkeling, onder meer dankzij inbreng van diverse leden van Stubeco.

In het ‘Handboek Bekistingen’ uit 1980 is een speciaal hoofdstuk gewijd aan het berekenen van ondersteuning en bekistingen.”

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
9

9



Stukje geschiedenis

Terugkijkend in de tijd, zijn er in de “vorige eeuw” al studies en praktijkproeven gedaan, betreffende ondersteunende bekistingsconstructies.

Hoewel de term “tijdelijke constructies” van toepassing is, wordt hiermee niet bedoeld constructies van ondergeschikt belang! Op het moment van gebruik is het juist een hoofddraagconstructie.

Tevens werd het ontwerpen van de constructies, door hun specifieke gebruik, als een vak specialisme gezien. Mede ingegeven door de schaalvergroting in het bouwen.

De toenmalige voorschriften gaven niet altijd een duidelijk beeld van de te hanteren belastingen en de juiste toepassingen van de materiaalnormen.

Dit leidde vaak tot onvoldoende inzicht en gegevens om een optimale constructie te kunnen ontwerpen.

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
10

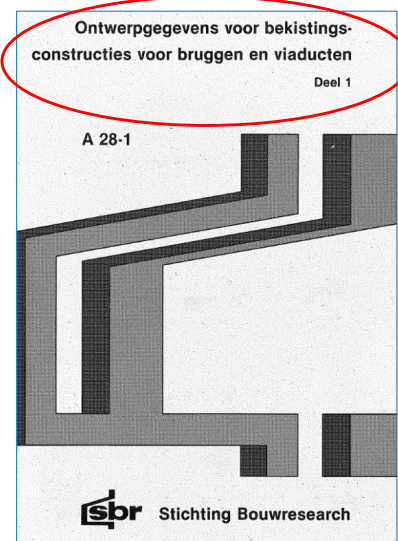
10

Rapport Groen D07-2_Addendum




Stukje geschiedenis

- Om deze reden zijn studies verricht, om tot eenduidige en objectieve ontwerpbenadering te komen.
- In 1970 is hiertoe een werkgroep opgericht door de stichting "Arbeidstechnisch Onderzoek Bouwnijverheid".
- Deze werkzaamheden zijn in 1975 overgenomen door de Stichting Bouwresearch (SBR), door het instellen van studietoelagen A28.



24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
11

11




Stukje geschiedenis

In dit kader wordt tevens genoemd:
 Samenwerkingsverbanden met RWS en leveranciers / producenten.
 Studietoelagen B27 van de SBR (kipstabiliteit van stalen liggers)

Kipstabiliteit van stalen onderslagen

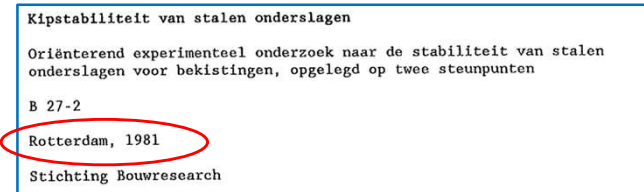
Oriënterend experimenteel onderzoek naar de stabiliteit van stalen onderslagen voor bekistingen, opgelegd op twee steunpunten

B 27-2

Rotterdam, 1981

Stichting Bouwresearch

Overigens wordt hierbij opgemerkt, dat in beide commissies de **STUBECO** (opgericht 1969 als studievereniging met "het accent op bekistingsmethodieken") reeds - door toenmalige leden - vertegenwoordigd was.



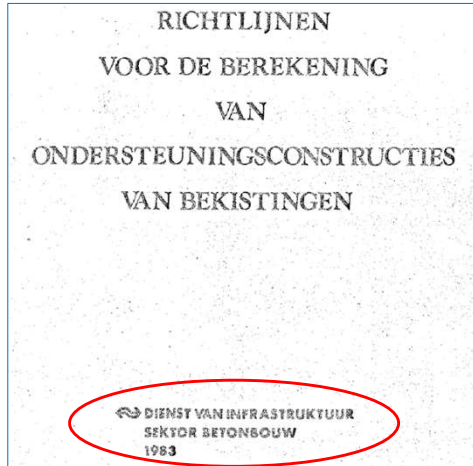
24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
12

12



Stukje geschiedenis

In dezelfde tijd is bij de Nederlands Spoorwegen een studie uitgevoerd, naar het berekenen van genoemde constructies.



24-01-2023

Addendum D07-2: Groene versie

13

13



Stukje geschiedenis: TGB 1972

Technische Grondslagen Berekenen van Bouwconstructies

De toenmalige opdrachtgevers, zoals de diensten van de RijksWaterstaat en de Nederlandse Spoorwegen, hadden – al dan niet gevoed door voornoemde studies - een eigen visie op de te hanteren veiligheidsbeschouwing, belastingen en materiaalspecificaties.

Deze werden vaak in de, aan de opdracht gekoppelde administratieve voorwaarden dan wel ontwerpvoorschriften, bindend voorgeschreven.

Uiteindelijk was het gevolg, dat de ontwerpers wel handvatten aangereikt kregen om tot een ontwerp te komen.

Mede in combinatie met de in die tijd geldende normenserie Technische Grondslagen voor Bouwconstructies (de TGB 1972 NEN3850 e.v.)

In het gepubliceerde "Handboek Bekistingen" van STUBECO / Betonvereniging, (ca. 1980) is tevens een hoofdstuk 5 – Berekeningen - met aan bovenstaande studies gerelateerde data opgenomen.

Literatuur met praktische waarde zo is gebleken!



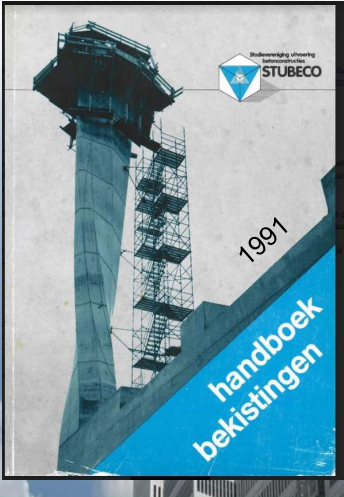
24-01-2023

Addendum D07-2: Groene versie

14

14

Rapport Groen D07-2_Addendum

Stukje geschiedenis: TGB1990

Met de invoering van de TGB 1990 (Normenserie NEN6700 e.v.) eind jaren 1990, ontstond de behoefte om studiewerk te verrichten naar de invloed van deze normenserie op de inmiddels “gangbare” rekenmethoden.

Dit heeft binnen **STUBECO**, uitgevoerd door de **KOKO**, geleid tot het opstellen van 2 studiecellen, te weten:

- D05 – Houten bekistingsconstructies (1995)**
- D07 – Tijdelijke constructies voor het ondersteunen van bekistingen;**
(Versie 1, december 2004)
Met uitgebreid aandacht voor het fenomeen torsie.

In deze rapporten is gepoogd, om tot een uniforme interpretatie van de rekenregels te komen.

Citaat “Door de complexiteit van de huidige TGB is het de samenstellers niet gelukt de eenvoud zover door te voeren, dat de rekenregels ook door niet deskundigen correct zouden kunnen worden toegepast.”

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
15

15




Stukje geschiedenis: TGB1990

Ten tijde van deze studies heeft Stubeco tevens het “Handboek Bekistingen” herschreven naar de vernieuwde regelgeving en inzichten:

“Handboek Uitvoering Betonwerken” 1^e druk mei 2005.

Met hierin opgenomen een rekenvoorbeeld
(Gebaseerd op de normenserie NEN6700
Rapport D07).

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
16

16

Rapport Groen D07-2_Addendum



Stukje geschiedenis: NEN-EN 1990 e.v.

Met de introductie van de huidige normenserie NEN-EN-1990 e.v. (Eurocode, lag het in de hand, om vervolgstudie's te doen naar de invloed ervan.

Studiecel D-10: opgericht om **rapport D05** te actualiseren. (maart 2013)

Studiecel D-10-2: Uitwerking aanbevelingen. (mei 2018)

Studiecel D07-2: Vervangt rapport D07 versie 1. (mei 2018)

Tegenwoordig staat er een digitale versie van het "Handboek" op de site met hierin een rekenvoorbeeld gebaseerd op rapport D07-2

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
17

17



Terug naar vandaag

Doel / taakstelling

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
18

18

Rapport Groen D07-2_Addendum



Studievereniging uitvoering
betonconstructies
STUBECO

Doel / taakstelling



Startdatum 1 dec. 2018
Verwacht gereed: juni 2020

probleemstelling:	Bestaand rapport D07-2 is vigerend (2018) en gebaseerd op regelgeving van de Eurocode. Er zijn een aantal aanbevelingen opgenomen en "open einden" in de EC geconstateerd. Ook is internationale literatuur bestudeerd. Met nadere studie en interpretatie kan het rapport mogelijk aangevuld worden.
doel / taakstelling:	Bestaand rapport D07-2 aanvullen, danwel van kanttekeningen voorzien betreffende voorstaande opmerkingen. Mogelijk softwareontwikkelaars erbij betrekken.

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
19

19



Studievereniging uitvoering
betonconstructies
STUBECO

Gewenste samenstelling

Discipline: Ontwerp / engineering	Aantal
Staal constructies	2
Aannemer / bouw	4
Leverancier	1

Gereed maart 2023





Ruim 1,5 jaar later

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
20

20



Oorzaak: een virus!!!



24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
21

21



Onderwerpen voor nadere bestudering



- Invloed van de stijfheid van de bekisting (schijfwerking) op de horizontale uitbuiging en op de kipstabiliteit van de onderslagen;
- Onderslag wordt belast door een combinatie van dubbele buiging met torsie. Continue torsiebelasting heeft een aandrijvend effect op het uitkippen van de ligger (stabiliteitstoetsing). Is dit afdoende meegenomen in de huidige toetsingsregels en specifiek tot de huidige D07-2 ?
- Zijdelingse vervorming onderslag.
Tijdens nadere uitwerking van voorgaand punt was er behoefte om de vervormingen in 3D in beeld te krijgen. Komen deze overheen met de vervormingen van 1D staafelement ?
- Maximum toelaatbare afstand van de gaffelsteunen en ploischotten tot de oplegging; wat is nog toelaatbaar ? eea in relatie tot krachtsinleiding, krachtdoorleiding en onderflensinklemming.

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
22

22



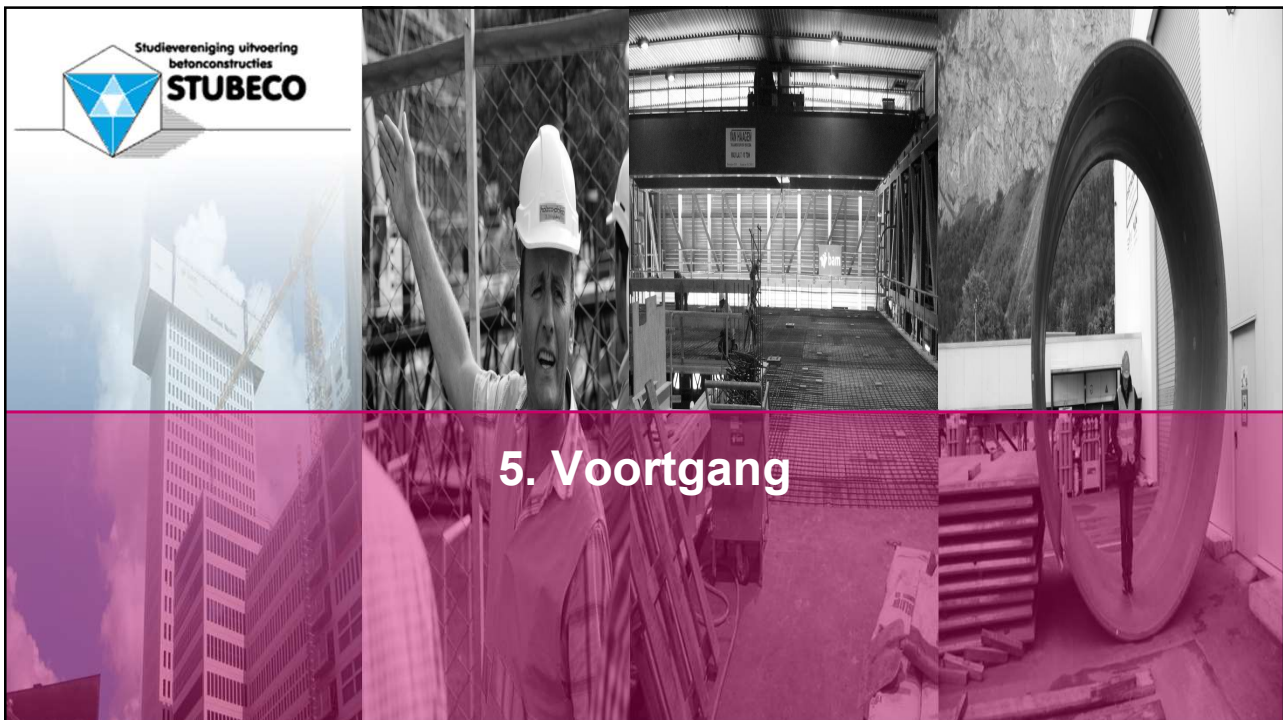
4. Commissieleden

23

		
		
Commissie		
Mentor / Redacteur	Arno Jeurdink	Stubeco
Voorzitter	Gerbert Joordens	Safe
Voorzitter	GertJan Coenen	Dura / Vermeer
Lid	Lei Hendriks	Bilfinger
Lid	Johan van Kleunen	Adviesbureau van Kleunen
Lid	Mark Rekers	DNV
Lid	Willem Roovers	Heijmans
Lid	Nouri Saadon	Ballast Nedam infra
Alle leden zijn werkzaam in de discipline Ontwerp / Constructief		
24-01-2023 Addendum D07-2: Groene versie		

24

Rapport Groen D07-2_Addendum



5. Voortgang

25




Voortgang in vogelvlucht

- In maart 2018 gestart, met de hiervoor benoemde aanbevelingen te analyseren.
- Leidraad is het D07-2 (maart 2018) rapport geweest en de verschillende rekenvoorbeelden die hierin staan.
- In deelgroepen de taken van het studiewerk uitgezet.
- Verricht zijn veel (internationale) literatuurstudies.
- De gepresenteerde rekenmethodieken zijn uitgewerkt; Dit middels vele EEM berekeningen.
- Uitkomsten zijn vergeleken met de aangeboden theorie in het huidige rapport D07-2
- Hieraan zijn diverse conclusies verbonden.
- Definiëren van aanbevelingen.

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie

26



Studievereniging uitvoering
betonconstructies
STUBECO

6. Studiewerk

Deelstudies:

- Schijfwerking huid
- Combinatie dubbele buiging & Torsie
- Zijdelingse vervorming
- Krachteninleiding
- Locatie verstijvers

27



Studievereniging uitvoering
betonconstructies
STUBECO

Schijfwerking contactbekisting (huid)

Nouri Saadon,

24-01-2023

Addendum D07-2: Groene versie

28

28

Rapport Groen D07-2_Addendum



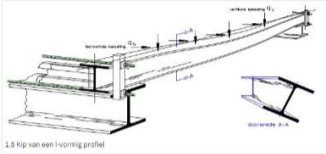
Schijfwerking

Invloed van de stijfheid van de bekisting (schijfwerking) op de horizontale uitbuiging en op de kipstabiliteit van de onderslagen

- Een ligger met een open doorsnede, belast door een buigend moment in de sterke as, is onderhevig aan kip. (*NEN-EN 1993-1-1, artikel 6.3.2.1*)
- De rekenwaarde van de kipweerstand van een zijdelingse ongesteund ligger:

$$M_{k,RE} = \chi_{LT} \cdot W_{y-} \cdot (F_y / \gamma_{M1})$$

- Kip is een combinatie van vervorming in u-richting en rotatie ϕ .



1.8 Kip van een I-vormig profiel

- Als een balk kipgevoelig is dient zijwaartse ondersteuning aangebracht te worden.
- De zijdelingse steunen moeten zijn aangebracht op een afstand niet groter dan 1/3 van de profielhoogte van die flens die de grootste zijdelingse verplaatsing zou ondergaan.
- Voorbeeld van een praktische kipsteun voor de onderslagen van ondersteuning.



24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
29

29



Wrijving

Invloed van wrijving op kipstabiliteit:

- Remmend effect van kinderbinten aan kipstabiliteit van de onderslagbalk.
- De gedachte hierbij is, dat door de schijfwerking van de bekisting (huid en kinderbinten) een weerstand biedende kracht optreedt met betrekking tot het ontstaan van kip.
- In Engelse publicatie **SCI-P385** verwezen naar **BS5975** "Code of practice for temporary works procedures and the permissible stress design of falsework" is de zijdelingse inklemming door wrijving toegestaan voor tijdelijke constructies.
- Volgens de norm is de zijdelingse steunen (kipsteunen) moeten gedimensioneerd zijn op de grootste van de volgende krachten:

1% van knikkracht $N_{k,Ed} = 0,01 \times A_y \times \sigma_{y,Ed}$ (*NEN-EN 1993-1-1 N.B. 72*)

of 0,5% van flenscapaciteit, $N_{k,Ed} = 0,005 \times A_y \times f_y$ (*NEN-EN 1993-1-1 N.B. 73*)

- Rekenvoorbeeld zie bijlage hoofdstuk 3.

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
30

30

Rapport Groen D07-2_Addendum



De commissie adviseert om **GEEN** gebruik te maken van de schijfwerking

- De schijfwerking moet wel optreden?
- Uitvoerbaarheid? (Doornagelen huid, weersomstandigheden).
- Acceptatie door uitvoerende en toezichthoudende partijen!

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
31

31



Rekenvoorbeeld uit rapport

Controle kipstabiliteit:

Remmend effect van kinderbinten aan kipstabiliteit van de onderslagbalk.
De benodigde kracht voor verhinderen van kip is de grootste van de 1% van knikkracht of 0,5% van flenscapaciteit.

Drukkraft in boven flens van onderslagbalk HEB1000 (*rekenvoorbeeld 1 hfd. 8.1 – D07-2*):

$$N_{\text{req,Ed}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{W_y} \cdot A_{\text{req}} = \frac{1516 \cdot 10^6}{12895 \cdot 10^3} \cdot (300 \cdot 36) \cdot 10^{-3} = 1270 \text{ KN}$$

$$N_{\text{br,Ed}} = A_{\text{br}} \cdot f_{\text{t}} = (300 \cdot 36) \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 2538 \text{ KN}$$

Zijdelingse steun benodigd is de grootste van:

$$N_{\text{sl,Ed}} = 0,01 \cdot 1270 = \mathbf{12,70 \text{ KN}}$$
 (maatgevend)

$$N_{\text{fl,Ed}} = 0,005 \cdot 2538 = \mathbf{12,69 \text{ KN}}$$

 Reactie van kinderbinten h.o.h. 300mm

$$R = 0,30 \cdot q_{\text{d}} \cdot 1,0 = 0,30 \cdot 53,9 \cdot 1,0 = 16,2 \text{ KN}$$

 Wrijvingscoëfficiënt van hout/staal $\mu = 0,25$
 Meewerkende kracht per kinderbint = $0,25 \cdot 16,2 = 4,0 \text{ KN}$
 Aantal kinderbinten benodigd om voldoende zijdelingse steun te bieden = $12,70 / 4,0 = 3,2 \rightarrow 4$ st. kinderbinten
 Ongesteund lengte $L_{\text{e}} = 4 \cdot 300 = 1200 \text{ mm}$, dus controle van kip op $L_{\text{ky}} = L_{\text{e}} = 1200 \text{ mm}$

Conclusie: onderslagbalk HEB1000 voldoet aan de kipstabiliteit!

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
32

32



Combinatie dubbele buiging & Torsie

Willem Roovers, Johan van Kleunen, Mark Rekers

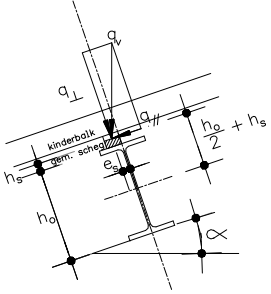
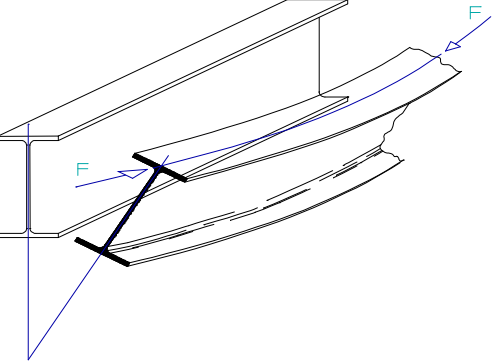


24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
33

33



Huidige D07-2 (gebaseerd op EC)

Hoe ontstaat torsie:

1. Verticale excentriciteit horizontaallast
2. Kromming/imperfectie ligger (banaaneffect, horizontale excentriciteit)
3. Excentriciteit tooglat + verkanting

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
34

34

Rapport Groen D07-2_Addendum



Combinatie dubbele buiging & torsie

Huidige norm geeft geen uitsluitel.....

$$k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,y,Rd}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{c,z,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.61)$$

GEEN WRINGING/
TORSIE

$$k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,y,Rd}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{c,z,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.62)$$

Stabiliteitstoetsing (incl. torsie) zit niet in de huidige normcontroles.

Toetsing onderslag in huidige D07-2 geschiedt op twee manieren:

- **Spanningsniveau** (Von Misses) op een aantal markante punten in de doorsnede (verdeling torsie ahv factoren A, B en C)
- en
- **Toetsing conform formule 6.61 en 6.62** (N=0), om het effect van de torsie (m_x in kNm/m1) in rekening te brengen → zijdelingse q-last op zowel de boven- als onderflens gezet. Spanningen in de flenzen bij de reguliere kiptoets "opgeteld". Werkwijze is overgenomen van een rekenvoorbeeld van de SCI ("Engelse" bouwen met staal).

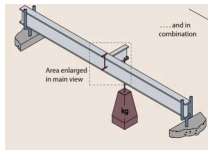
24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
35

35



Combinatie dubbele buiging & torsie

De Simplified method (vereenvoudigde methode):



- Torsie omgezet in 100% welving middels flensbuiging
- Toetsingswijze volgens 6.61 en 6.62
- Conservatieve methode

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
36

36



Combinatie dubbele buiging & torsie

Methode Rubstahl (universiteit Bochum):



RUBSTAHL-Bericht
2-2002

Ruhr-Universität Bochum
 Lehrstuhl für Stahl- und Verbundbau
 Prof. Dr.-Ing. R. Kindmann
www.ruhr-uni-bochum.de/stahlbau

Bemessung von Trägern unter Biegung und Torsion nach Th. II. Ordnung
Jörg Frickel

- Complexe methode
- Sluit niet aan op de normtoetsingen (volgens 6.61 en 6.62)

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
37

37



Combinatie dubbele buiging & torsie

Methode Lindner:

$$u.c. = \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{Ly} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{C_{Mz} \cdot M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{k_w \cdot k_{zw} \cdot k_a \cdot T_{w,Ed}}{T_{w,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

Bi-moment
in kNm2

- Zie voor achtergrond Stahlbau 73 2004 H9 (op schijf) en is onderbouwd door J. Lindner.
- Inmiddels toepassingsgebied/kader meer helder, zie proefschrift Torsten Glitsch (op schijf) → praktijkproeven op H-profielen.
- 2^{de} orde effect wordt afgedekt met k_w , k_{zw} en k_a
- $T_{w,Ed}$ = optredend moment in de flenzen (= Bi-moment), bij onderslag in veldmidden.
- St. Venant (nabij opleggingen) wordt niet getoetst, bij onderslagen meestal niet maatgevend.
- Op dit moment staat formule in Annex A van EN1993-6 (status **informatief**) → is opgenomen in revisie EN1993-1 als bijlage.

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
38

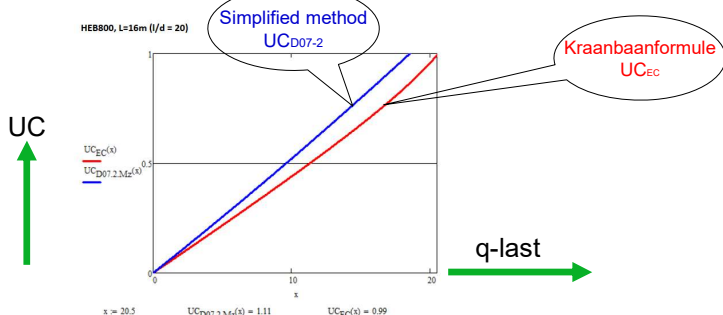
38

Rapport Groen D07-2_Addendum



Combinatie dubbele buiging & torsie

Vergelijk Simplified method (huidige D07-2) versus Lindner



Voor een aantal configuraties zijn berekeningen uitgevoerd:

- HEB500, HEB800 en HEB1000
- Verschillende overspanningen variërend van 5,0 tot 25,0m

⇒ Conclusie: bij langere liggers ($l/d=20$ en $l/d=25$) is verschil 10-15%. Simplified method is aan de conservatieve kant.

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
39

39



Combinatie dubbele buiging & torsie

Nieuwe methodiek meer rekenwerk ?

- Valt mee... Bi-moment ($T_{w,Ed}$) is benodigd, in de D07-2 wordt deze middels de ABC-factoren bepaald. Let op deze geldt slechts voor één belastingssituaties (gelijkmatige torsie m_x) en gaffelopleggingen en geen verhinderde welving aan de uiteinden. Voor andere belastingconfiguraties wordt verwezen naar Engelse publicatie SCI P385.
- In addendum staan in bijlagen een aantal uitgewerkte rekenvoorbeelden voor onderslag HEB1000 $l=15,0m$ (met en zonder kipsteun).

Echter ... met bovenstaande 1D-staaftoetsing op sterkte hebben we nog geen goed beeld van de zijdelingse uitbuiging (incl. 2^{de} orde) onderslag.

→ niet lineaire beschouwing in EEM → → volgende punt...

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
40

40



Zijdelingse vervorming onderslag



Uitgangspunten modellering Scia

- Samengestelde platen
- Koud/los opgelegd op centreeerstrip → lijnondersteuning (zowel trek/druk)
- Voorzien van kopplaat/ploischot aan de uiteinden
- Nadeel ploischotten bi-moment naar “zich toe trekken” → geen zuivere gaffeloplegging
- “Trucje” toegepast voor afrondingsstralen met name voor wringstijfheid G_I (St. Venant)
- Ligger geplaatst onder 2,5% dwarsverkanting
- Imperfectie van 25mm (vooruitbuiging in veldmidden)

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
41

41



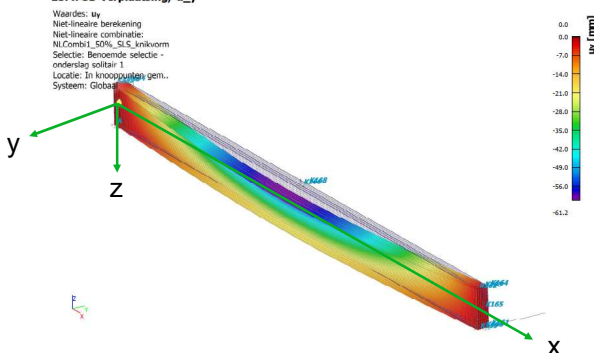
Zijdelingse vervorming onderslag



Horizontale vervorming U_y

13.4. 3D verplaatsing; u_y

Waarden: u_y
 Niet-lineaire berekening
 Niet-lineaire combinatie:
 NLCombi1_50%_SL5_innikvorm
 Selectie: Benoemde selectie -
 onderslag solitair 1
 Locatie: In knooppunten gem.
 Systeem: Globaal



24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
42

42




Zijdelingse vervorming onderslag

Conclusie vervormingen

Volumemodel

Tabel 1: Samenvatting berekeningsresultaten

	Scia		AxisVm		RFEM	
	Lineair	niet lineair	Lineair	niet lineair	Lineair	niet lineair
U_{tot} , veldmidden [mm]	29,2	64,8	30,2	53,2	27,6	46,0 ¹⁾
U_y , veldmidden [mm]	26,1	61,2	27,0	50,0	24,6	44,3 ¹⁾
ϕ_x , veldmidden [mrad]	13,8	42,1	15,7	35,7	20,7	40,8

Noot
1) Exclusief de $e_{y,0} = 25$ mm

- vervormingen verschillen per softwarepakket.
- 2^{de} orde vervormingen niet zondermeer te verwaarlozen. In 1D-beschouwing worden de U_z U_y en ϕ_x onderschat.
- Met deze HEB1000 (hoog profiel) is het banaaneffect groot, bij lagere profielen effect minder
- “zelfstandige” onderslag zonder gunstige schijfwerking van de bekisting. In praktijk zal de vervorming minder zijn...

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
43

43




Gaffelsteunen & Verstijvers (Plooischotten)

Lei Hendriks en Gertjan Coenen

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
44

44

Rapport Groen D07-2_Addendum



Vraagstelling

Openstaande vraag rapport D07-2:

- Wat is de maximale toelaatbare afstand van de gaffelsteun en plooverstijver tot de oplegging?

Verstijvers t.p.v. opleggingen kunnen 2 functies vervullen:

- 1. Krachtdoorleiding bij een onderslag of moerbalk**
2. Verhinderen rotatie/translatie bovenflens om een gaffeloplegging te creëren

Vraagstelling in onderzoek (i.r.t. krachtsinleiding):

- Capaciteit onverstijfd liggerlijf
- Capaciteit verstijfd liggerlijf, centrisch
- Invloed excentrische positie verstijver op capaciteit verstijfd liggerlijf

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
45

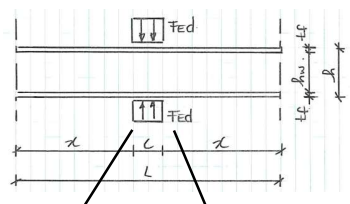
45



Onderzoek

- Capaciteit onverstijfd liggerlijf

1. Rekenmethode NEN-EN 1993-1-1 §6.5.3 (Roberts – 1981) pl
2. Rekenmethode NEN-EN 1993-1-5 (Lagerqvist – 1996) pl
3. Rekenmethode EEM el



HE400B / HE800B c = 50 mm / 350 mm

	Geval 1 HE400B / 50	Geval 2 HE400B / 350	Geval 3 HE800B / 50	Geval 4 HE800B / 350
Methode 1 [kN]	624	823	863	938
Methode 2 [kN]	1027	1512	1389	1850
Methode 3 [kN]	677	1023	1139	1251

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
46

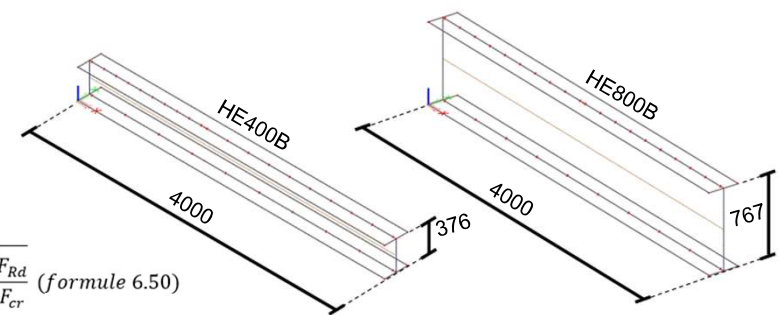
46

Rapport Groen D07-2_Addendum



Onderzoek

3. Uitleg rekenmethode EEM



$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{F_{Rd}}{F_{cr}}} \text{ (formule 6.50)}$$

$$\alpha_{cr} = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{Ed}}; \beta = \frac{\sigma_{Rd}(=f_{yd})}{\sigma_{Ed}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{F_{Rd}(=A \cdot \sigma_{Rd})}{F_{cr}(=A \cdot \sigma_{cr})}} \rightarrow \sqrt{\frac{\sigma_{Rd}}{\sigma_{cr}}} \rightarrow \sqrt{\frac{f_{yd}/\sigma_{Ed}}{\sigma_{cr}/\sigma_{Ed}}} \rightarrow \sqrt{\frac{\beta}{\alpha_{cr}}}$$

$$\chi = \frac{0.5}{\bar{\lambda}} \text{ (formule 6.3)}$$

$$F_{Rd} = \chi \cdot F_{model} \cdot \beta$$

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
47

47



Onderzoek

3. Uitleg rekenmethode EEM

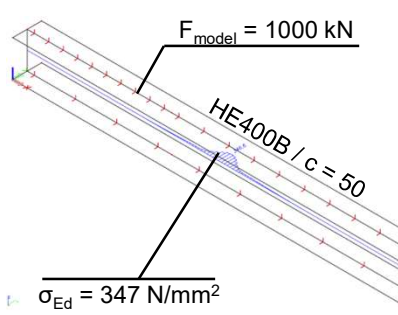
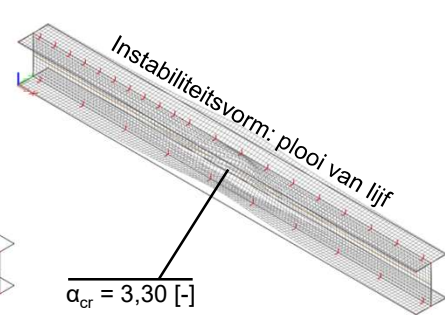
$$\alpha_{cr} = 3.30 [-]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{0.677/3.30} = 0.453 [-]$$

$$\beta = f_{yd}/\sigma_{cr} = 235/347 = 0.677 [-]$$

$$\chi = 0.5/0.453 = 1.000 [-]$$

$$F_{Rd} = 1.00 \cdot 1000 \cdot 0.67 = 677 \text{ kN}$$

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
48

48

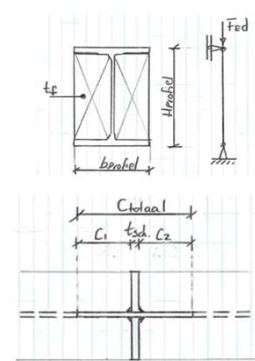
Rapport Groen D07-2_Addendum



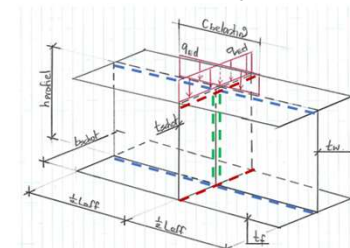
Onderzoek

- Capaciteit verstijfd liggerlijf (centrisch)

- Toetsing verstijving op knik
- Toetsing combinatie lijf + verstijving op torsieknik met L_{eff} ingeschat
- Toetsing combinatie lijf + verstijving EEM



Werkmethode gelijk aan onverstijfd



Randvoorwaarde?

Resultaten 2^e deelvraag - Geen scope presentatie

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
49

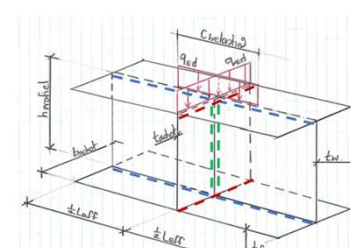
49



Onderzoek

- Capaciteit verstijfd liggerlijf (centrisch)

Methode	F_{cr} [kN]	χ_{red} [-]	N_{bRd} [kN]
1	1093	0.549	581
2	6890	0.802	1809
3	10510 ~ 22780	0.853 ~ 0.935	2089 ~ 2290



Omschrijving	α_{cc} [-]	F_{cr} [kN]	λ_{rel} [-]	χ_{red} [-]	N_{bRd} [kN]
(1) scharnier (2) scharnier (3) scharnier	10.51	10510	0.483	0.853	2089
(1) scharnier (2) scharnier (3) vast	10.51	10510	0.483	0.853	2089
(1) scharnier (2) vast (3) scharnier	11.9	11900	0.454	0.869	2129
(1) scharnier (2) vast (3) vast	15.61	15610	0.396	0.899	2202
(1) vast (2) vast (3) vast	22.78	22780	0.328	0.935	2290

(!) Invloed aansluitvoorwaarde plaatranden beperkt

Resultaten 2^e deelvraag - Geen scope presentatie

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
50

50

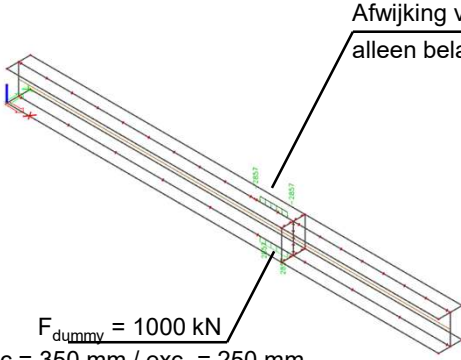
Rapport Groen D07-2_Addendum



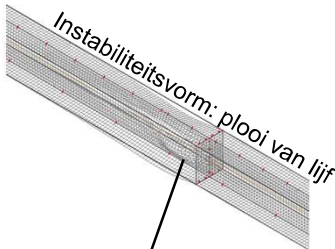
Onderzoek

- Capaciteit verstijfd liggerlijf (excentrisch)

3. Toetsing combinatie lijf + verstijving EEM



$F_{dummy} = 1000 \text{ kN}$
 $c = 350 \text{ mm} / \text{exc.} = 250 \text{ mm}$



$\alpha_{cr} = 6.19 [-]$
 $\sigma_{Ed} = 209 \text{ N/mm}^2$

Werkmethode gelijk aan onverstijfd

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
51

51



Onderzoek

- Capaciteit verstijfd liggerlijf (excentrisch)

3. Toetsing combinatie lijf + verstijving EEM

Invloed verstijving op kracht

Invloed verstijving op stabiliteit

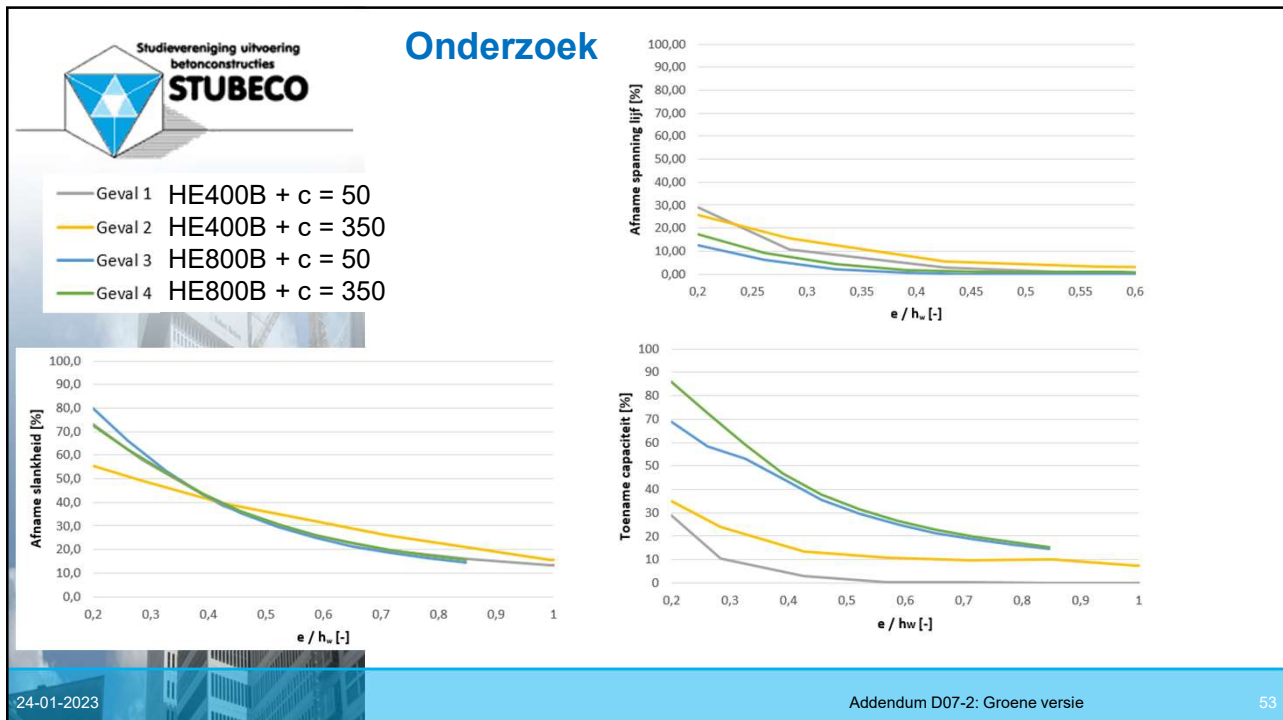
	$\sigma_{dummy,d}$ [N/mm ²]	β [-]	α_{cr} [-]	λ_{rel} [-]	χ_{red} [-]	e/h_{tot} [-]	$N_{p,Rd}$ [kN]	$N_{p,Rd}$ [%]
Afwijkend								
torsieknik								
centrisch	131	1.791	16.66 (*)	0.328	1.000	0.000	1791	75.1
exc. +50	161	1.461	12.94	0.336	1.000	0.142	1461	42.8
exc. +100	185	1.268	9.77	0.360	1.000	0.284	1268	24.0
exc. +150	203	1.160	7.82	0.385	1.000	0.426	1160	13.4
exc. +200	207	1.135	6.95	0.404	1.000	0.568	1135	11.0
exc. +250	209	1.122	6.19	0.426	1.000	0.710	1122	9.7
exc. +300	209	1.127	5.69	0.445	1.000	0.852	1127	10.2
exc. +350	214	1.098	5.11	0.464	1.000	0.994	1098	7.4
exc. +400	214	1.098	4.88	0.474	1.000	1.136	1098	7.4
exc. +450	214	1.098	4.71	0.483	1.000	1.278	1098	7.4
exc. +500	214	1.098	4.7	0.483	1.000	1.420	1098	7.4
exc. +550	214	1.098	4.7	0.483	1.000	1.563	1098	7.4
exc. +600	214	1.098	4.6	0.489	1.000	1.705	1098	7.4
exc. +650	214	1.098	4.51	0.493	1.000	1.847	1098	7.4
Geen schot	214	1.098	3.81	0.537	0.931	-	1023	0.0

Lijfplooi

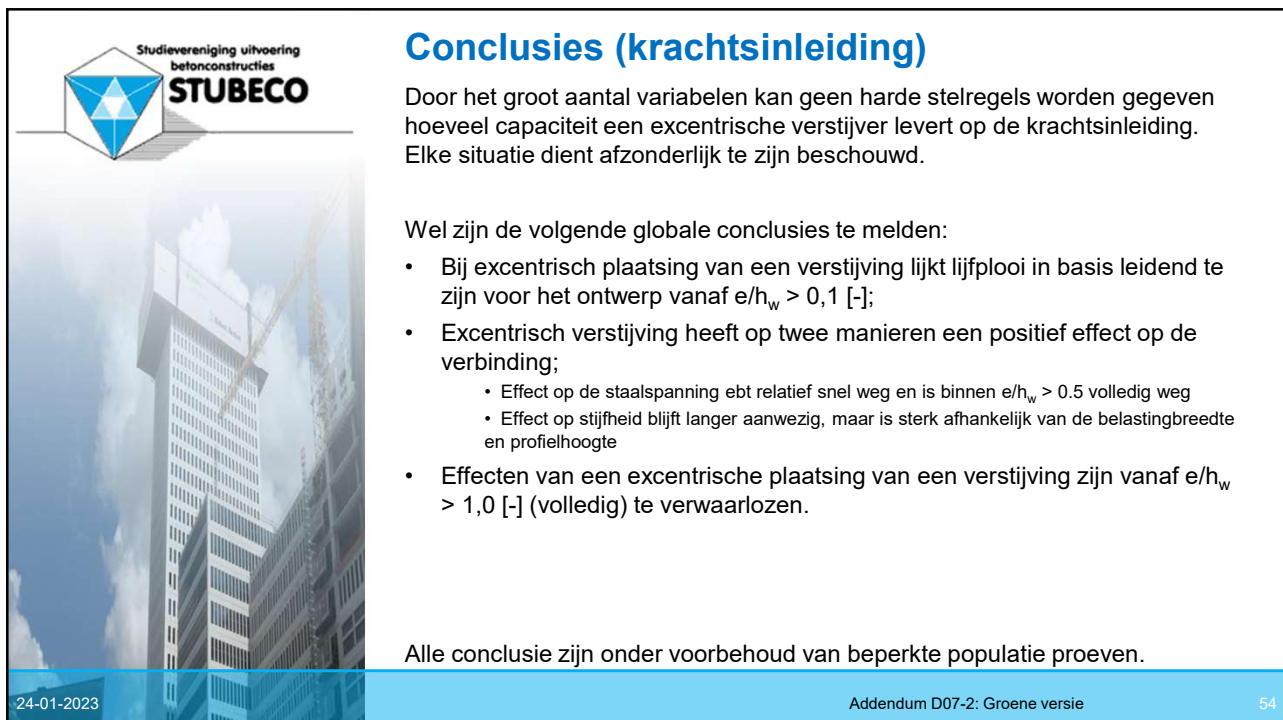
24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
52

52

Rapport Groen D07-2_Addendum



53



54

Rapport Groen D07-2_Addendum



Vraagstelling

Openstaande vraag rapport D07-2:

- 8. Wat is de maximale toelaatbare afstand van de gaffelsteun en plooiverstijver tot de oplegging?

Verstijvers t.p.v. opleggingen kunnen 2 functies vervullen:

1. Krachtdoorleiding bij een onderslag of moerbalk
- 2. Verhinderend rotatie/translatie bovenflens om een gaffeloplegging te creëren**

Vraagstelling in onderzoek (i.r.t. krachtsinleiding):

- Welke invloed heeft een excentrische positie van een schotje op de kipcapaciteit van een ligger?

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
55

55



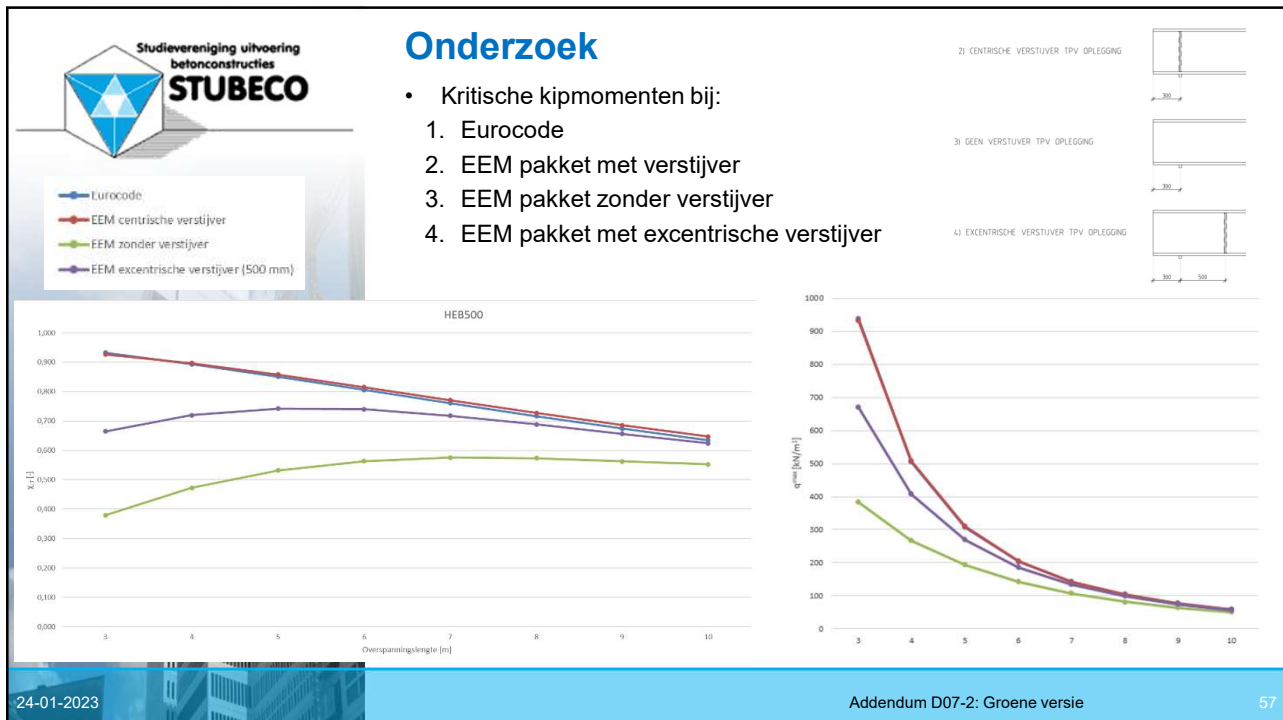
Onderzoek

- Literatuuronderzoek
 - Der Prufingenieur, publicatie okt. 2002
 - Publicatie SBR B-27-2; 1981
- Onderzoek voor controlemethode
 - Kritisch kippmoment volgens Eurocode
 - Kritisch kippmoment middels platenmodel in EEM pakket met centrische verstijvers
 - Kritisch kippmoment middels platenmodel in EEM pakket zonder verstijvers
 - Kritisch kippmoment middels platenmodel in EEM pakket met excentrische verstijvers
- Controle tussen resultaten berekening Eurocode en EEM pakket. Daarmee bepalen wat afname kipcapaciteit is.

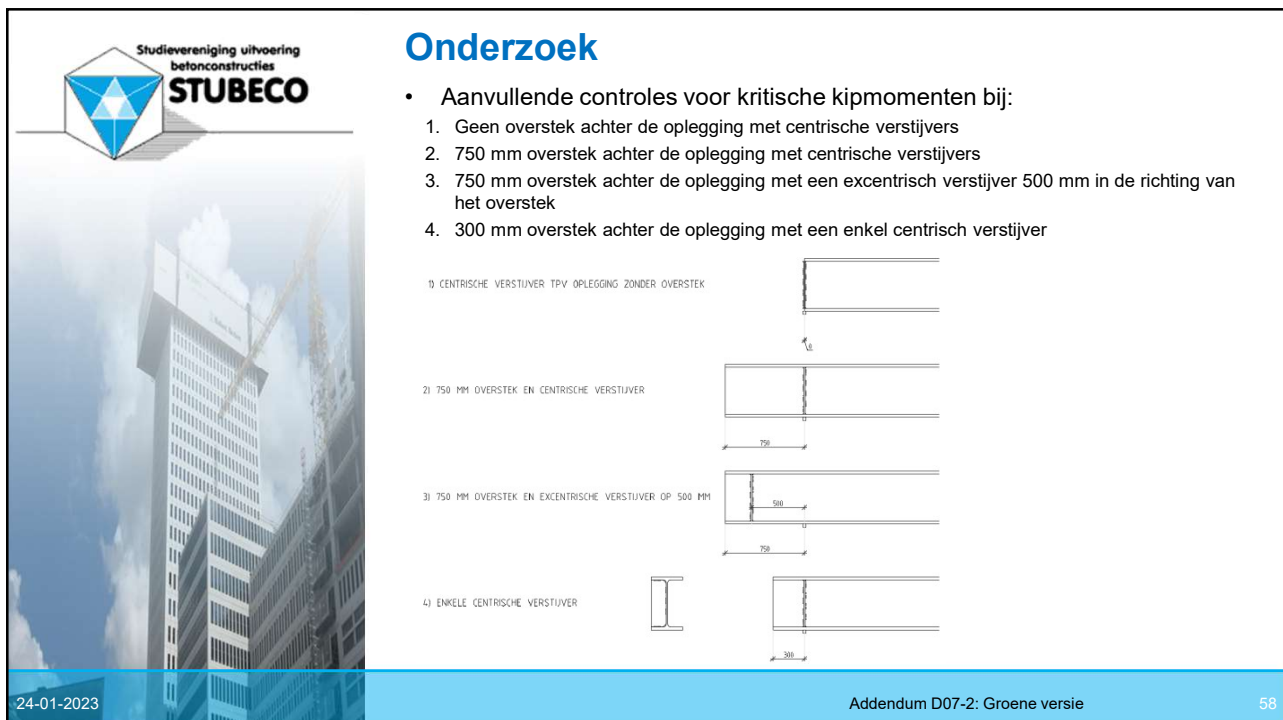
24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
56

56

Rapport Groen D07-2_Addendum

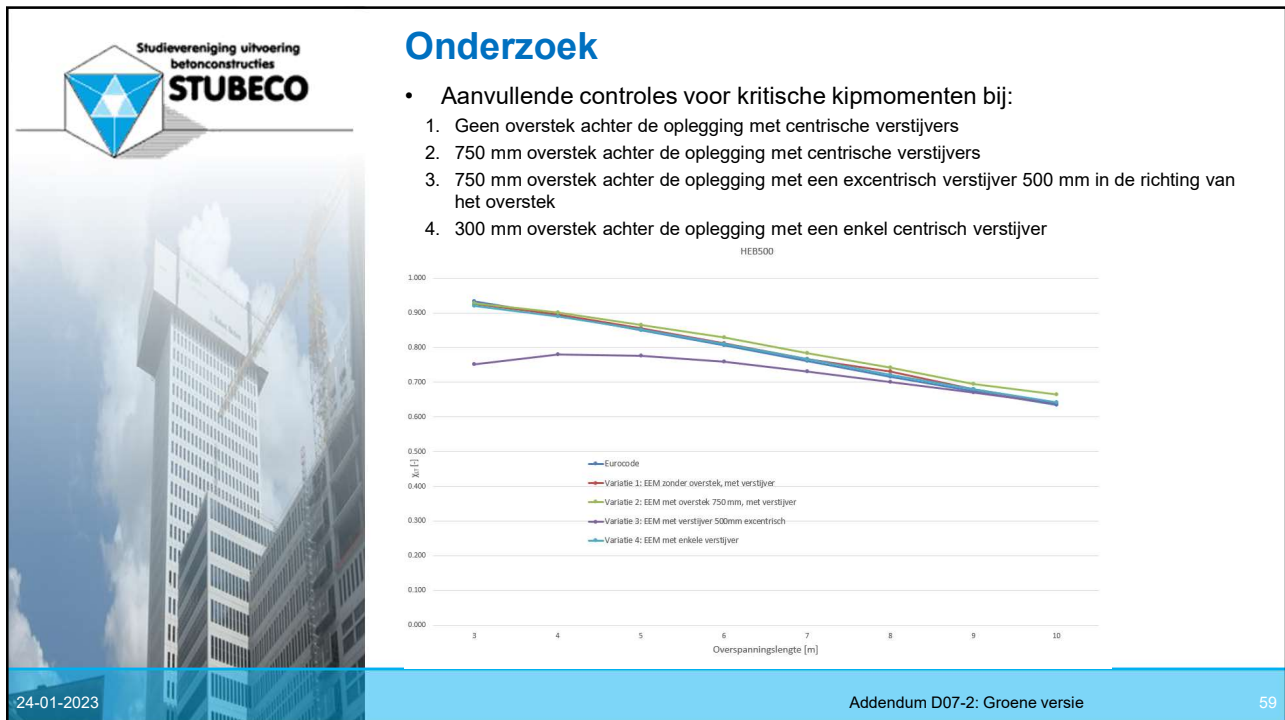


57

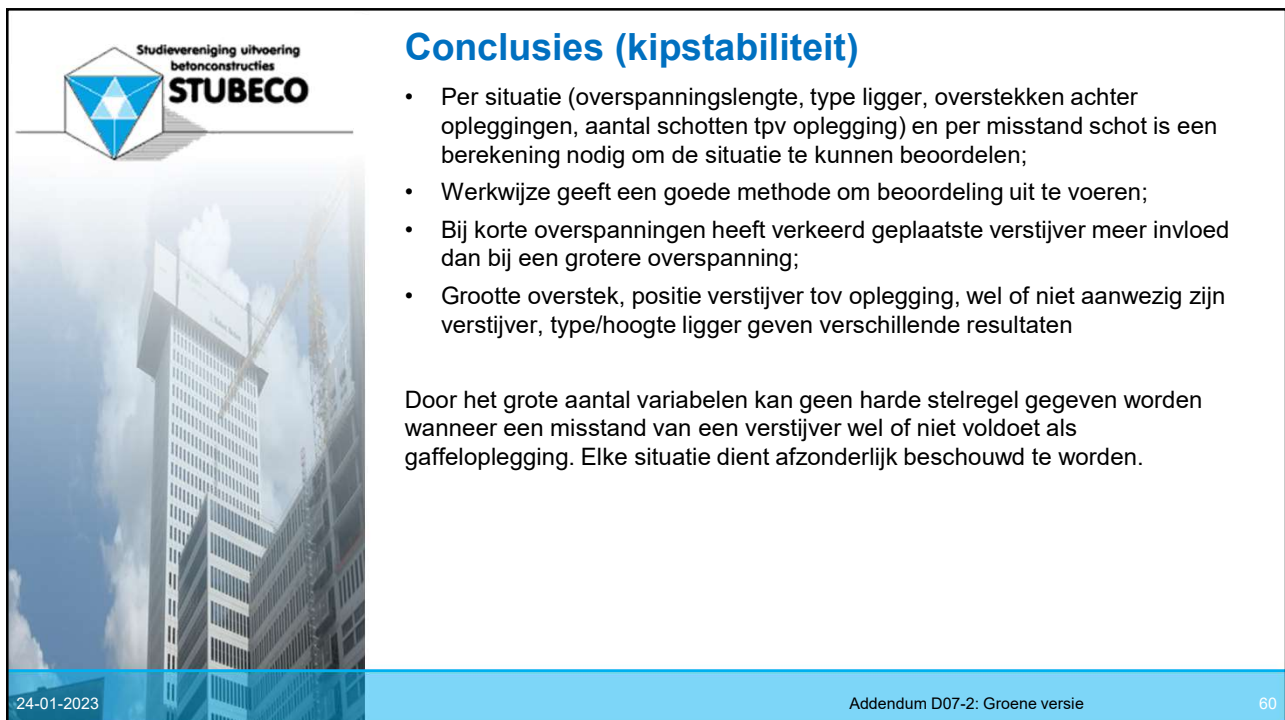


58

Rapport Groen D07-2_Addendum



59



60

Rapport Groen D07-2_Addendum



Addendum

De commissie heeft besloten om voorgaande studies op te nemen in het hier gepresenteerde addendum.

Dit addendum dient dus samen gelezen te worden met rapport D07-2



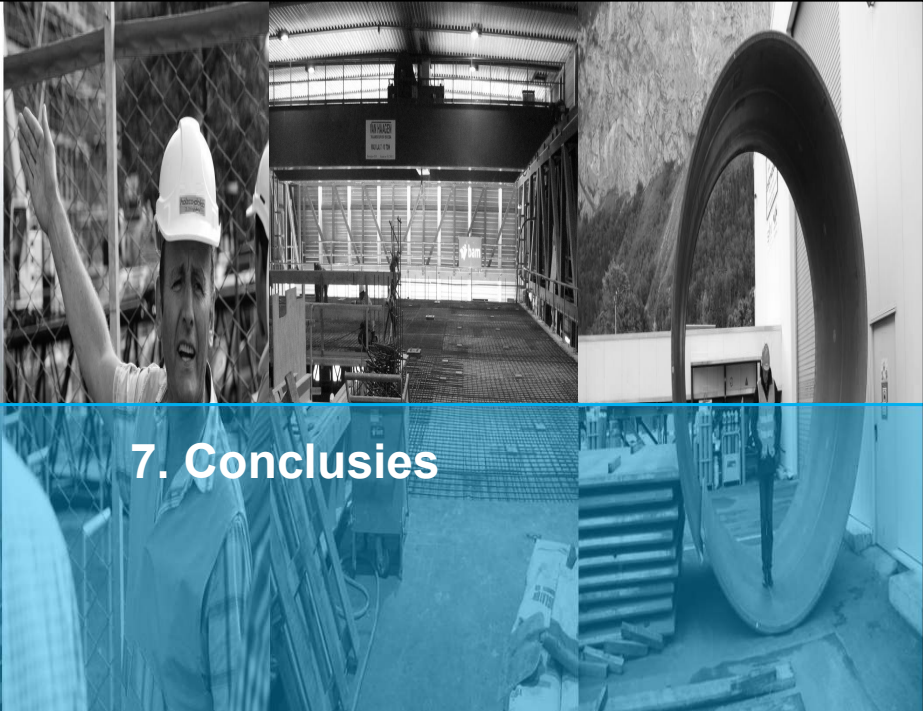




24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
61

61





7. Conclusies

62

Rapport Groen D07-2_Addendum



63



Hoe verder?:

- Beantwoorden vragen en,
- Verwerken opmerkingen in rapport;
- Stellingname Stubeco;

- Aanvullend (praktijk)onderzoek?
- Gebruik in de praktijk?
- Levend rapport?
- **Status rapport?**
- Publiciteit?
- Marktpartijen?

24-01-2023
Addendum D07-2: Groene versie
64

64

Rapport Groen D07-2_Addendum



65



66