

Prins Clausplein

Herberekening tand-nokconstructies

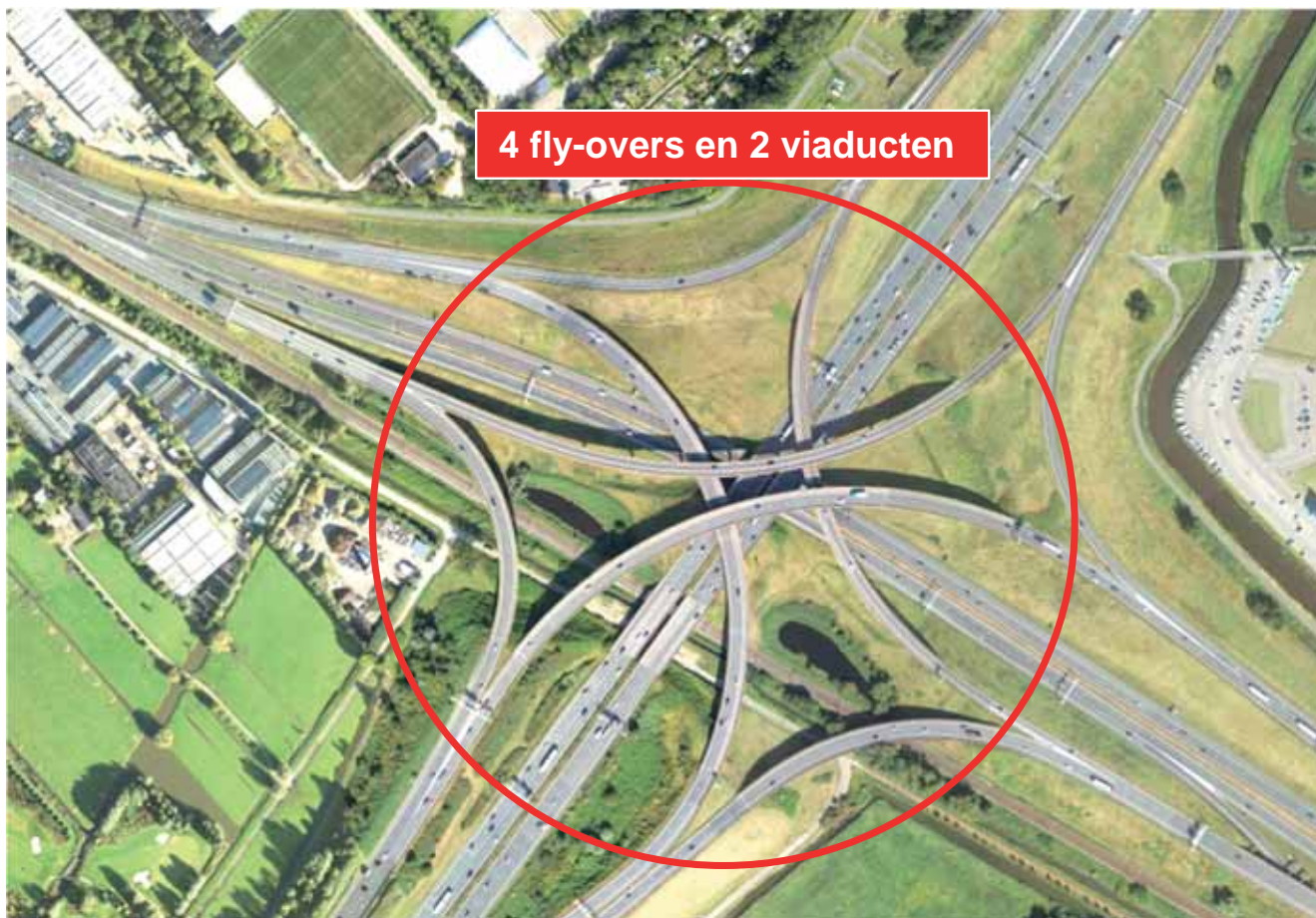
Bruggendag, 12 maart 2026

Douwe Haarsma



Inhoud

- Project
- Problematiek
- Aanpak herberekening
- Constructie Prins Clausplein
- Voorlopige resultaten
- Conclusies en take-aways



Bureau Herberekeningen Bruggen & Viaducten

- Herberekenen van de constructieve veiligheid van:
 - 50 vaste stalen bruggen
 - 40 beweegbare bruggen
 - 240 betonnen bruggen en viaducten
- Opdrachtgever Rijkswaterstaat GPO, ondersteund door TNO en TU Delft
- 6 ingenieurs- en adviesbureaus



Rijkswaterstaat

TNO innovation
for life

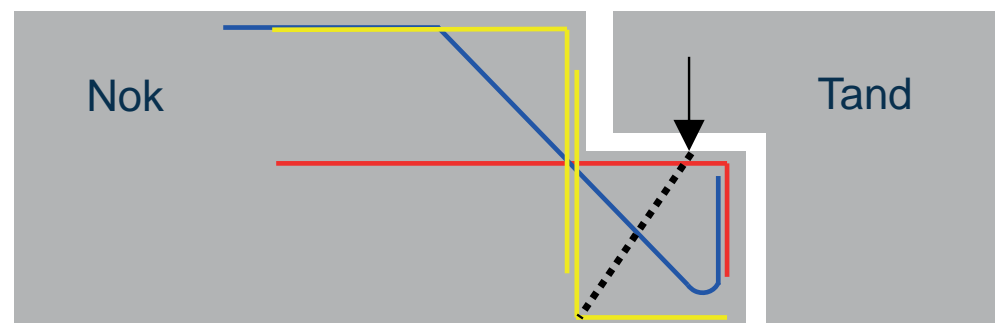
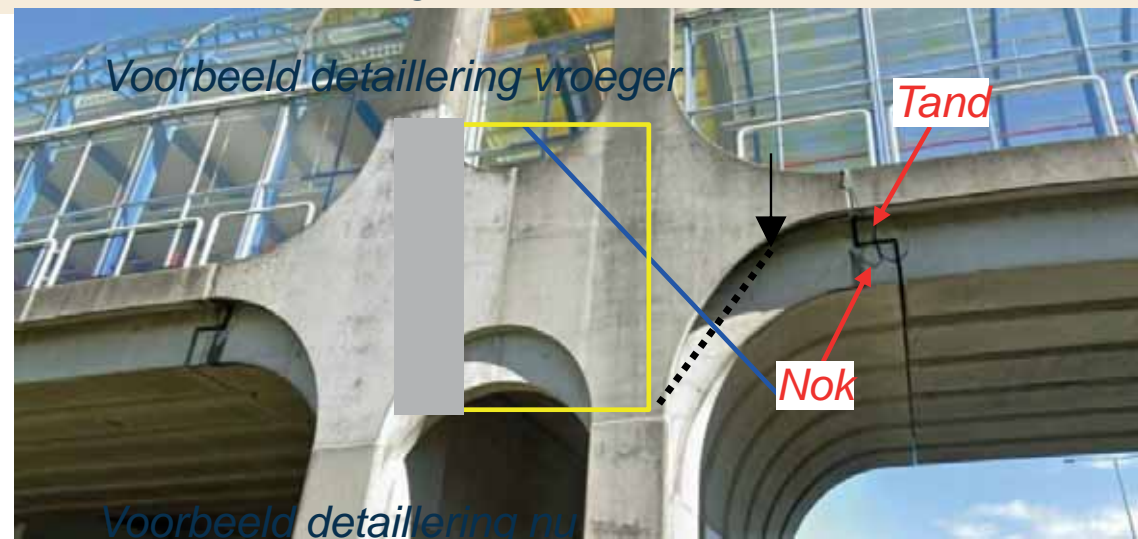
TU Delft



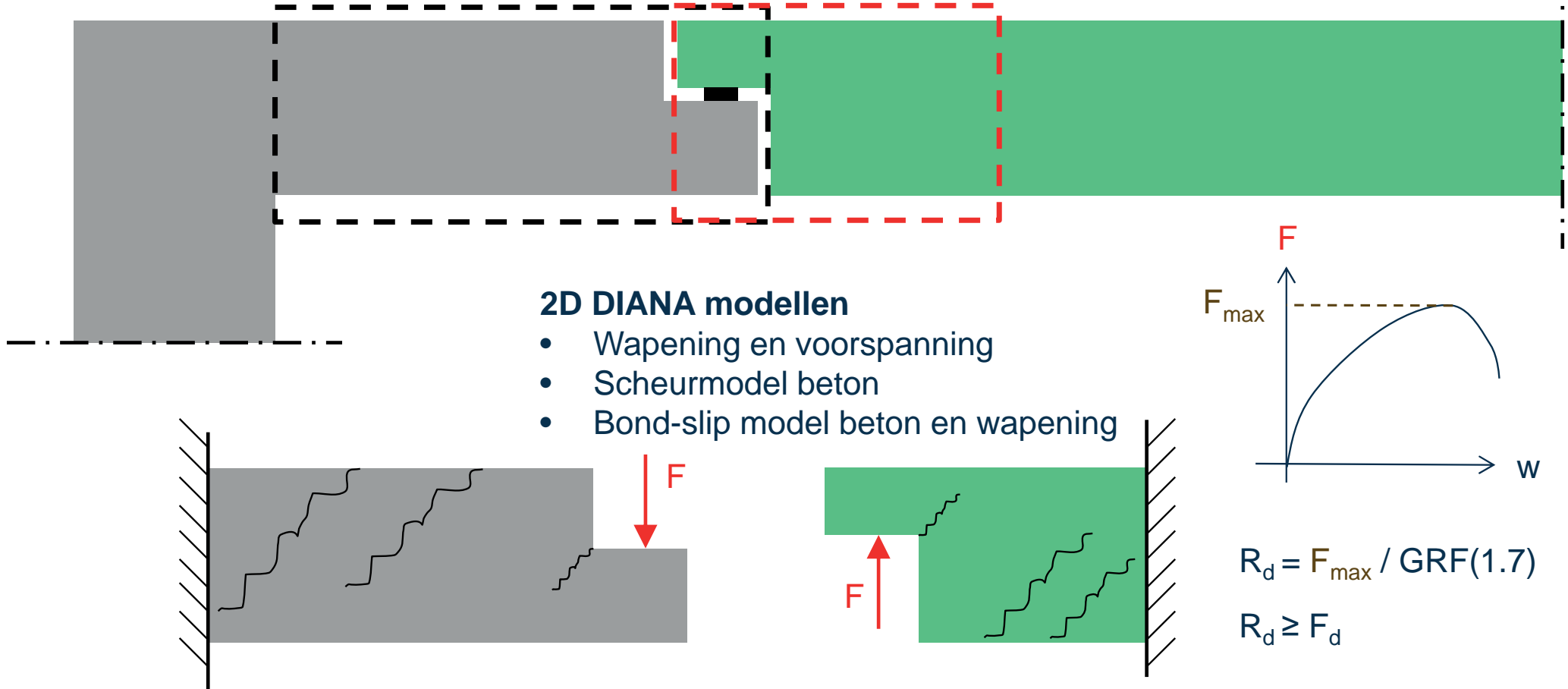
Problematiek en doel

- **Betonnen viaducten met tand-nokconstructies:**
 - Lekkende voegovergangen, chloride-indringing en corrosieschade
 - Onzekerheid over de conditie en weerstand van tanden en nokken, o.a. doordat deze lastig te inspecteren zijn
 - Wapeningsdetailering niet optimaal volgens huidige inzichten
- **Doelstelling:** rekenkundig onderbouwd inzicht in de constructieve veiligheid van de tanden en nokken
- **Berekeningsaanpak:** 2D niet-lineaire eindige elementen analyse (NLFEA) in DIANA FEA

Nelson Mandelabrug, Zoetermeer

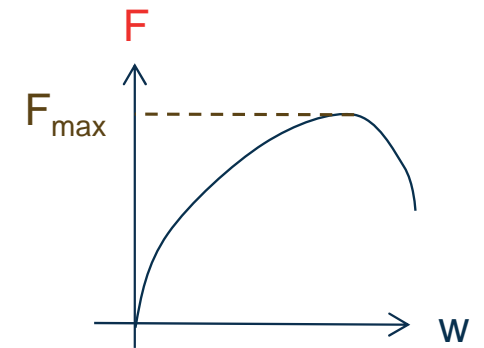


Aanpak



2D DIANA modellen

- Wapening en voorspanning
- Scheurmodel beton
- Bond-slip model beton en wapening



$$R_d = F_{max} / GRF(1.7)$$

$$R_d \geq F_d$$

Historie Prins Clausplein

- Eind jaren '50: aanleg snelweg A4
- Kruising → rotonde “knooppunt Leidschendam”
- Verkeersintensiteit liep snel op tot > 100.000 voertuigen per etmaal
- Noodzaak voor nieuwe kruising met meer capaciteit
- Sterknooppunt → Prins Clausplein (opening in 1985)

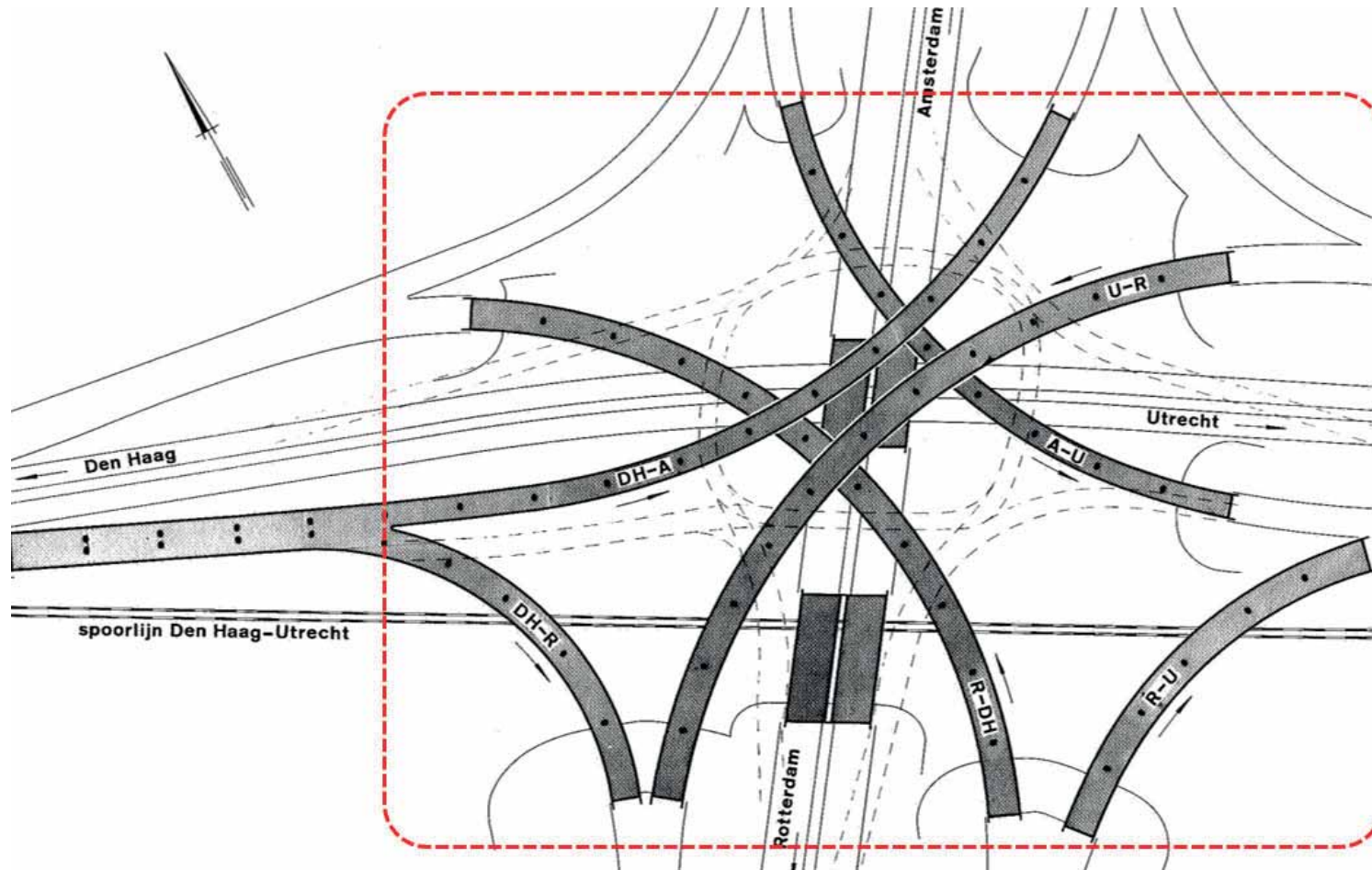


Beeldarchief Rijkswaterstaat

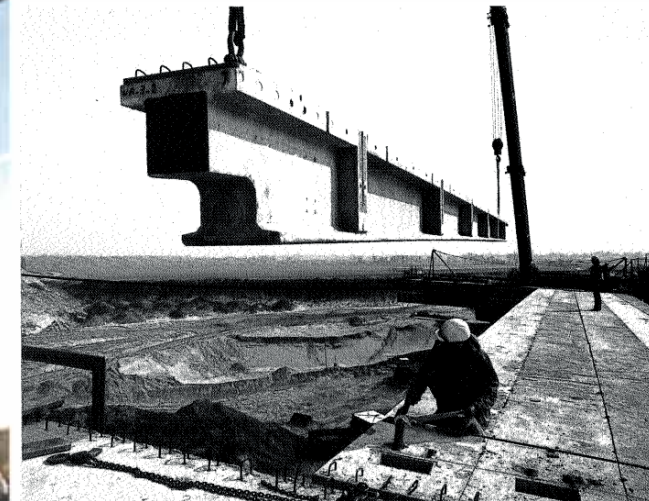
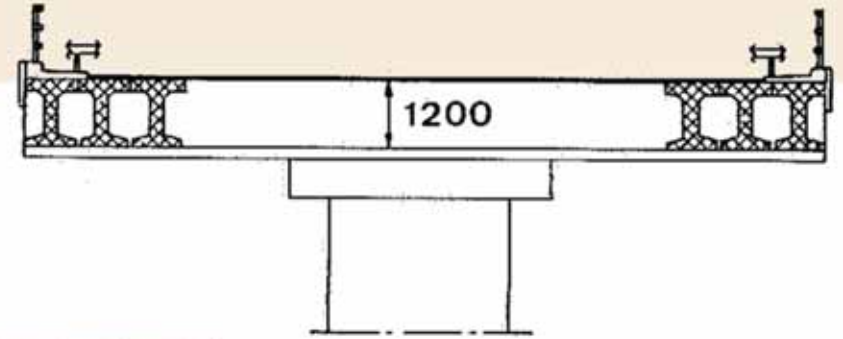
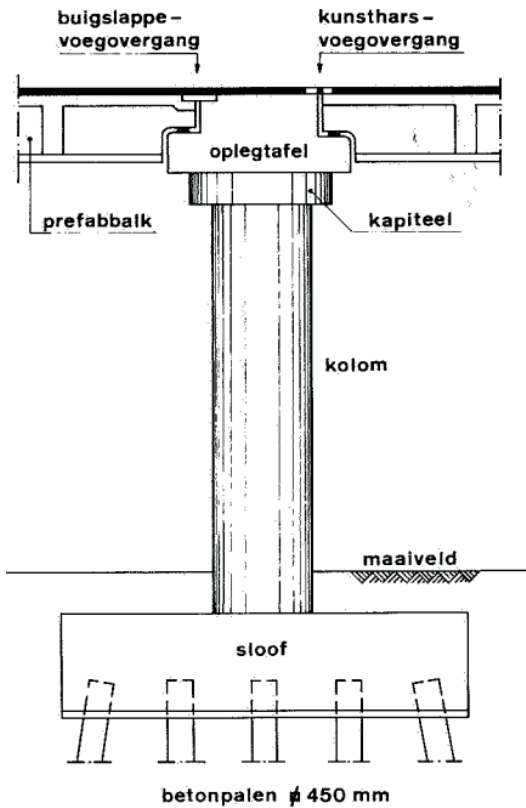


*Fotocollectie Nationaal Archief
Nationaal archief*

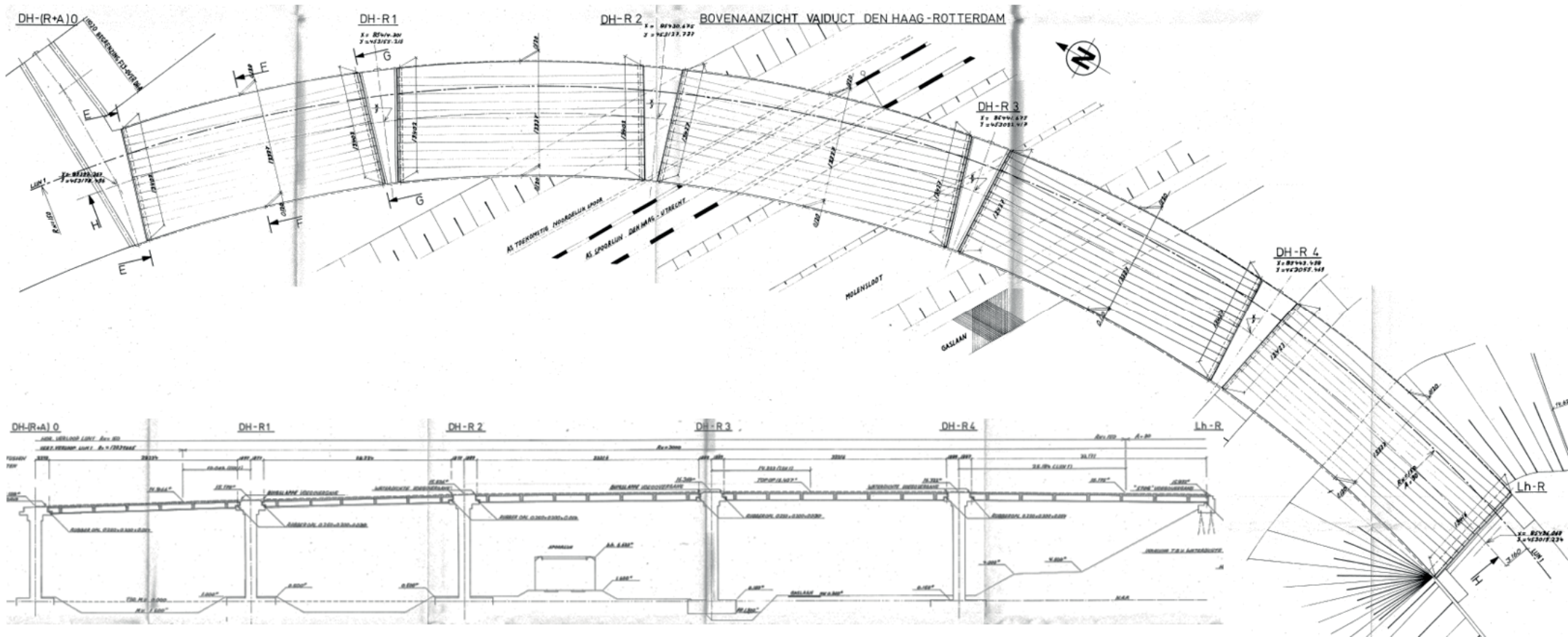
Prins Clausplein



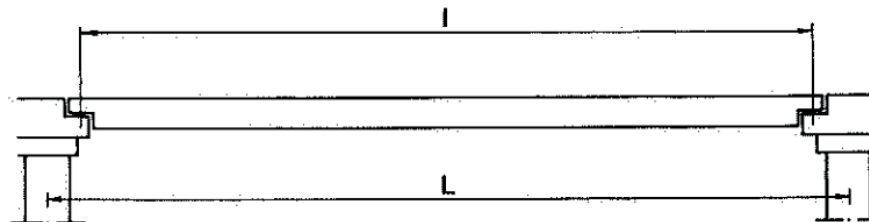
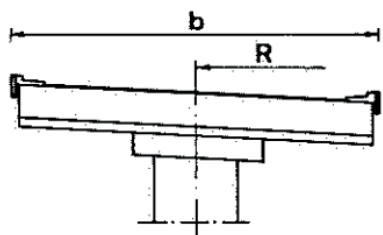
Constructie fly-overs



Constructie fly-overs



Constructie fly-overs

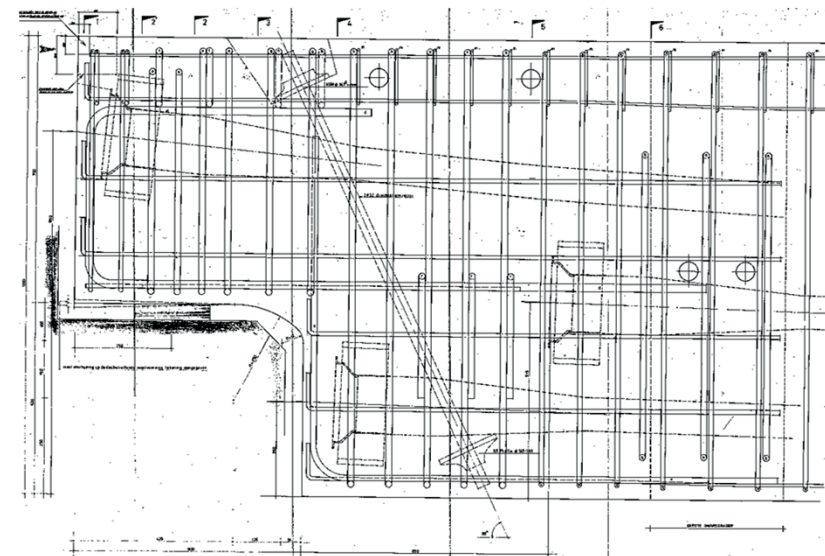
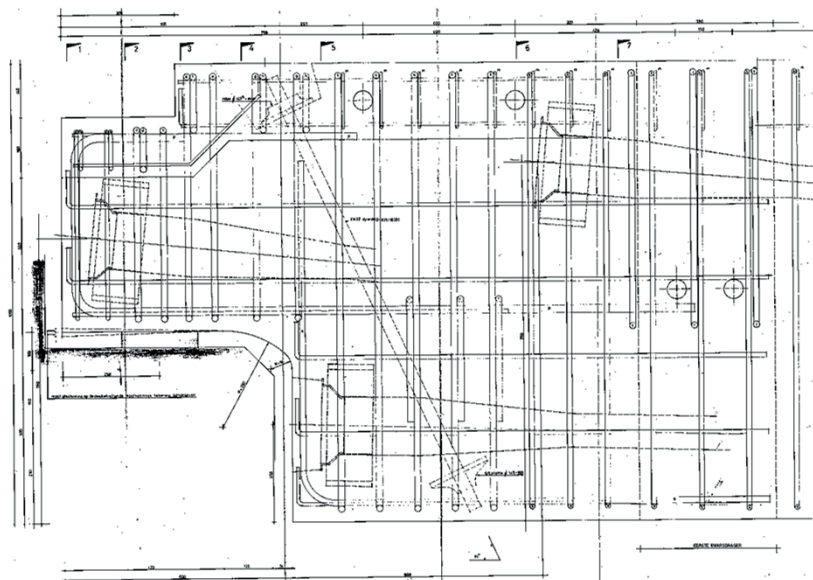
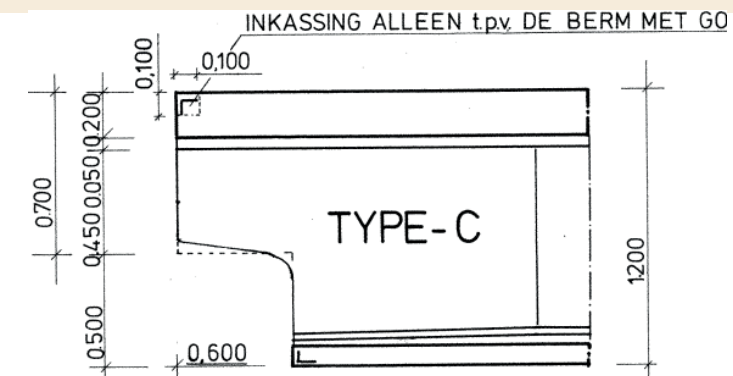
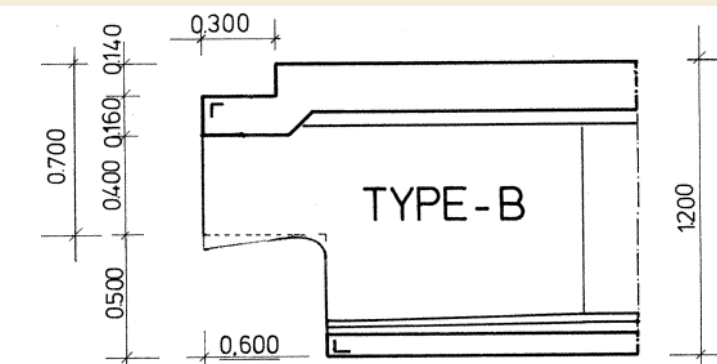


Fly-over / Viaduct	Wegindeling	Hor. straal R [m]	Breedte b [m]	Lengte [m]	
				l	L
Utrecht – Rotterdam	2 rijstr. + vluchtstr.	304,85	14,62	29,60/34,39	32,20/36,99
Den Haag – Amsterdam	1 r.s. + v.s.	322,55	11,02	32,88/33,77	35,48/36,37
Amsterdam – Utrecht	1 r.s. + v.s.	258,25	11,20	30,12/30,96	32,72/33,56
Rotterdam – Den Haag	2 r.s. + v.s.	258,25	14,98	31,56	34,36
Den Haag – Rotterdam	1 r.s. + v.s./2 r.s.	146,84	13,58	28,23/33,22	31,99/36,99
Rotterdam – Utrecht	2 r.s. + v.s.	195,62	15,27	28,17/35,17	31,41/38,45
Den Haag – (A'dam + R'dam)	var.	–	16,33/24,87	31,07/31,24	35,48

Constructie fly-overs

Tanden

- 2 typen
- Variatie in:
 - Hoeveelheid voorspanning in ligger
 - Betonsterkte

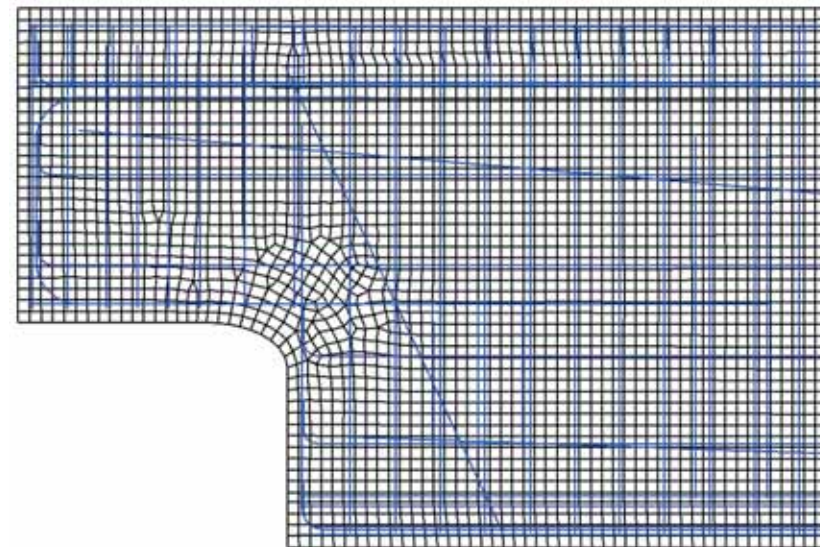
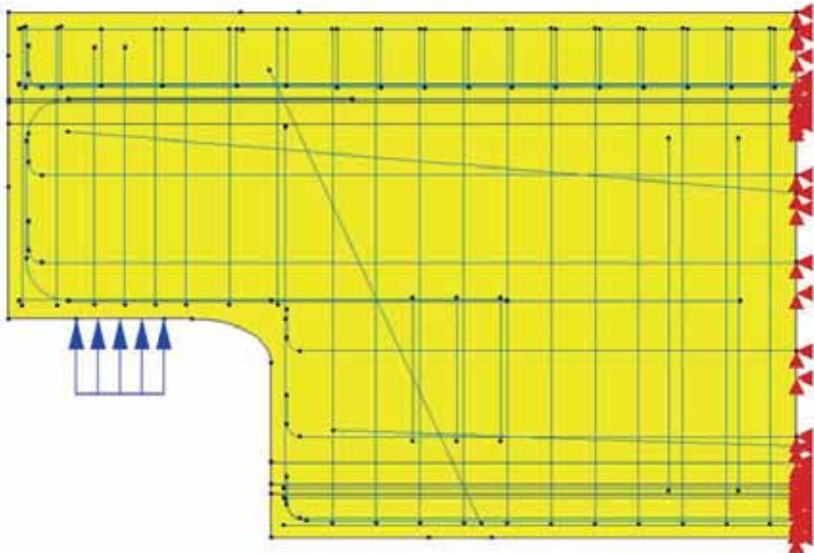


Uitgangspunten en disclaimers

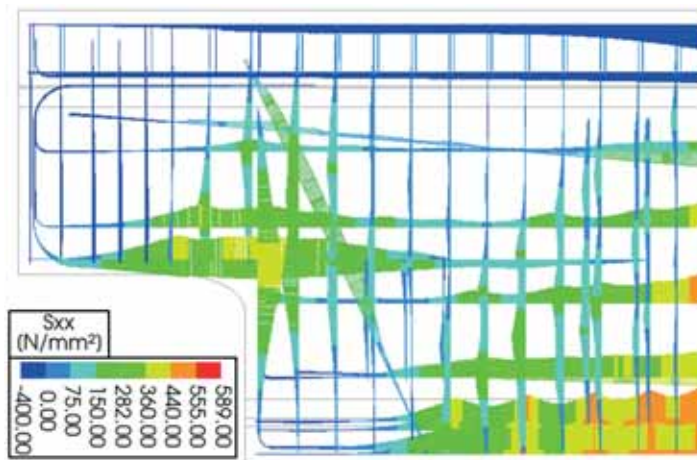
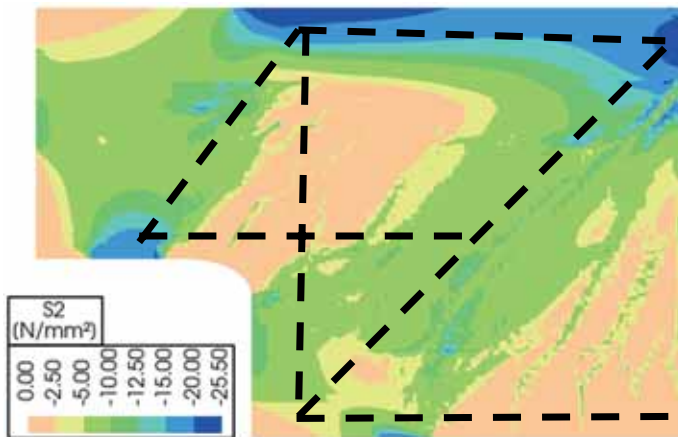
- Project is nog niet volledig afgerond
- Resultaten en conclusies zijn nog concept
- Focus ligt op de tand-nokconstructies, niet op de ligger of oplegtafel
- Rekenmethode is nog niet gevalideerd
 - Veiligheidsfactor (GRF) van 1,7
 - Ricky Tai (TNO) → PhD TU Delft

2D model tand

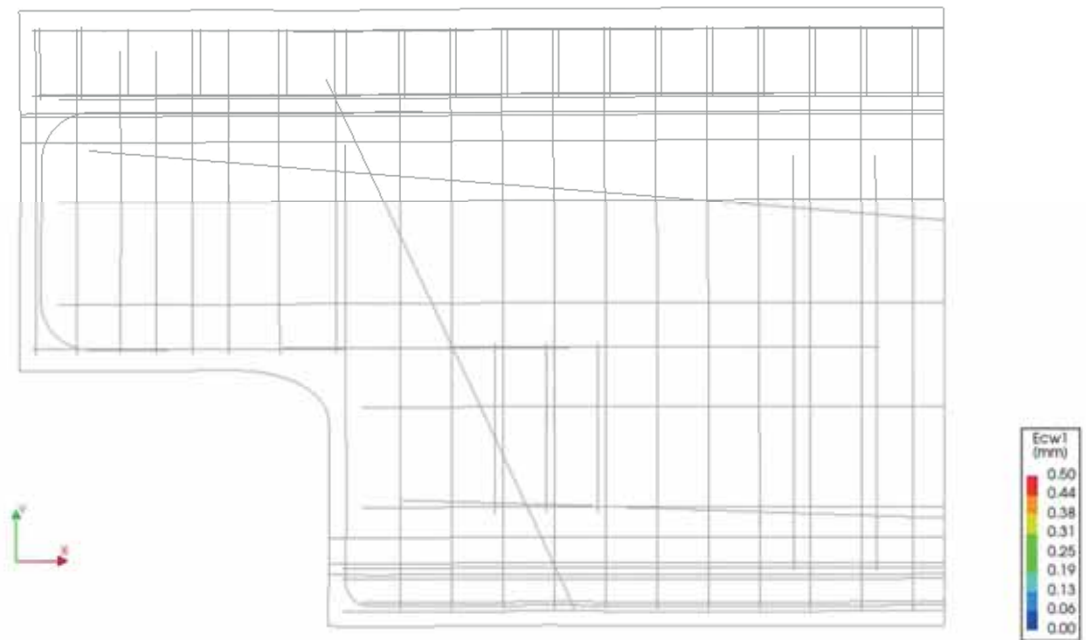
- Type C met voorspanning bovenin de doorsnede (ongunstig)
- Ondergrens qua hoeveelheid langsvoorspanning
- Ondergrens qua betonsterkte
- Maatgevende (fictieve) tand toetsen, waarmee alle tanden worden ondervangen



NLFEA tand

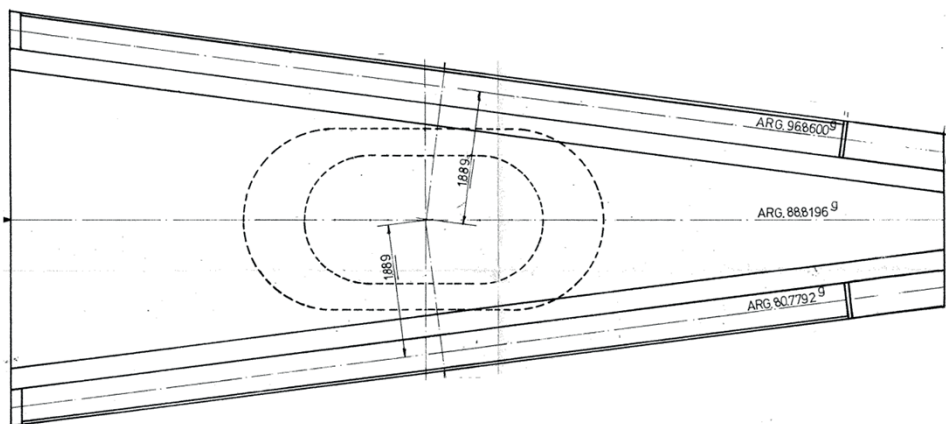


NLFEA
Phase 1, Load-step 1, Load-factor 0.99943, Phase 1
Frame 1/12
Crack-widths Ecw1
min: -0.00mm max: 0.00mm



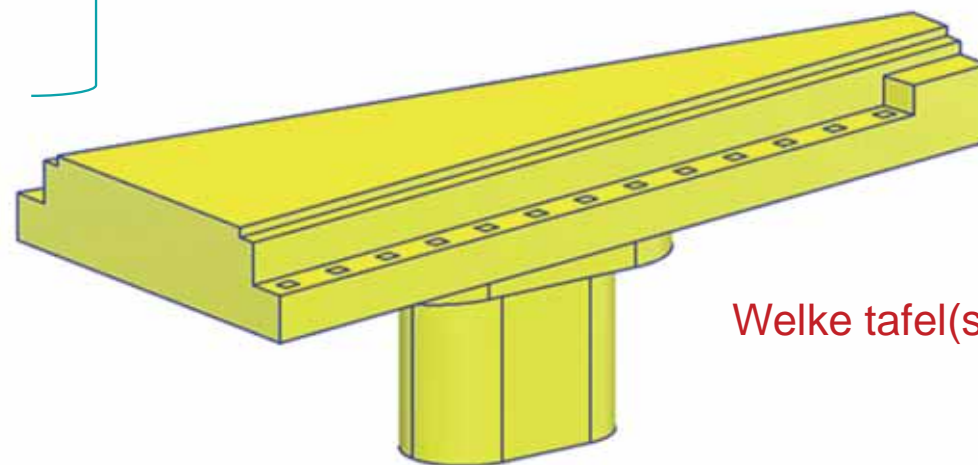
3D effecten en modellering oplegtafel

- Variatie in dwarsrichting (3D effect):
 - Dwarsdruk door voorspanning
 - In hoogte verlopende kabels
 - Verlopende geometrie
 - Centrale kolom
- Wringing (torsie) en dwarskracht (dwarsrichting)
- Ophangwapening (verticale wapening) nodig in dwarsrichting
- Spreiding in nok / oplegtafel



Constructieve veiligheid nokconstructie in oplegtafel:

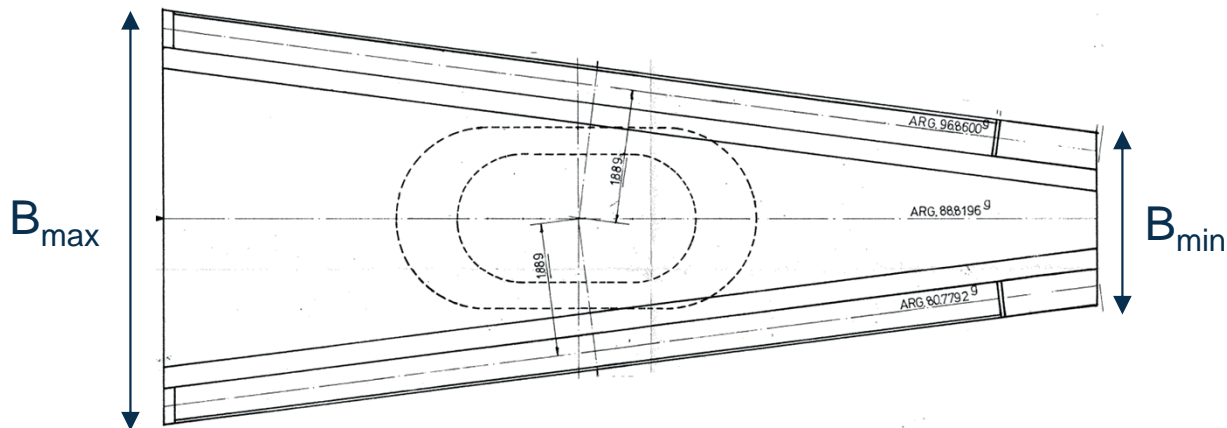
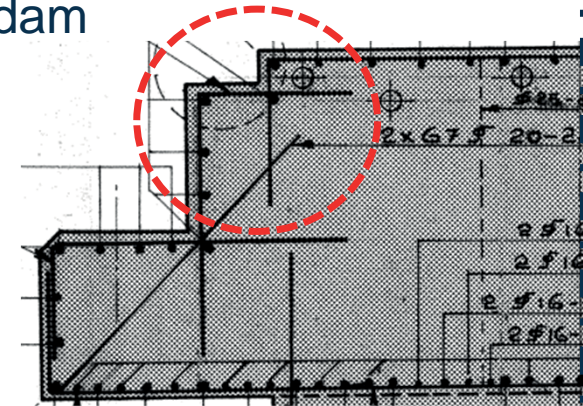
3D NLEE-model oplegtafel



Welke tafel(s)?

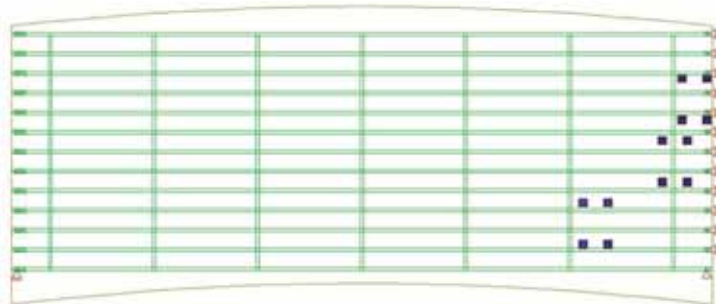
Maatgevende oplegtafel

- Archiefonderzoek / bureaustudie: 3^e oplegtafel Den Haag - Rotterdam
- Grootste B_{\max}
- Grootste $\Delta B = B_{\max} - B_{\min}$
- Ongunstige wapeningsconfiguratie
- Bovengrens belasting met lange aanliggende velden



Modellen en validatie

2D spreidingsmodel
Sofistik



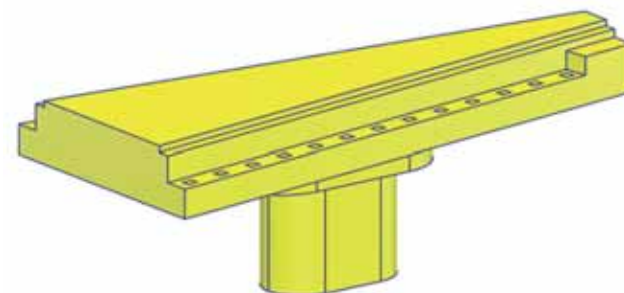
Doel: Bepalen oplegreacties
Validatie: met handberekening

3D lineair model
Sofistik



Doel: Input spreidingsberekening en validatie 3D niet-lineair model
Validatie: met liggermodel en ontwerpberekening

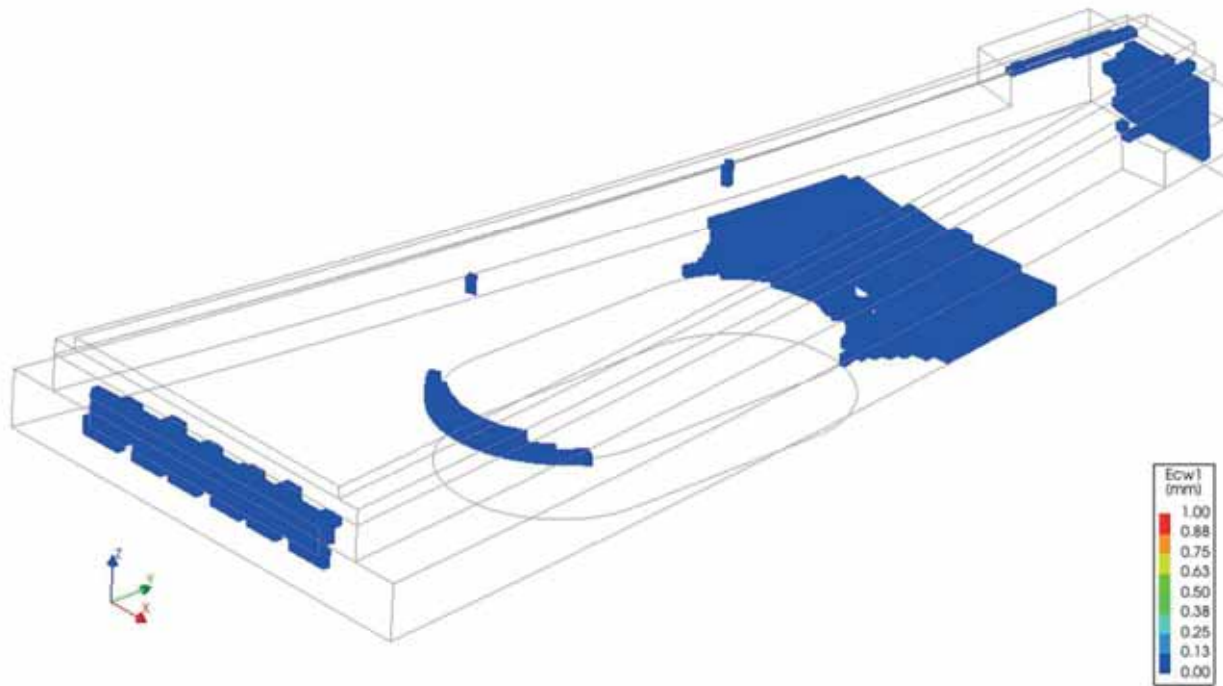
3D niet-lineair model
DIANA



Doel: Bepalen bezwijkcapaciteit
Validatie: met 3D lineair model Sofistik, vakwerkmodel en snedemethode CUR-40

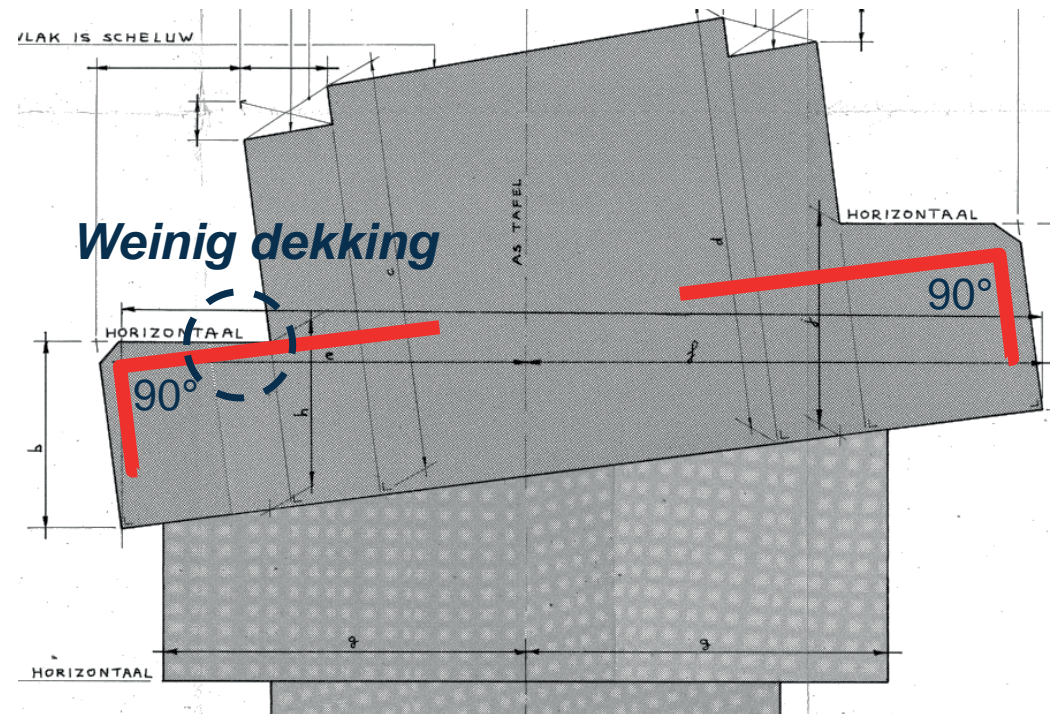
NLFEA oplegtafel

Analysis1
Start-step 1, Load-factor 1.0000
Frame 1/12
Crack-widths Ecw1, node
min: -0.00mm max: 0.27mm



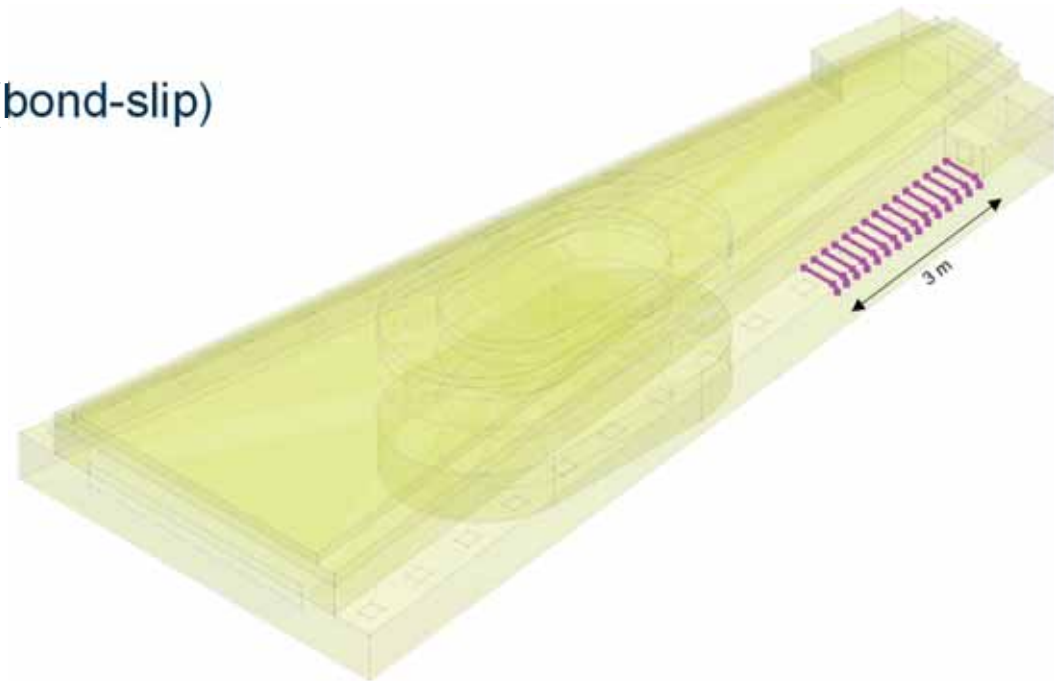
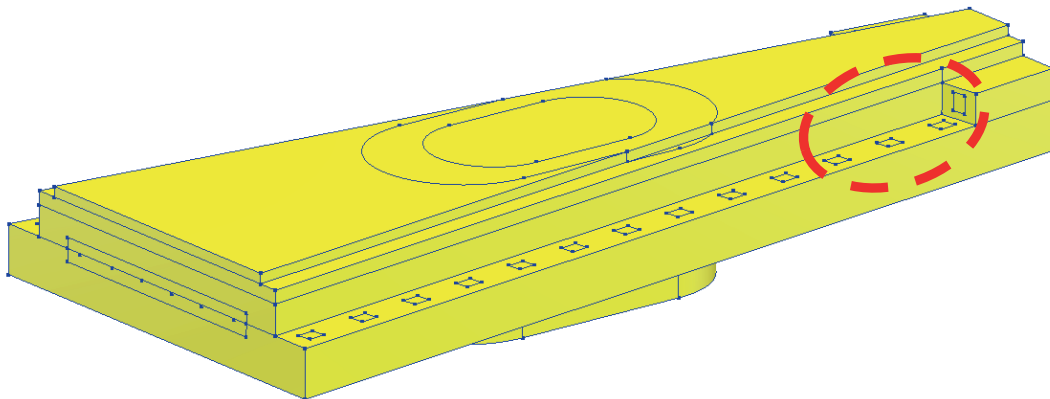
Inspectie

- Berekeningen gaan uit van een onbeschadigde toestand, wat is de werkelijke toestand?
- Gerichte Technische Inspecties tand-nokconstructies door Concept Ingenieurs in mei 2025
- Corrosie van trekbandwapening in nokconstructie



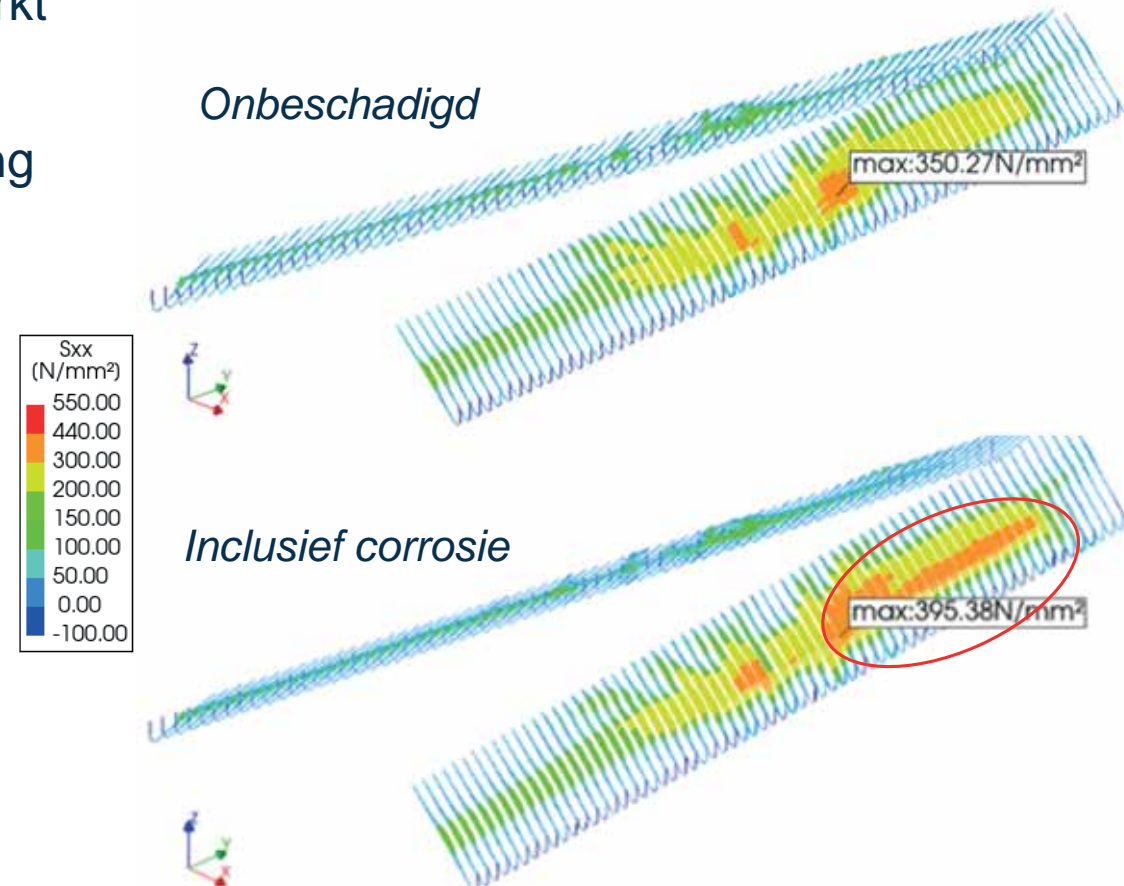
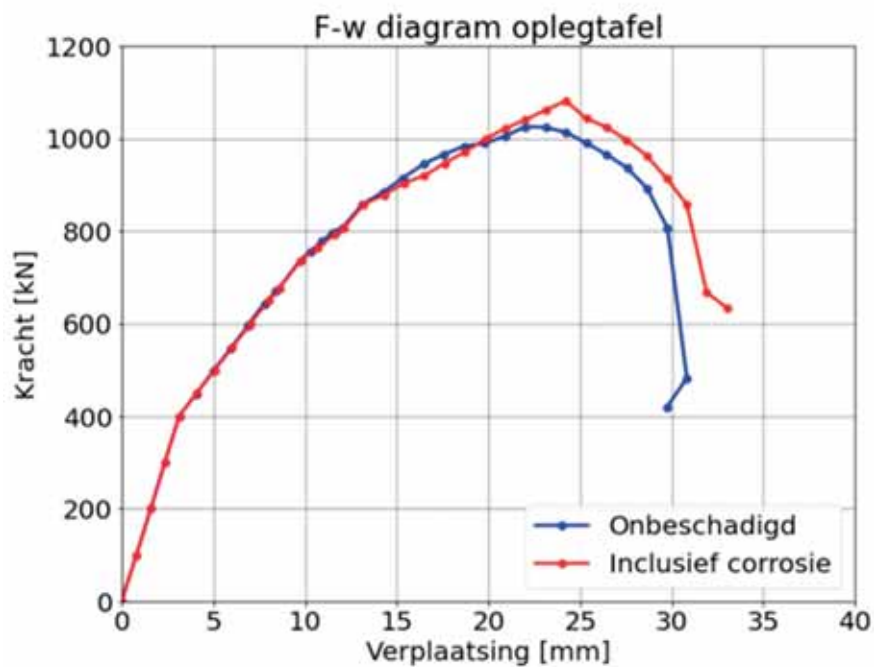
Inspectie

- Maximaal 50% reductie staaloppervlak
- Over 3 m lengte van de nok
- Modelaanpassingen:
 - 50% reductie A_s
 - Zeer lage aanhechtingseigenschappen (bond-slip)
 - Geen tweede tak spannings-rekdiagram



Invloed corrosie

- Invloed corrosie trekbandwapening beperkt
- Numerieke oorzaak
- Tweede draagweg via diagonale wapening



Voorlopige conclusies en take-aways

Voorlopige conclusies

- Tand-nokdetail niet maatgevend
 - Constructie bezwijkt eerder ergens anders
 - Ligger bezweek eerder dan de tand (buiging, dwarskracht)
 - Oplegtafel bezweek eerder dan de nok (buiging, dwarskracht, wringing)
 - Aantasting trekbandwapening heeft hier geen invloed op
- Ophangwapening komt op spanning, ondanks dat deze “de verkeerde kant op is gebogen”
- Voorspanning (in tandconstructie) zorgt voor veel capaciteit

Take-aways

- Inschatten 3D effecten van belang, om herberekening van meerwaarde te laten zijn
- Bestaande tand-nokconstructies zijn kwetsbaar, maar soms sterker dan gedacht
- Corrosie betekent niet direct instortingsgevaar: tweede draagweg of reservecapaciteit
- Validatie van rekenmethodiek is nodig



Bedankt voor jullie aandacht!

Zijn er nog vragen?