



Aan : Ontwerpteam Hofbogen
[redacted] Afdeling Bouw-en
Woningtoezicht,

Stadsontwikkeling
WI & C

Kopie aan : [redacted]

Bezoekadres: De Rotterdam
Wilhelminakade 179, Rotterdam
Postadres: Postbus 1130
3000 BC Rotterdam
Internet: rotterdam.nl

Datum : 12 april 2022

Kenmerk : HBDP-2022-NOT-C003

Van: [redacted]

E-mail: [redacted]

Betreft : Herberekenen van bordesvloer –
inspectiepad, Dakpark Hofbogen.

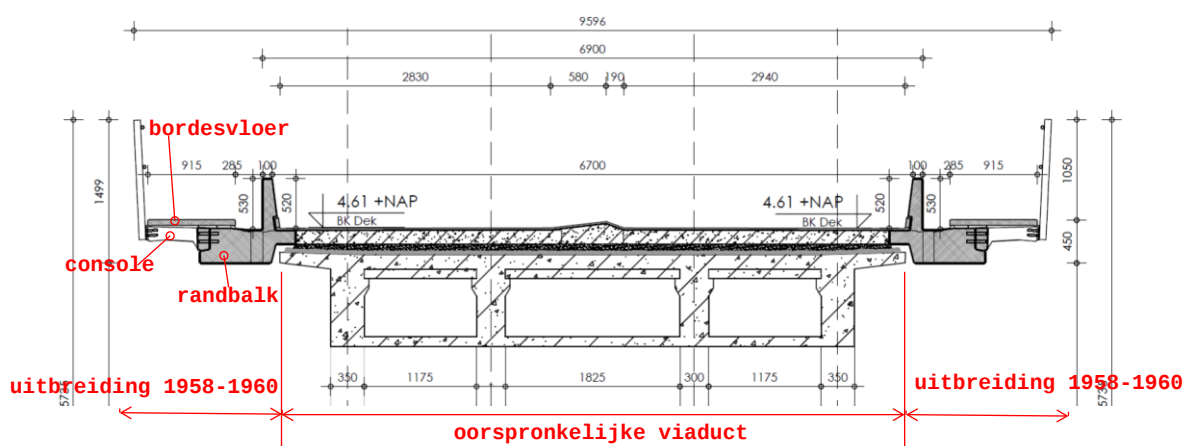
Inleiding[1]

Het Hofpleinviaduct, beter bekend als de Hofbogen, is het resterende deel van de constructie van de voormalige spoorlijn tussen Rotterdam Hofplein en Scheveningen. De onder- en bovenbouw van het oorspronkelijke viaduct zijn gerealiseerd in de periode tussen 1904 en 1908; het is één van de eerste constructies van gewapend beton in Nederland. Het viaduct is gelegen in Rotterdam-Noord en wordt gekenmerkt door zijn lengte van circa 1,8 km en zijn boogconstructies met variërende overspanningslengtes. De spoorlijn is sinds 2006 niet meer in gebruik. In 2017 heeft ProRail de spoorstaven en ballast van het viaduct verwijderd, waardoor het dak over de volledige lengte van het viaduct nu leeg is.

De nieuwe eigenaar van de Hofbogen en de gemeente Rotterdam hebben de intentie om op de huidige dakconstructie een dakpark te realiseren, waarin onder meer permanente buffering en regulering van regenwater gaat plaatsvinden. Het betreft het tracé vanaf het Hofplein tot aan de snelweg A20.

Voorliggende notitie betreft een constructieve herberekening (met bijbehorend onderzoeksadvies) ten aanzien van de bordesvloer als uitkragende elementen. Dit gedeelte van het kunstwerk is later aangebracht, omstreeks 1960 tijdens een grote renovatie van het viaduct.

In de periode 1958-1960 is het gehele kunstwerk gerenoveerd. De oorspronkelijke rand is verwijderd en op het dek is een nieuw betonnen dek aangebracht. Hierdoor werd het mogelijk het dek te verbreden tot ca. 9,6 m.

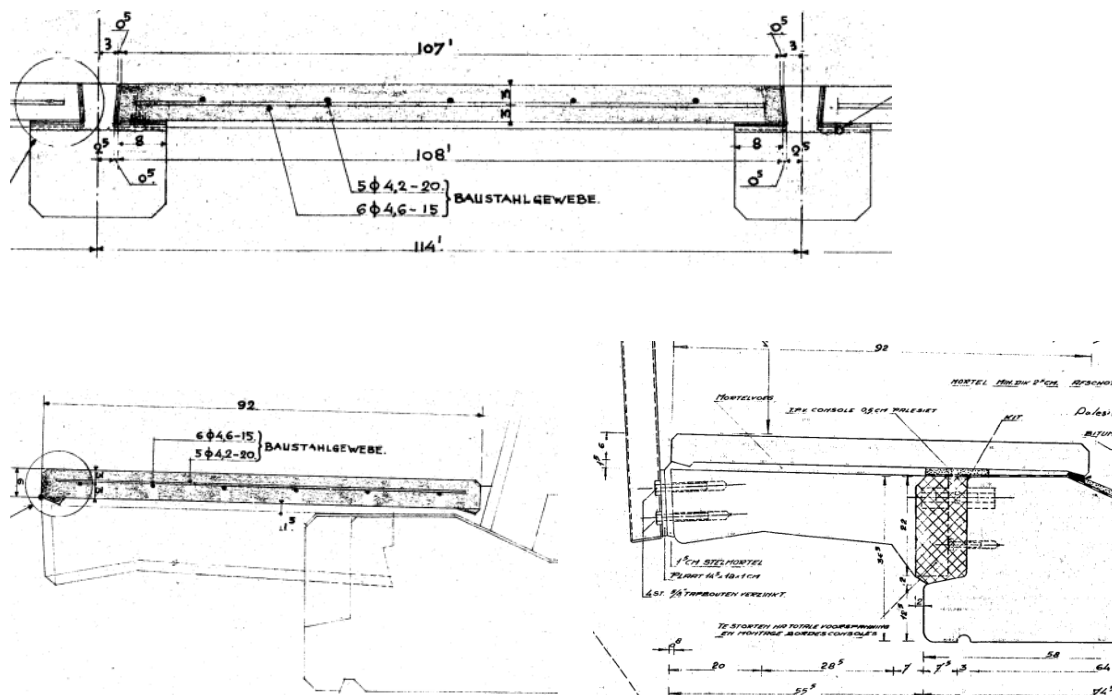


Bordesvloer[1]

De bordesvloer bestaat uit losse betonplaten met een lengte van 1075 mm, een breedte van 920 mm en een dikte van 60 mm. Aan de dwarsranden wordt de plaat ondersteund door een prefab console. De platen zijn gewapend met een wapeningsnet, de langswapening bestaat uit zes staven Ø4,6. De dwarswapening bestaat

uit vijf staven $\varnothing 4,2$. De kwaliteit wapeningsstaal is niet onderzocht. De aangenomen wapeningskwaliteit is QR22.

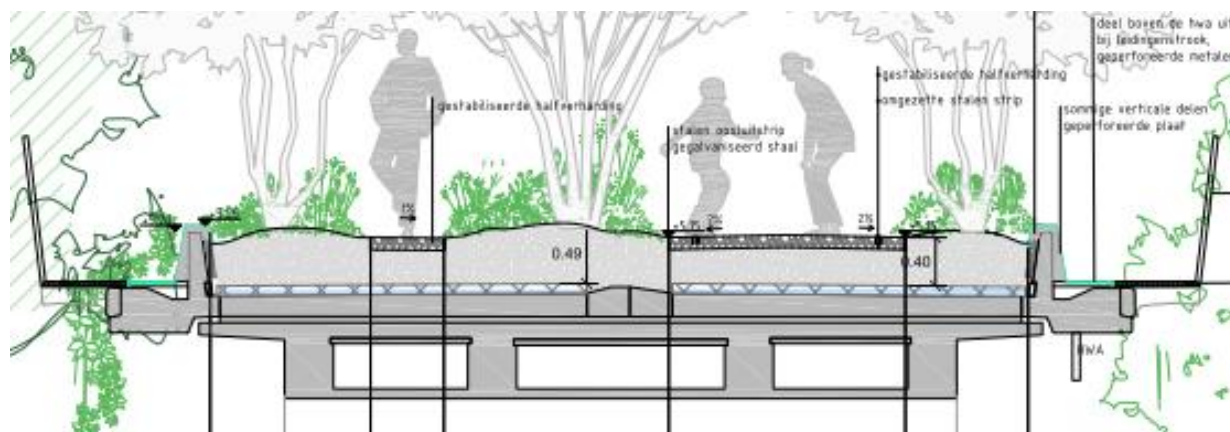
Een overzicht van de wapeningsconfiguratie van de plaat is weergegeven in onderstaande figuren.



De bordesvloer wordt ondersteund door de prefab consoles die geplaatst zijn met een hart-op-hart afstand van 1,14 m. De bordesvloer ligt ook deels op de randbalken, waardoor de plaat als het ware over drie zijdes wordt ondersteund.

Toekomstige gebruik van bordesvloer

In het toekomstige ontwerp blijft de bordesvloer van dit viaduct in principe dezelfde functie van inspectiepad houden.



De inspectiepaden aan de zijanten van het viaduct behoren niet tot de normale gebruiksruimte van het dakpark. Deze inspectiepaden vallen buiten de gebruiksbegrenzing van het dakpark. Maar de inspectiepaden zijn niet fysiek gescheiden van het dakpark. Daardoor worden de inspectiepaden ingedeeld in gebruiksklasse C (NEN-EN 1991-1-1 tabel 6.1).

De bestaande constructie onderdelen van de inspectiepaden zijn voor de herberekening ingedeeld in gevolgklasse CC2, verbouwniveau met een ontwerplevensduur van 30 jaar.

Belastingen

Permanente belasting

24 kN/m³ is voor het gewicht - bestaande beton dat meer dan 60 jaar oud is en minimaal gewapend is - aangehouden.

$$G_{\text{plaat}} = 0,06\text{m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 1,44 \text{ kN/m}^2$$

Veranderlijke belasting

Voor klasse C5, gelden de volgende verticale belastingen op een vloer volgens tabel NB.1 - 6.2 uit NEN-EN 1991-1-1:

- Een oppervlaktelast (q_k) van 5 kN/m² of een puntlast (Q_k vrije belasting) van 7 kN
De afmetingen van de puntlast gelijk aan 0,1 m × 0,1 m.
- In het geval van vrije randen, zoals bij overkragende vloeren, trapopeningen en balkons, moet een lijnlast zijn toegepast van ten minste $q_k = 5 \text{ kN/m}$ over een lengte van 1m en binnen een afstand van 0,1 m van de rand. Deze lijnlast hoeft niet gecombineerd te zijn met andere belastingen.

De oppervlakte belasting (5kN/m²) is gebaseerd op de mogelijke aanwezigheid van een mensenmassa [2].

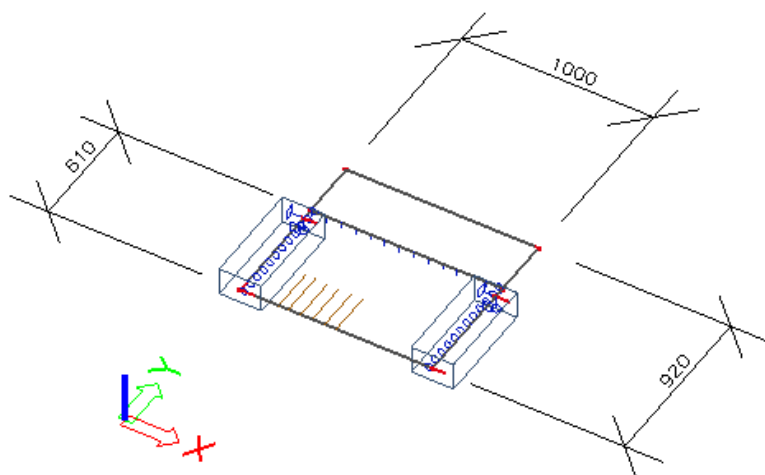
De puntlast (7kN) is gebaseerd op de maximale wiellast van een handhefttruck [2].

In de lijnlast is rekening gehouden met lastconcentratie zoals bij een verhuizing [3].

De mogelijke belasting die op deze inspectiepad zou kunnen optreden is een mensenmassa. De andere twee belastingen zijn op dit inspectiepad niet mogelijk en daardoor is niet van toepassing verklaard.

Modellering

De betonnen plaat wordt gemodelleerd als 3-zijdig ondersteunde plaat met onderstaande geometrie.



De plaat is scharnierend opgelegd op de consoles. Consoles zijn volledig ingeklemd aan de randbalk. En de plaat is verticaal star opgelegd op randbalk; m.a.w. deze oplegging is alleen maar op druk belast. In de modellering zijn slechts de oplegcondities op de randbalk mee gemodelleerd. In tegenstelling tot de consoles is de randbalk als element niet mee gemodelleerd.



Resultaten

De invoer en uitvoer van deze berekeningen is opgenomen in bijlage 1.

De resultaten daarvan zijn opgesomd in de volgende tabel.

Combinatie	m_{Exd-} (kNm/m)	m_{Eyd+} (kNm/m)	V_{Ed} (kN/m)
1,15 x Eigengewicht + 1,3 x gelijkmatig verdeelde 5kN/m ²	0,52	0,33	< 5,62

In bijlage 2 is de momentcapaciteit van de betonnen plaat geanalyseerd met betonkwaliteit C20/25 en opgesomd in de volgende tabel.

m_{Rxd-} (kNm/m)	m_{Ryd+} (kNm/m)	V_{Rd} (kN/m)
0,66	0,42	14

De werkelijke betonkwaliteit van deze platen is onbekend en dient door middel van beproeving bepaald te worden. De verwachting is dat deze hoger of gelijk aan C20/25 zal zijn.

$UC = m_{Exd-} / m_{Rxd-} = 0,52 / 0,66 = 0,79 < 1 \Rightarrow$ akkoord.

$UC = m_{Eyd-} / m_{Ryd-} = 0,33 / 0,42 = 0,79 < 1 \Rightarrow$ akkoord.

$UC = V_{Ed} / V_{Rd} = 5,6 / 14 = 0,4 < 1 \Rightarrow$ akkoord.

De capaciteit van aanwezige wapening is voldoende om de belastingeffecten van de gelijkmatig verdeelde belasting van 5 kN/m² in de UGT op te kunnen nemen.

In de bijlage 2 wordt ook een alternatieve toetsing uitgevoerd volgens hoofdstuk 12 van EC2. Daaruit blijkt ook dat slechts de capaciteit van ongewapende plaat met betonkwaliteit C20/25 ruim voldoende is om de belastingeffecten op te nemen.

Uit te voeren materiaal- en constructie-onderzoeken

De volgende zaken dienen onderzocht te worden m.b.t. bordesvloer platen:

- Toestandinspectie B2 van CUR Aanbeveling 117; de waarnemingsafstand is handafstand; afwijkende plaatafmetingen en opleggingen in kaartbrengen.
- Voorafgaand aan de waarneming dient eventueel aanwezige verhullende vervuiling verwijderd te worden.
- Schadebeelden dienen vastgelegd te worden met bijbehorende foto's.
- Hersteladvies van elke geconstateerde schade. Daar waar dit van toepassing is conform CUR aanbeveling 118 en 119 adviseren.
- Onderzoek aanvullen met het bepalen van chlorideindringing en het bepalen van carbonatatiefrent;
- Onderzoek aanvullen met betonsterkte bepaling; zowel druksterkte als splijttreksterkte bepalen;
- Bepalen van betondekking en wapeningconfiguratie;
- Door middel van visuele inspectie dient er een uitspraak gedaan te worden over ASR-aantasting zowel bij geboorde kernen als bij zichtzijde van platen;
- Bepalen soortelijk gewicht van beton;
- Bij de visuele inspectie van deze platen wordt eerst bepaald welke platen als kwalitatief minder zijn. Deze platen krijgen de voorkeur om op bovengenoemde kenmerken onderzocht te worden;



- Minimaal aantal kernen voor druksterkte bepaling is 6 stuks. Druksterkte dient te worden bepaald volgens gangbare normen en richtlijnen;
- Elk onderzoek dient op een transparante manier in de rapportage opgenomen te worden o.a. eventueel met bijbehorende foto's en tekeningen/schetsen.

[1] - "De Hofbogen te Rotterdam, Verificatieberekening voorgespannen betondek en randelementen, Documentnummer 40245-BER-08, Versie 2.0, Status Definitief, Datum 26 maart 2021".

[2] - TNO rapport B-89-227: Achtergronden van de belastingen volgens concept, NEN 6702, juni 1989

[3] - TNO rapport 060-DMT-2011-01168: Opstellen Nationale Bijlagen Eurocode, Eindrapport kalibratie belastingen, Gebouwen en Bruggen, 23 september 2011.

Bijlage 1: EEM berekening van bordesvloer voor CC2, verbouwniveau

Bijlage 2: Analyse moment- dwarskrachtcapaciteit van de bordesvloer

Bijlage 1: EEM berekening van bordesvloer voor CC2, verbouwniveau

1. Project

Licentienaam	Gemeente Rotterdam
Project	Hofbogen
Onderdeel	looppad
Omschrijving	bestaande betonplaat
Auteur	Gemeente Rotterdam
Datum	06. 10. 2021
Constructie	Plaat XY
Aantal knopen :	16
Aantal staven :	4
Aantal platen :	4
Aantal vaste lichamen :	0
Aantal gebruikte doorsneden :	1
Aantal belastingsgevallen :	2
Aantal gebruikte materialen :	3
Gravitatieversnelling [m/s ²]	10,000
Nationale norm	EC - EN

2. Materialen

Naam	Type	ρ [kg/m ³]	Dichtheid in natte toestand [kg/m ³]	E_{mod} [MPa]	μ	α [m/mK]	$f_{c,k,28}$ [MPa]	Kleur
C25/30 gewicht 24	Beton	2400,0	2400,0	3,1500e+04	0.2	0,00	25,00	■
C20/25 gewicht 24	Beton	2400,0	2400,0	3,0000e+04	0.2	0,00	20,00	■
C20/25 gewichtloos	Beton	0,0	0,0	3,0000e+04	0.2	0,00	20,00	■

Verklaring van symbolen

Dichtheid in natte toestand	De waarde van de dichtheid van het kenmerk nieuwe toestand wordt alleen gebruikt als een samengesteld dek wordt ingevoerd en rekening wordt gehouden met de belasting van het eigengewicht.
-----------------------------	---

3. UCS

Huidig UCS		
Type	vector	
X [m], Y [m], Z [m]	0,000	0,000
X-X, X-Y, X-Z	1	0
Y-X, Y-Y, Y-Z	0	1

4. Belastingsgevallen

Naam	Omschrijving	Actie type	Lastgroep	Richting	Duur	'Master' belastingsgeval
	Spec	Belastingtype				
BG1	Eigen gewicht	Permanent	LG1	-Z		
		Eigen gewicht				
BG2	VB-gelijkmatig	Variabel	LG2		Kort	Geen
	Standaard	Statisch				

5. Belastinggroepen

Naam	Last	Relatie	Type
LG1	Permanent		
LG2	Variabel	Exclusief	Cat A : Woning

6. Vlaklast

Naam	Rich	Type	Waarde [kN/m ²]	2D-element	Belastingsgeval	Systeem	Loc
SF1	Z	Kracht	-5,00	E1	BG2 - VB-gelijkmatig	LCS	Lengte
SF3	Z	Kracht	-5,00	E3	BG2 - VB-gelijkmatig	LCS	Lengte

7. Combinaties

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
UGT-Set B (automatisch)		EN-UGT (STR/GEO) Set B	BG1 - Eigen gewicht	1,00
			BG2 - VB-gelijkmatig	1,00
BGT-kar (automatisch)		EN - BGT Karakteristiek	BG1 - Eigen gewicht	1,00
			BG2 - VB-gelijkmatig	1,00
BGT-quasi (automatisch)		EN-BGT Quasi-permanent	BG1 - Eigen gewicht	1,00
			BG2 - VB-gelijkmatig	1,00
UGT_b		Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	1,15
			BG2 - VB-gelijkmatig	1,30

8. Niet-lineaire combinaties

Naam	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
NLCombi1	Uiterste Grenstoestand	BG1 - Eigen gewicht	1,00
NLCombi2	Uiterste Grenstoestand	BG2 - VB-gelijkmatig	1,00
NLCombi3	Uiterste Grenstoestand	BG1 - Eigen gewicht	1,15
		BG2 - VB-gelijkmatig	1,30

9. 2D-elementen

Naam	Laag	Type	Element type	Materiaal	Dikte type	D. [mm]
E1	Laag1	vloer (90)	Standaard	C25/30 gewicht 24	constant	60
E2	Laag1	vloer (90)	Standaard	C25/30 gewicht 24	constant	60
E3	Laag1	vloer (90)	Standaard	C20/25 gewicht 24	constant	60
E4	Laag1	vloer (90)	Standaard	C20/25 gewicht 24	constant	60

10. Staven

Naam	Doorsnede	Materiaal	Lengte [m]	Beginknoop	Eindknoop	Type
S1	CS1 - Rechthoek (150; 220)	C20/25 gewichtloos	0,550	K2	K18	Algemeen (0)
S2	CS1 - Rechthoek (150; 220)	C20/25 gewichtloos	0,550	K1	K20	Algemeen (0)
S3	CS1 - Rechthoek (150; 220)	C20/25 gewichtloos	0,550	K8	K14	Algemeen (0)
S4	CS1 - Rechthoek (150; 220)	C20/25 gewichtloos	0,550	K7	K16	Algemeen (0)

11. Scharnieren op 2D-elementranden

Naam	2D-element	Rand	ux uy uz	phix phiy phiz	Coör Oors	Pos x ₁ Pos x ₂
L1	E1	2		Vrij	Rela Vanaf begin	0.000 1.000
			Vast			
L2	E1	4		Vrij	Rela Vanaf begin	0.000 1.000
			Vast			
L3	E3	2		Vrij	Rela Vanaf begin	0.000 1.000
			Vast			
L4	E3	4		Vrij	Rela Vanaf begin	0.000 1.000
			Vast			

12. Knoopondersteuningen

Naam	Knoop	Systeem	Type	Z	Rx	Ry
Sn1	K18	GCS	Standaard	Vast	Vast	Vast
Sn2	K20	GCS	Standaard	Vast	Vast	Vast
Sn3	K16	GCS	Standaard	Vast	Vast	Vast
Sn4	K14	GCS	Standaard	Vast	Vast	Vast

13. Ondersteuningen op 2D elementranden

Naam	2D-element Rand	Oors Coör	Pos x ₁ Pos x ₂	Z	Rx	Ry
Sle1	E1	Vanaf begin	0.010	Enkel starre druk	Vrij	Vrij
	3	Rela	0.990			
Sle4	E2	Vanaf begin	0.010	Enkel starre druk	Vrij	Vrij
	4	Rela	0.990			
Sle5	E2	Vanaf begin	0.010	Enkel starre druk	Vrij	Vrij
	2	Rela	0.990			
Sle7	E3	Vanaf begin	0.010	Enkel starre druk	Vrij	Vrij
	3	Rela	0.990			

14. 2D-element standaard-EEM

Naam	Element type	Elementgedrag	Laag	Type	Materiaal	Dikte type	D. [mm]
E1	Standaard	Standaard-EEM	Laag1	vloer (90)	C25/30 gewicht 24	constant	60
E2	Standaard	Standaard-EEM	Laag1	vloer (90)	C25/30 gewicht 24	constant	60
E3	Standaard	Standaard-EEM	Laag1	vloer (90)	C20/25 gewicht 24	constant	60
E4	Standaard	Standaard-EEM	Laag1	vloer (90)	C20/25 gewicht 24	constant	60

15. Materiaallijst

Selectie: Alle
Sorteertype: Materiaal

Samenvatting

Materiaal	Massa [kg]	Oppervlak [m ²]	Volume [m ³]
Beton	265,0	3,468	3,9960e+21
Totaal	265,0	3,468	3,9960e+21

Opmerking: De waarde 'Oppervlak' vertegenwoordigt voor 1D-elementen de totale blootgestelde oppervlakte, en voor 2D-elementen correspondeert deze alleen met de oppervlakte van het vlak met het zwaartepunt.

Beton (1D)

Materiaal	Dichtheid [kg/m ³]	Massa [kg]	Oppervlak [m ²]	Volume [m ³]
C20/25 gewichtloos	0,0	0,0	1,628	3,9960e+21
Totaal		0,0	1,628	3,9960e+21

Beton (2D)

Materiaal	Dichtheid [kg/m ³]	Massa [kg]	Oppervlak [m ²]	Volume [m ³]
C25/30 gewicht 24	2400,0	132,5	0,920	5,5200e-02
C20/25 gewicht 24	2400,0	132,5	0,920	5,5200e-02
Totaal		265,0	1,840	1,1040e-01

16. Reacties; R_z

Waardes: **R_z**

Niet-lineaire berekening

Niet-lineaire combinatie: NLCombi3

Systeem: Globaal

Extreem: Element

Selectie: Alle



17. Interne 1D-krachten; M_y

Waardes: **M_y**

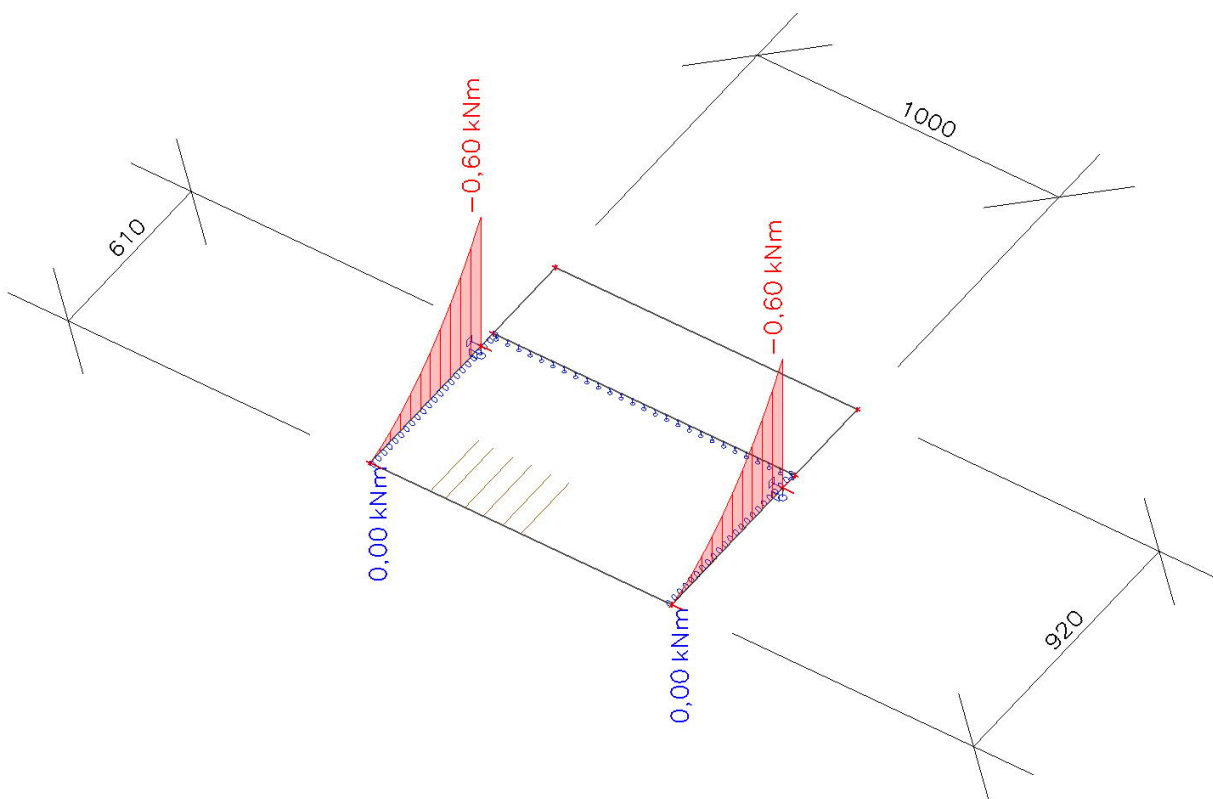
Niet-lineaire berekening

Niet-lineaire combinatie: NLCombi3

Assenstelsel: Staaf

Extreme 1D: Lokaal

Selectie: Alle



18. Interne 1D-krachten; V_z

Waardes: V_z

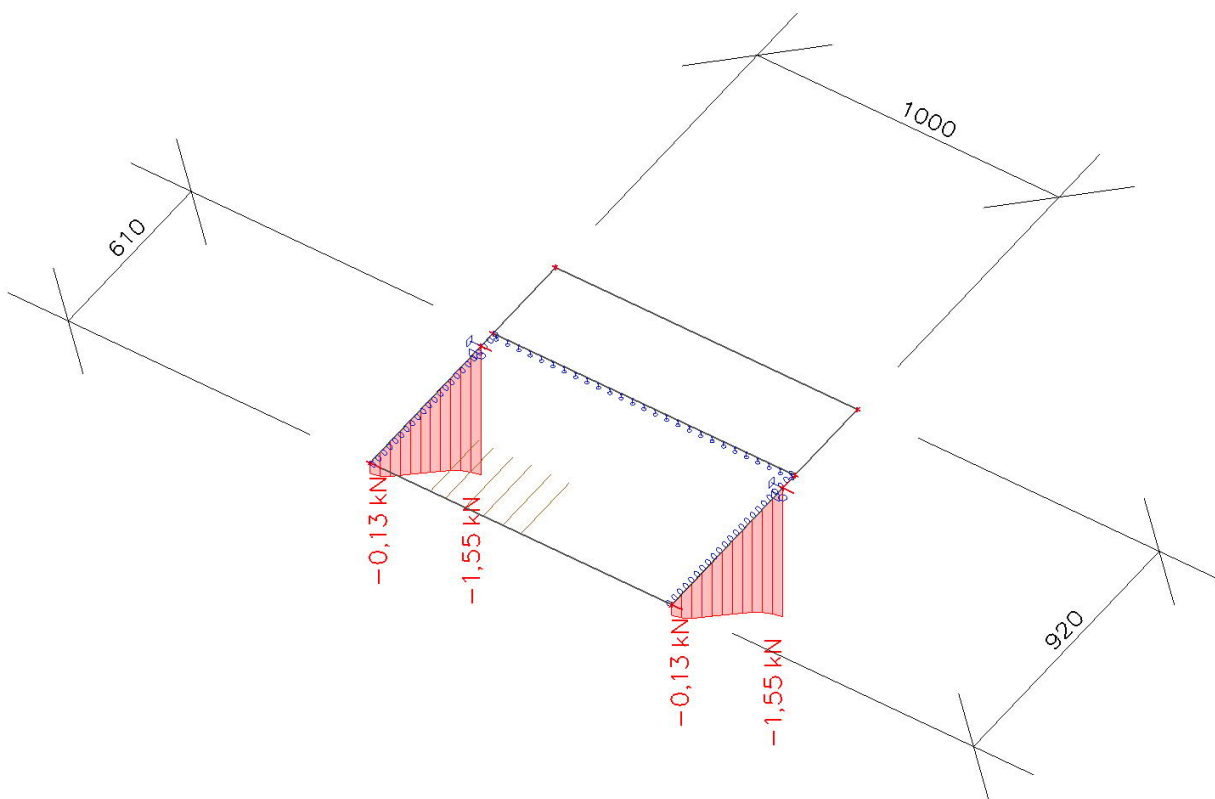
Niet-lineaire berekening

Niet-lineaire combinatie: NLCombi3

Assenstelsel: Staaf

Extreme 1D: Lokaal

Selectie: Alle



19. Interne 2D-krachten; m_{yD+}

Waardes: m_{yD+}

Niet-lineaire berekening

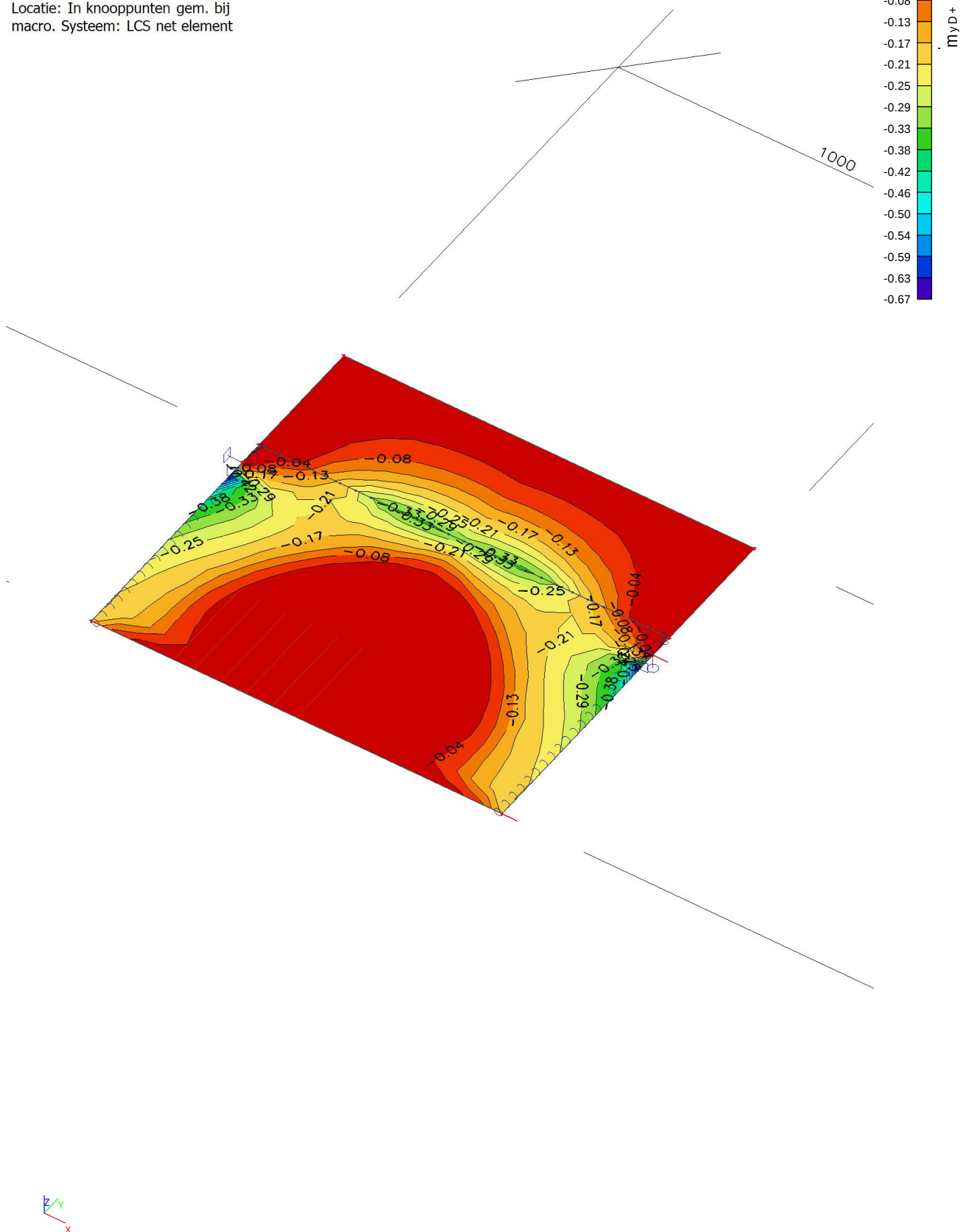
Niet-lineaire combinatie: NLCombi3

Extreem: Element

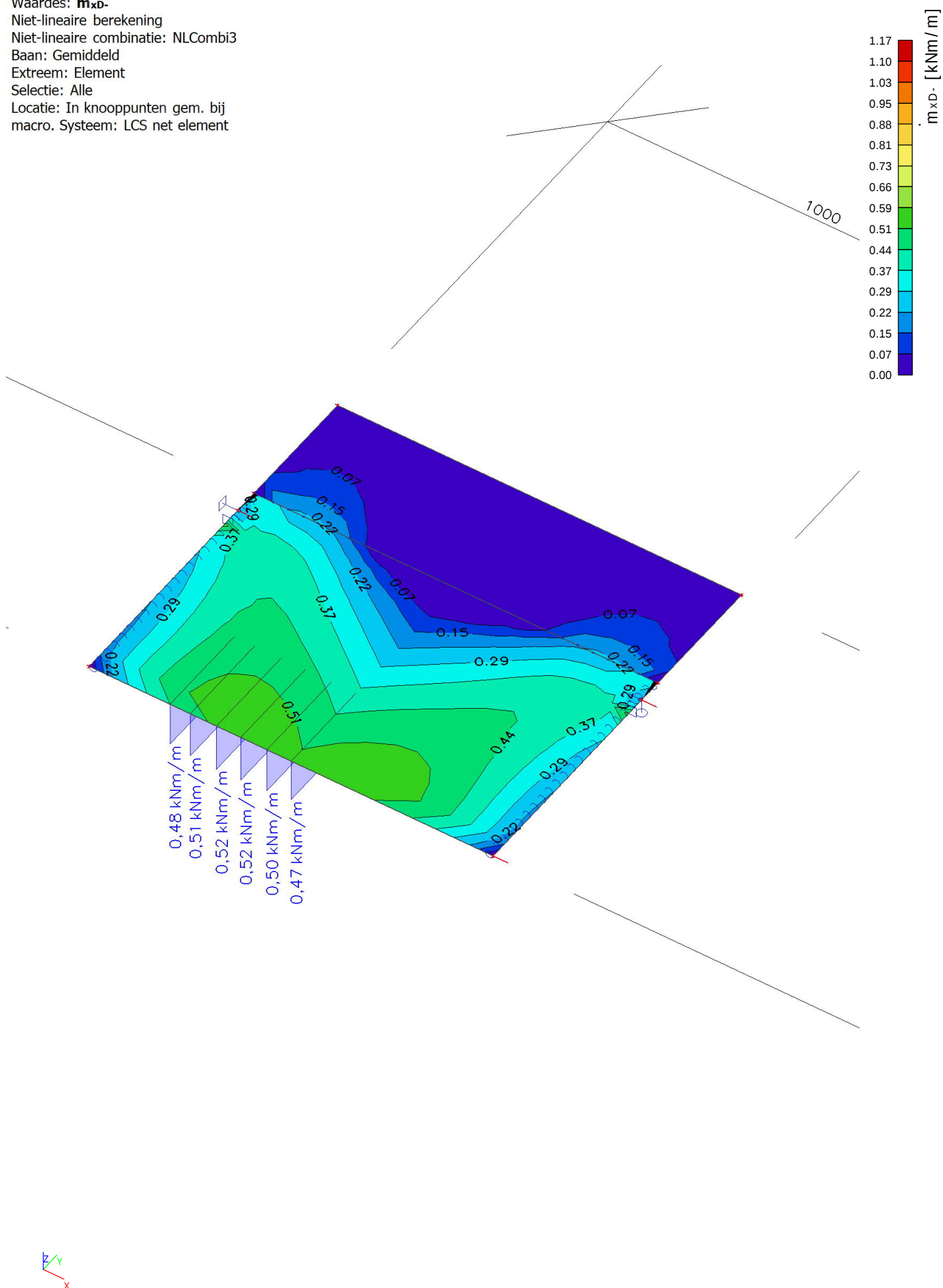
Selectie: Alle

Locatie: In knooppunten gem. bij

macro. Systeem: LCS net element



Waardes: **mxd-**
 Niet-lineaire berekening
 Niet-lineaire combinatie: NLCombi3
 Baan: Gemiddeld
 Extreem: Element
 Selectie: Alle
 Locatie: In knooppunten gem. bij
 macro. Systeem: LCS net element



Bijlage 2: Analyse moment- dwarskrachtcapaciteit van de bordesvloer

plaat dikte 60mm mx-

Beton

h=	60 mm
b=	920 mm
f _{ck} =	20 N/mm ²
f _{cd} =	13,3 N/mm ²
ε _{cu3} =	3,50E-03
ε _{c3} =	1,75E-03
C=	27,7 mm
c'=	0 mm
Ø _{bgl} =	0 mm
Ø _{km;trek} =	4,6 mm
Ø _{km;druk} =	0 mm
ds=	30 mm
d's=	0 mm
f _{ctm} =	2,21 N/mm ²
ε _{lc3} /ε _{lcu3} =	0,500
α=	0,750
β=	0,389
N'd=	0 kN (trek -)
N'b=	19 kN

Betonstaal

Es=	200000 N/mm ²	
f _{yk} =	220 N/mm ²	(FeB 240)
f _{yd} =	191 N/mm ²	
As=	100 mm ²	6Ø4,6
A's=	0 mm ²	0
ε _{ud} =	5,00E-02	
f _{yd} /Es =	9,57E-04	
		ω _o = 0,181%
		ω _o = 0,000%

trek (+)

ε _s =	4,70E-02
σ _s =	191,3 N/mm ²
N _s =	19,1 kN

$$\varepsilon_s/\varepsilon_{su} = 0,94$$

druk(+)

ε' _s =	3,50E-03
σ' _s =	191,3 N/mm ²
N' _s =	0,0 kN

$$\varepsilon'_s/\varepsilon_{su} = 0,07$$

ΣH=	0,0	
Xu=	2,1	mm
y=	0,8	mm
Mu=	0,56	kNm
		0,61 kNm/m
d=	30,0	mm
xu/d=	0,07	< kmax= 0,45

Toetsing

Md =	0,52	kNm/m
UC =	0,93	voldoet

(NEN-EN 1992-1-1 art. 9.2.1.1)

As,min1 =	35,9 mm2/m	
As,min2 =	116,4 mm2/m	
As,min =	35,9 mm2/m	voldoet

plaat dikte 60mm my+

Beton

h=	60 mm
b=	920 mm
f _{ck} =	20 N/mm ²
f _{cd} =	13,3 N/mm ²
ε _{cu3} =	3,50E-03
ε _{c3} =	1,75E-03
C=	23,5 mm
c'=	0 mm
Ø _{bgl} s=	0 mm
Ø _{km;trek} =	4,6 mm
Ø _{km;druk} =	0 mm
ds=	34,2 mm
d's=	0 mm
f _{ctm} =	2,21 N/mm ²
ε _{lc3} /ε _{lcu3} =	0,500
α=	0,750
β=	0,389
N'd=	0 kN (trek -)
N'b=	13 kN

Betonstaal

Es=	200000 N/mm ²
f _{yk} =	220 N/mm ²
f _{yd} =	191 N/mm ²
As=	70 mm ²
A's=	0 mm ²
ε _{ud} =	5,00E-02
f _{yd} /Es =	9,57E-04

(FeB 220)

5Ø4,2

0

$$\omega_o = 0,127\%$$

$$\omega_o = 0,000\%$$

trek (+)

ε _s =	7,87E-02
σ _s =	191,3 N/mm ²
N _s =	13,4 kN

$$\varepsilon_s/\varepsilon_{su} = 1,57$$

druk(+)

ε' _s =	3,50E-03
σ' _s =	191,3 N/mm ²
N' _s =	0,0 kN

$$\varepsilon'_s/\varepsilon_{su} = 0,07$$

ΣH=	0,0	
Xu=	1,5 mm	
y=	0,6 mm	
Mu=	0,45 kNm	0,49 kNm/m
d=	34,2 mm	
Xu/d=	0,04	< kmax= 0,45

Toetsing

Md =	0,35	kNm/m
UC =	0,78	voldoet

(NEN-EN 1992-1-1 art. 9.2.1.1)

As,min1 =	40,9 mm2/m	
As,min2 =	67,99 mm2/m	
As,min =	40,9 mm2/m	voldoet

Dwarskracht toetsing [constructie zonder dwarskrachtwapening]**Onderdeel: bordesvloer plaat**Materiaalgegevens

$f_{ck} := 20$

$\gamma_C := 1.5$

$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_C} \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$

$C_{Rd,c} := 0.12$

$k_1 := 0.15$

Gegevens doorsnede 1

$h := 60\text{mm}$

$z_t := 25.6\text{mm}$

$A_{sl} := 70\text{mm}^2$

$N_{Ed} := 0\text{kN}$

(Druk positief)

$b_w := 920\text{mm}$

$d := h - z_t$

$A_c := b_w \cdot h$

$\sigma_{cp} := \min\left(\frac{N_{Ed}}{A_c}, 0.2 \cdot f_{cd}\right)$

Uitwendige krachten

$V_{Ed} := 5.6\text{kN}$

$\sigma_{cp} = 0 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$

$k := \min\left(1 + \sqrt{\frac{200\text{mm}}{d}}, 2\right)$

$k = 2$

$\rho_1 := \min\left(\frac{A_{sl}}{b_w \cdot d}, 0.02\right)$

$\rho_1 = 0.002$

$$V_{Rd,c} := \left[\max \left[\left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right], \left(0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right) \right] \right] \cdot b_w \cdot d$$

$V_{Rd,c} = 14\text{kN}$

$v_{Rd,c} := \frac{V_{Rd,c}}{(b_w \cdot d)}$

$v_{Rd,c} = 0.443 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$

$V_{Ed,max} := 0.5 \cdot b_w \cdot d \cdot \left[0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \cdot f_{cd} \right]$

$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} = 0.4$

$V_{Ed,max} = 116.5\text{kN}$

$v_{Ed,max} := \frac{V_{Ed,max}}{(b_w \cdot d)}$

$v_{Ed,max} = 3.68 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$

$$\text{Toets_wap} := \begin{cases} \text{"Geen dwarskrachtwapening nodig"} & \text{if } V_{Ed} < V_{Rd,c} \\ \text{"Dwarskrachtwapening toepassen"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\frac{V_{Ed}}{V_{Ed,max}} = 0.048$

$$\text{Toets_beton} := \begin{cases} \text{"Ok"} & \text{if } V_{Ed} < V_{Ed,max} \\ \text{"Doorsnede aanpassen"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{Toets_wap} = \text{"Geen dwarskrachtwapening nodig"}$

$\text{Toets_beton} = \text{"Ok"}$

Berekening volgens hfd 12 van EC2 (ongwapend beton)

Beton: C20/25

$$f_{ck} := 20$$

$$\gamma_C := 1.5$$

$$\epsilon_{c3} := 1.75 \times 10^{-3}$$

$$f_{yd} := 191 \frac{N}{mm^2}$$

$$\alpha_{ct,pl} := 0.8$$

$$\alpha_{cc,pl} := 0.8$$

$$b := 1m$$

$$h := 0.06m$$

$$f_{cm} := (f_{ck} + 8) \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_C} \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{cd} = 13.333 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{cm} := 22 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10 \frac{N}{mm^2}} \right)^{0.3} \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{cm} = 29962 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{ctm} := \text{if} \left[f_{ck} > 50, 2.12 \cdot \ln \left(1 + \frac{f_{cm}}{10 \frac{N}{mm^2}} \right), 0.3 \cdot (f_{ck})^{\frac{2}{3}} \right] \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{ctm} = 2.2 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{ctk;0,05} := 0.7 \cdot f_{ctm}$$

$$f_{ctk;0,05} = 1.547 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{ctd} := \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_C}$$

$$f_{ctd} = 1.032 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{ctd,pl} := \frac{\alpha_{ct,pl} \cdot f_{ctk;0,05}}{\gamma_C}$$

$$f_{ctd,pl} = 0.825 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{cd,pl} := \frac{\alpha_{cc,pl} \cdot f_{ck}}{\gamma_C} \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{cd,pl} = 10.667 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{c,lim} := f_{cd,pl} - 2 \cdot \sqrt{f_{ctd,pl} \cdot (f_{ctd,pl} + f_{cd,pl})}$$

$$\sigma_{c,lim} = 4.508 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{cvd} := f_{ctd,pl}$$

$$M_{u,ongewapend} := \frac{1}{6} \cdot \frac{b}{m} \cdot (h)^2 \cdot f_{ctd,pl}$$

$$M_{u,ongewapend} = 0.5 \cdot \frac{kN \cdot m}{m}$$

$$V_{u,ongewapend} := \frac{f_{cvd} \cdot \frac{b}{m} \cdot h}{1.5}$$

$$V_{u,ongewapend} = 33 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$f_{\text{ctm,fl}} := \max \left[\left(1.6 - \frac{h}{1000\text{mm}} \right) \cdot f_{\text{ctm}}, f_{\text{ctm}} \right] = 3.404 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\boxed{\text{Verhogingsfactor} := \frac{f_{\text{ctm,fl}}}{f_{\text{ctm}}} = 1.54}$$

$$M_{\text{Rd}} := M_{\text{u,ongewapend}} \cdot \text{Verhogingsfactor} = 0.763 \cdot \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

$$M_{\text{Ed}} := 0.52 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

$$\text{UC} := \frac{M_{\text{Ed}}}{M_{\text{Rd}}} = 0.682$$