Memo

ONDERWERP
Hardenberg Amaliabrug - Benodigde versterkingen nieuwbouwniveau

PROJECTNUMMER
30280582

DATUM
8 september 2025

ONZE REFERENTIE
2YNVVQJPZ32K-565587127-616:1.0

VAN
Harmen van der Land

AAN
Gijsbert Strang, Evert-Jan Schuitemaker

Inleiding

Uit de herberekening van de Amaliabrug is gebleken dat:

- De huidige boutverbinding van 3 maal M16-8.8 bouten in de dwarsdragers onvoldoende sterk is om de belasting uit mensenmenigte en onderhoudsvoertuig op te kunnen nemen. Enkel door toepassing van gereduceerde verkeersbelasting en afkeurniveau voldoet deze verbinding op de korte termijn.
- De hoofdligger lokaal onvoldoende capaciteit heeft om de op basis van nieuwbouwniveau te voldoen aan de Eurocode.
- Onduidelijk is of de momentvaste verbinding in de hoofdligger nog voldoet bij aanpassen van de verbinding bij de dwarsdragers.

In deze memo wordt gecontroleerd welke verbinding in de dwarsdragers wel voldoet aan mensenmenigte, onderhoudsvoertuig en nieuwbouwniveau. Daarnaast wordt een oplossing gegeven voor het versterken van de hoofdligger en een controle gedaan op de momentvaste verlenging van de hoofdligger.

Er wordt niet met een onbedoeld voertuig gerekend aangezien de rest van de constructieonderdelen hier niet aan voldoen, hier dienen nog steeds fysieke maatregelen tegen te worden getroffen.

Conclusie

Uit onderstaande analyse is gebleken dat:

- Het wijzigen van de 3 maal M16-8.8 bouten naar 3 maal M24-8.8 bouten voldoende is om voor nieuwbouwniveau, mensenmenigte en onderhoudsvoertuig voldoende capaciteit te verkrijgen voor de verbinding in de dwarsdragers.
- Bij het vervangen van de hoofdligger over een lengte van 2,2 m per hoofdligger (nabij de noordelijke pylonen) van een Ø610x12,5 naar een Ø610x20 de hoofdligger voldoet op nieuwbouwniveau.
- De wijziging van de stijfheid van de dwarsdragerverbinding geen negatieve gevolgen heeft voor de overige onderdelen.

Berekening boutverbinding dwarsdragers

De 3 maal M16-8.8 bouten worden vervangen voor 3 maal M24-8.8 bouten, de dwarskrachtcapaciteit van deze bouten betreft 135 kN:

Door draad: $F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}6 * 800 * 352}{1{,}25} * 10^{-3} = 135\ kN$

Door schacht: $F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}6 * 800 * 452}{1{,}25} * 10^{-3} = 173\ kN$

Uitgangspunt is dwarskracht door draad.

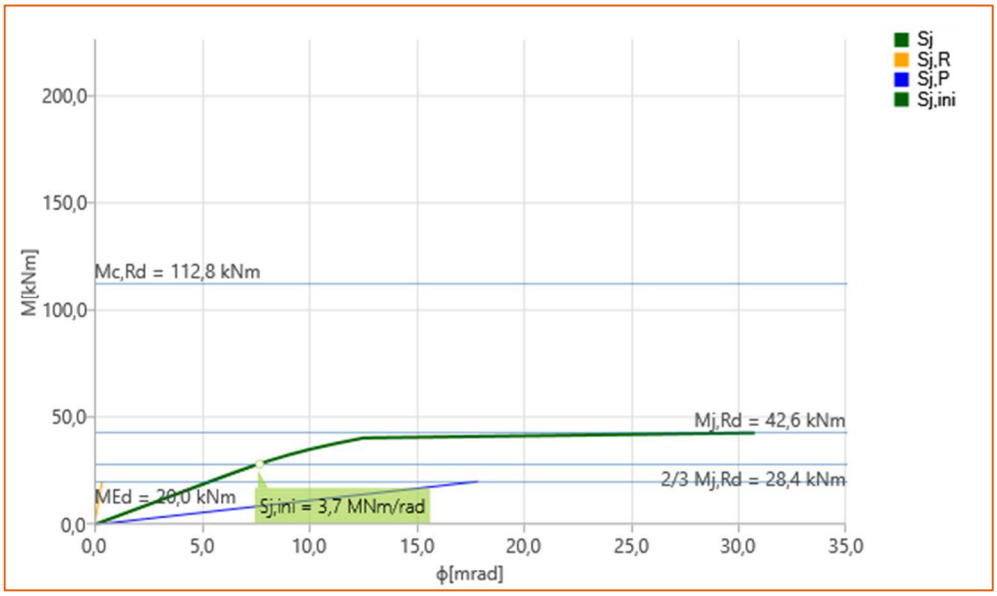
$$k_1 = \min\left(2{,}8 * \frac{e_2}{d_0} - 1{,}7; 1{,}4 * \frac{p_2}{d_0} - 1{,}7; 2{,}5\right) = \min\left(2{,}8 * \frac{40}{26} - 1{,}7; 1{,}4 * \frac{160}{26} - 1{,}7; 2{,}5\right) = 2{,}5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1{,}0\right) = \min\left(\frac{80}{3 * 26}; \frac{800}{360}; 1{,}0\right) = 1{,}0$$

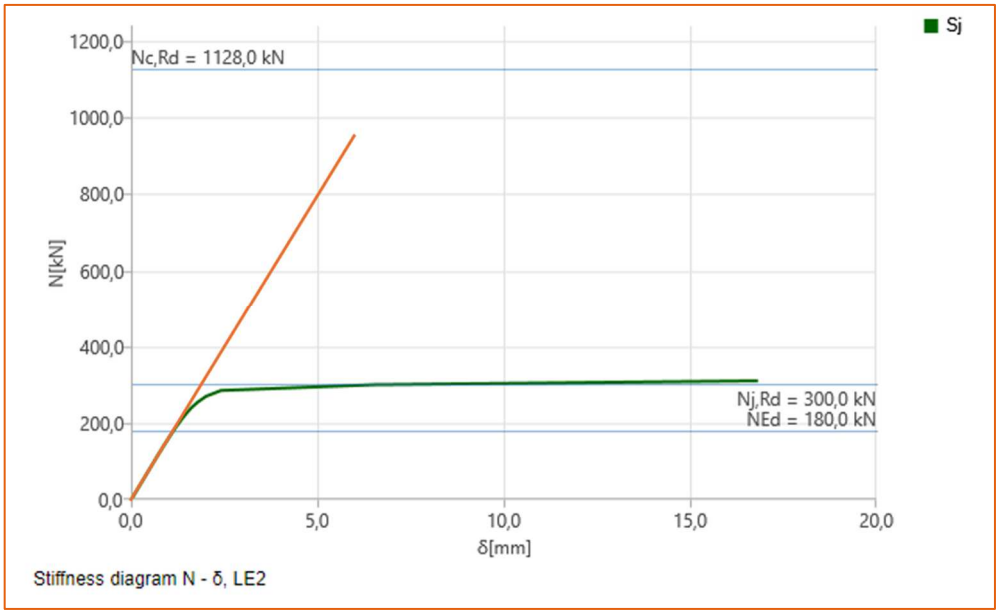
$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 * 1{,}0 * 360 * 24 * 12}{1{,}25} * 10^{-3} = 207\ kN$$

Stuik is niet maatgevend.
In het constructieve model is de stijfheid van de verbinding gemodelleerd, aangezien de boutdiameter wijzigt worden deze stijfheden opnieuw berekend door aanpassing van het IDEA model.

Hieruit volgt een momentstijfheid van 3,7 MNm/rad:



En een normaalstijfheid van 0,8 / 0,005 = 160 MN/m:



Uit het gewijzigde model volgen de snedekrachten (in onderstaande tabel alleen de maximale waarden uitgelezen):

Linear calculation
Class: All ULS behalve OV
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: Named selection - Middendeel dwarsdragers
Filter: Cross-section = CS33 - Full rectangular (12,00; 400,00)
Selected sections: Ends

Name	dx [mm]	Case	Cross-section	N [kN]	V_y [kN]	M_z [kNm]
B1898	0,000	ULS2-1/1	CS33 - Full rectangular (12,00; 400,00)	**-87,39**	20,24	-17,51
B1896	0,000	ULS2-2/2	CS33 - Full rectangular (12,00; 400,00)	**185,60**	21,39	-1,25
B1876	2200,000	ULS3-1/3	CS33 - Full rectangular (12,00; 400,00)	71,23	**-36,28**	6,66
B1871	0,000	ULS3-2/4	CS33 - Full rectangular (12,00; 400,00)	6,25	**42,98**	-19,10
B1871	0,000	ULS2-1/5	CS33 - Full rectangular (12,00; 400,00)	16,41	15,27	**-39,97**
B1891	2200,000	ULS3-2/6	CS33 - Full rectangular (12,00; 400,00)	31,01	-25,68	**21,80**

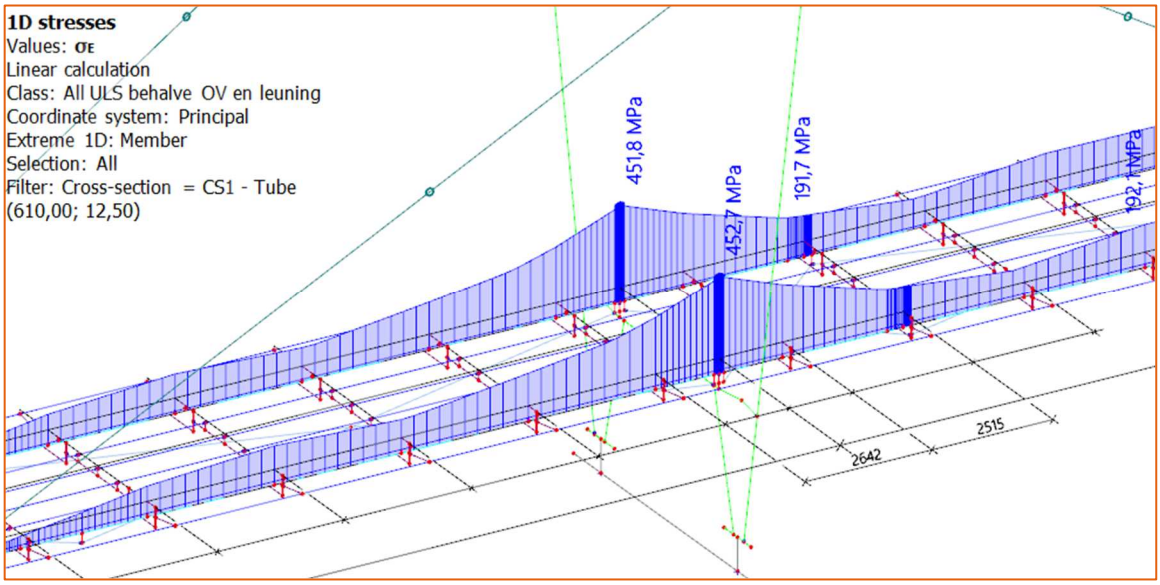
Door middel van een Excel blad worden de snedekrachten in elke verbinding gecombineerd tot boutkrachten. Voor de situatie UGT inclusief mensenmenigte en onderhoudsvoertuig resulteert dit in de volgende maatgevende verbinding:

Name	dx [mm]	Case	N [kN]	Vy [kN]	Mz [kNm]		F.h	F.v	F.res
B1871	0,000	ULS2-1/239	16.41	15.27	-39.97		130.4	5.1	130.5

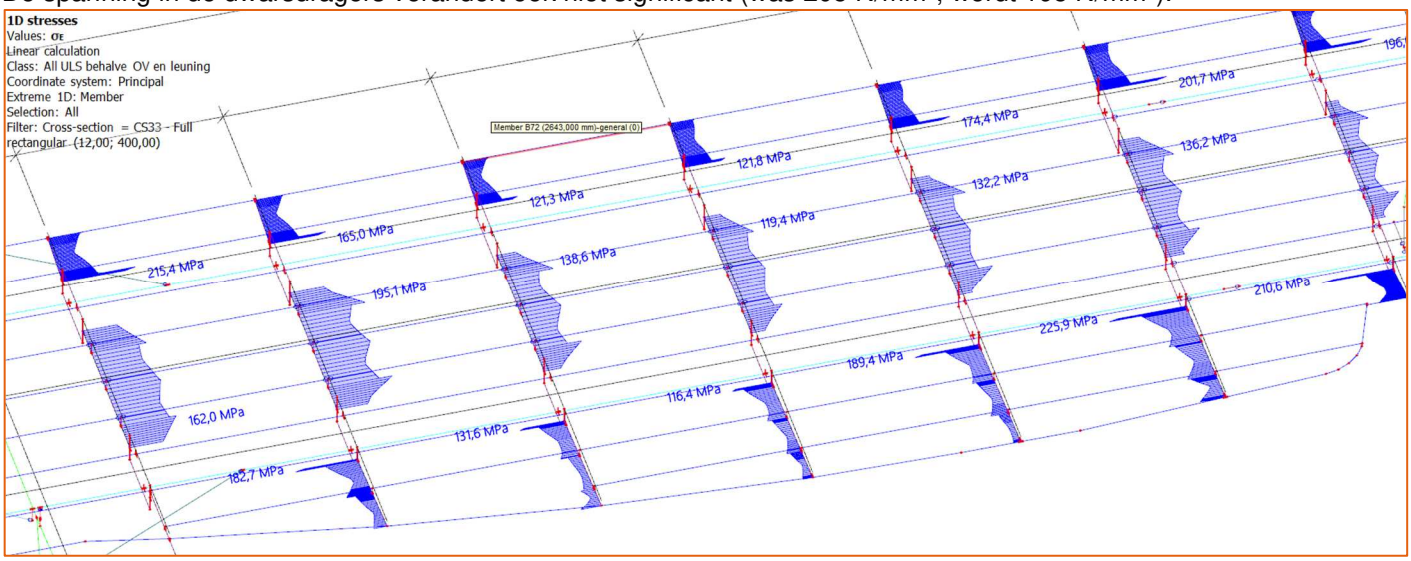
De maximale boutkracht blijft onder de capaciteit van 135 kN en voldoet.

Controle overige onderdelen gewijzigde stijfheid

Algemeen
De gewijzigde stijfheid van de dwarsdragerverbinding leidt niet tot een significante wijziging van de spanningen in de overige hoofdonderdelen. Conform herberekening met M16 bouten bij de dwarsdragerverbinding volgde een spanning in de hoofdligger van 452,6 N/mm^2, dit is nauwelijks gewijzigd:



De spanning in de dwarsdragers verandert ook niet significant (was 205 N/mm^2, wordt 195 N/mm^2).



Momentvaste verbinding (verlenging) hoofdliggers

Gecontroleerd wordt of de huidige momentvaste verlengingen in in de hoofdliggers nog voldoen met de aangepaste stijfheid van de dwarsdragerverbinding. Er wordt een vergelijk uitgevoerd ten opzichte van de krachten waarbij in de herberekening is gerekend. Eerst zijn de toegepaste snedekrachten weergegeven van de maatgevende toetsing bij de herberekening:

	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
>	B1 / End	-383,0	18,0	98,0	27,0	602,0	21,0

Deze komt overeen met de belastingcombinatie waarin het maximale moment wordt gevonden. Voor de snedekrachten in het aangepaste model geldt:

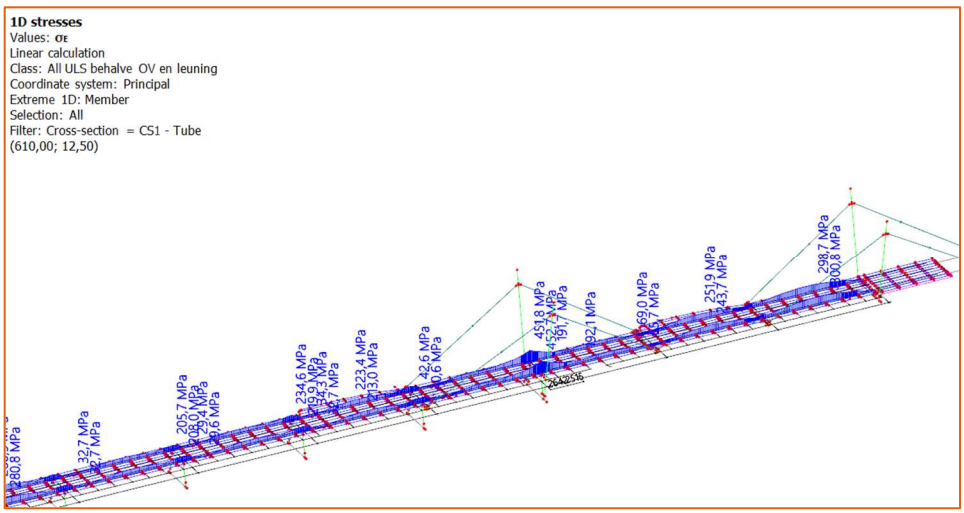
Linear calculation
Class: All ULS behalve OV en leuning
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: B738, B748, B750, B818
Selected sections: Inputted

Name	dx [mm]	Case	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
B738	10,000-	ULS2-4/1	**-1008,46**	-138,18	136,10	38,48	57,26	-54,73
B818	14990,000-	ULS3-3/2	**84,66**	2,54	-72,17	-8,01	-213,31	0,23
B738	10,000-	ULS2-3/3	-278,31	**-160,88**	135,55	21,08	-149,75	-48,94
B750	14290,000-	ULS2-3/4	-281,75	**166,25**	-145,35	-22,84	-157,78	-50,64
B818	14990,000-	ULS3-3/5	-343,08	17,70	**-223,00**	-40,36	-420,34	-24,57
B748	10,000-	ULS3-3/6	-357,25	-17,39	**221,57**	41,50	-419,04	-25,13
B818	14990,000-	ULS2-3/7	-293,03	20,93	-159,53	**-76,98**	-141,02	-29,91
B748	10,000-	ULS2-3/8	-307,13	-21,62	158,51	**79,51**	-139,87	-32,13
B818	14990,000-	ULS2-4/9	-367,49	17,99	-98,46	-26,53	**-599,73**	-15,60
B738	10,000-	ULS3-4/10	-628,92	-135,76	122,57	27,54	**274,15**	-50,62
B750	14290,000-	ULS2-4/11	-594,06	147,52	-143,52	-16,22	-125,26	**-73,23**
B748	10,000-	ULS3-3/12	-103,09	9,19	92,20	17,95	-174,28	**26,27**

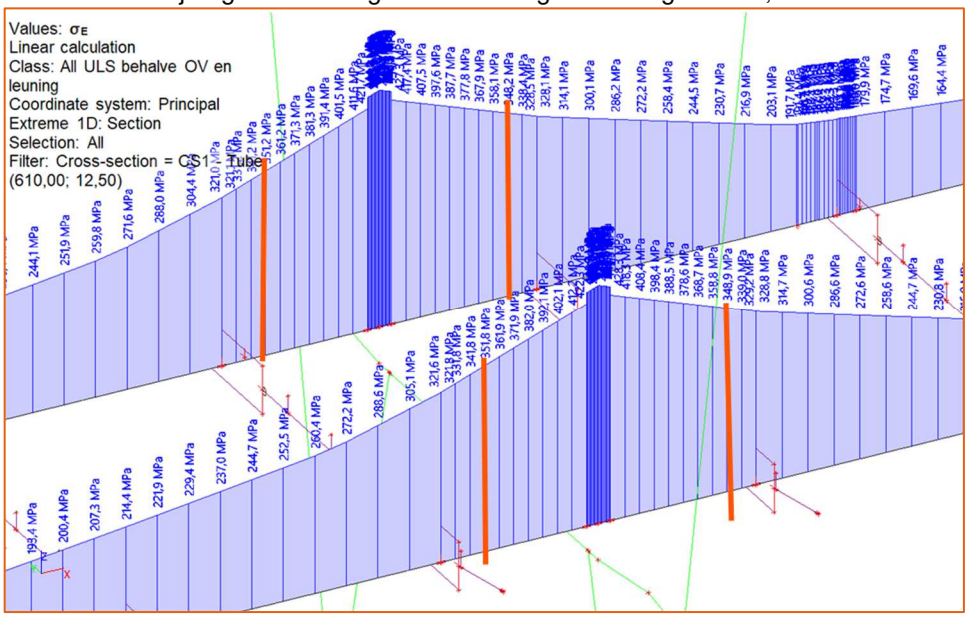
De gewijzigde stijfheid van de dwarsdragerverbinding leidt niet tot grotere snedekrachten in de verbinding waardoor de conclusie van de herberekening blijft staan: Deze voldoet op basis bij toepassing van de Eurocode voetgangersbelasting (geen mensenmenigte over de gehele lengte van de brug).

Versterking hoofdligger

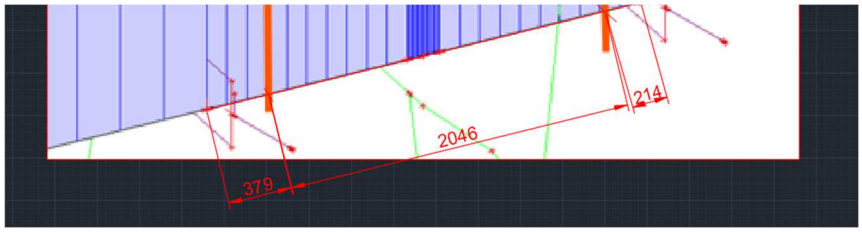
In de hoofdligger wordt ter plaatse van de noordelijke pylonen een overschrijding gevonden van de vloeispanningen bij de nieuwbouwsituatie:



Deze overschrijding is aanwezig over een lengte van ongeveer 2,2 m:

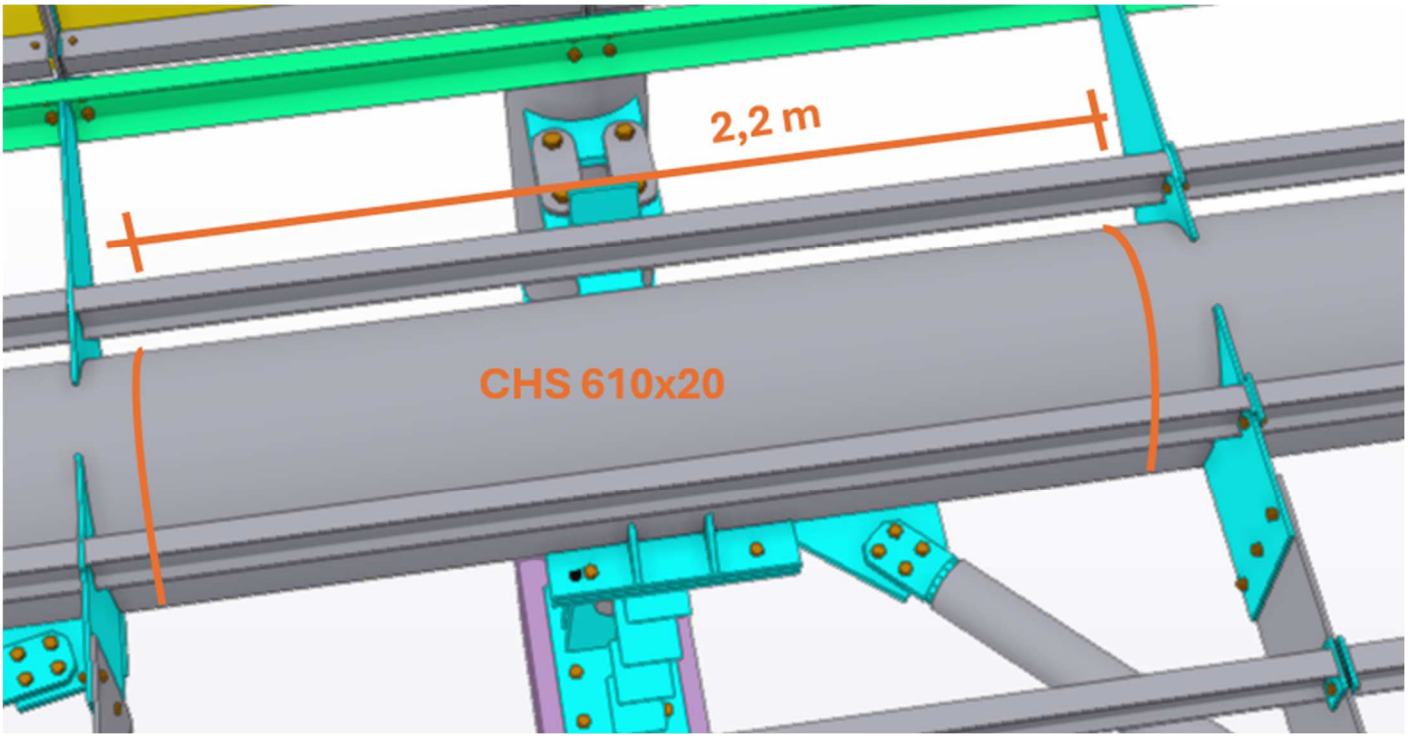


De versterking moet werkend zijn op ongeveer 200 mm vanaf de dwarsdragers:



Er worden verschillende oplossingen onderzocht:

Voorkeursvariant: Lokaal vervangen van de buis Ø610x12,5 voor een buis Ø610x20.



De doorsnede eigenschappen zijn hieronder weergegeven:

D mm	T mm	M kg/m	A cm^2	I cm^4	i cm	W_{el} cm^3	A_s m^2/m
610,0	12,5	184	235	104755	21,1	3435	1,92
610,0	16,0	234	299	131781	21,0	4321	1,92
610,0	20,0	291	371	161490	20,9	5295	1,92
610,0	25,0	361	459	196906	20,7	6456	1,92
610,0	30,0	429	547	230476	20,5	7557	1,92

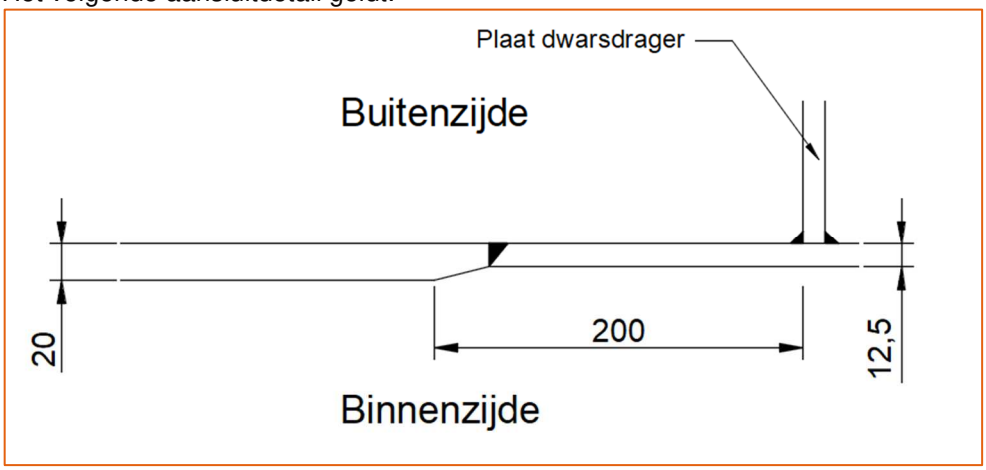
De maatgevende snedekrachten zijn uit het model uitgevoerd en door middel van een Excel berekening omgerekend naar von-Mises spanningen:

A	37100	R	305
A.v	23619	t	20
Wy = Wz	5295000	R.c	295

N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]	σ	τ	σ.VM
-864.86	-75.96	326.16	37.22	-1617.76	-83.05	329	18	331
147.08	-44.56	110.31	-1	127.15	17.8	28	5	29
-495.94	-128.69	-22.92	4.32	7.17	37.59	21	6	23
-561.59	110.93	330.36	48.82	-1615.09	-114.15	321	19	323
-754.24	-19.52	-336.16	15.36	-1715.1	-86.9	345	16	346
-658.27	-93.73	332.87	18.56	-1681.63	-83.97	336	16	337
-157.75	-64.6	-210.1	-37.46	-497.96	-8.28	98	6	99
-347.47	-30.11	201.82	90.72	-681.66	23.01	138	17	141
-784.5	-16.53	-336.02	15.22	-1716.26	-85.23	346	16	347
-310.85	-2.61	-42.06	-0.69	571.97	13.19	116	2	116
-553.56	-126.39	-36.7	1.82	-47.05	-139.54	43	6	44
-471.57	-22.23	42.17	-2.33	8.48	64.28	25	2	25

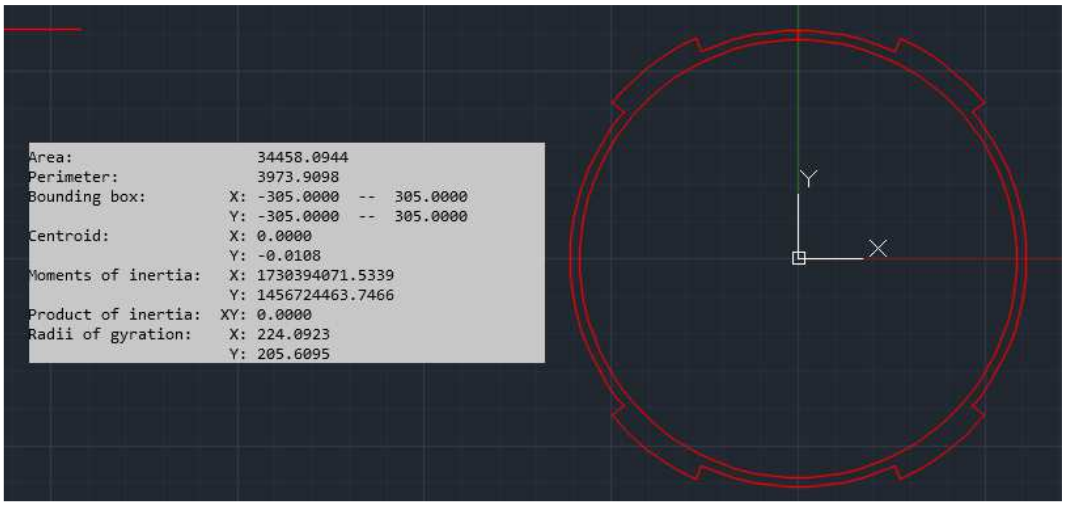
De nieuwe spanning blijft met 346 N/mm^2 onder de vloeigrens van S355 (355 N/mm^2).

Het volgende aansluitdetail geldt:



Alternatief 1: Aanlassen strippen aan de buis

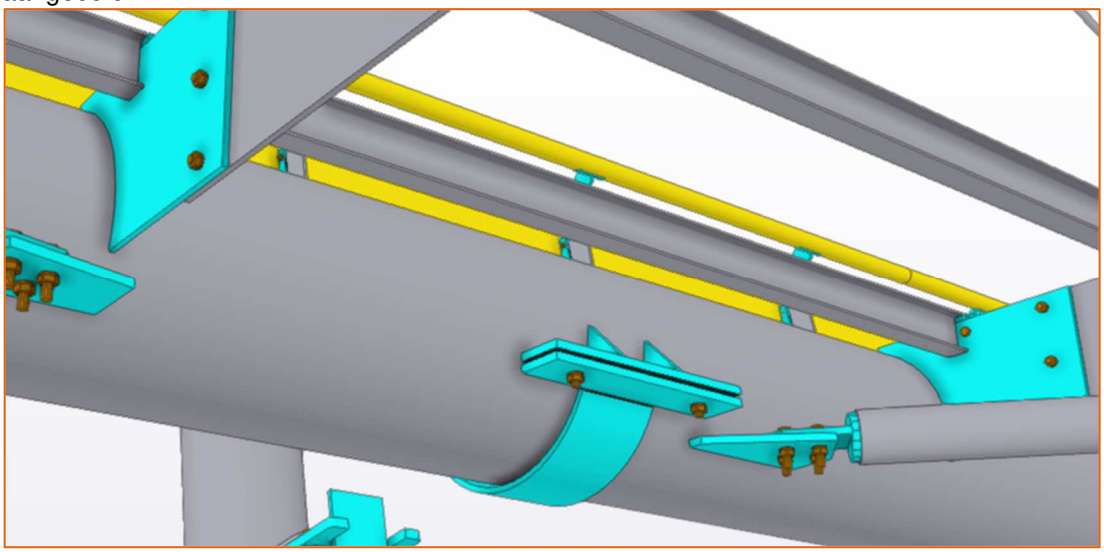
Als alternatief kunnen op vier locaties strippen 140x20 (gebogen) aan de buis worden gelast:



Uit onderstaande controle blijkt dat de spanning onder de vloeigrens van S355 (355 N/mm²) blijft.

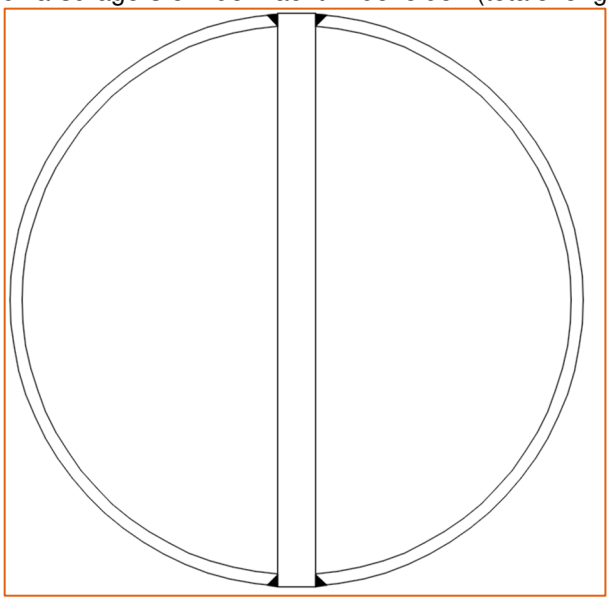
A	34458			R	305			
A.v	21937			t	12.5			
Wy	5673423			R.c	298.75			
Wz	4776146							
N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]	σ	τ	σ.VM
-864.86	-75.96	326.16	37.22	-1617.76	-83.05	328	21	330
147.08	-44.56	110.31	-1	127.15	17.8	30	5	32
-495.94	-128.69	-22.92	4.32	7.17	37.59	24	7	26
-561.59	110.93	330.36	48.82	-1615.09	-114.15	325	23	327
-754.24	-19.52	-336.16	15.36	-1715.1	-86.9	342	18	344
-658.27	-93.73	332.87	18.56	-1681.63	-83.97	333	18	335
-157.75	-64.6	-210.1	-37.46	-497.96	-8.28	94	5	94
-347.47	-30.11	201.82	90.72	-681.66	23.01	135	22	140
-784.5	-16.53	-336.02	15.22	-1716.26	-85.23	343	18	344
-310.85	-2.61	-42.06	-0.69	571.97	13.19	113	2	113
-553.56	-126.39	-36.7	1.82	-47.05	-139.54	54	6	55
-471.57	-22.23	42.17	-2.33	8.48	64.28	29	2	29

Aangezien de kracht moet worden ingeleid, moeten de strippen doorlopen tot voorbij de dwarsdragers (+/- 350 mm) en clasht deze met de aansluiting van de schoren en de oplegging. Daarom is dit vooralsnog niet als voorkeursvariant aangeduid.



Alternatief 2: Inlassen verticale strip in buis

Als tweede alternatief kan een verticale strip in de buis worden gelast. Hiervoor moeten aan de boven- en onderzijde gleuven in de stalen buis geslepen worden waar de strip (t = 40 mm) in valt. De strip moet doorlopen tot voorbij de dwarsdragers om de kracht in de leiden (totale lengte +/- 4m).



De nieuwe spanning blijft met 341 N/mm^2 onder de vloeigrens van S355 (355 N/mm^2).

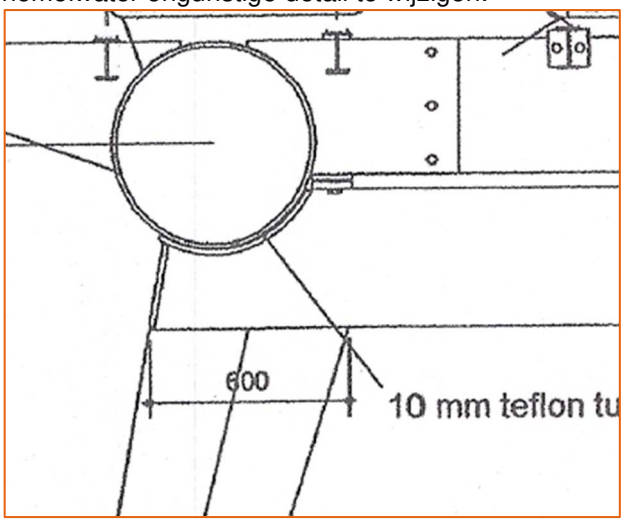
A	46900		R	305	
A.v	21937		t	12.5	
Wy	5622996		R.c	298.75	
Wz	4776146				

N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]	σ	τ	σ.VM
-864.86	-75.96	326.16	37.22	-1617.76	-83.05	324	21	325
147.08	-44.56	110.31	-1	127.15	17.8	29	5	31
-495.94	-128.69	-22.92	4.32	7.17	37.59	20	7	23
-561.59	110.93	330.36	48.82	-1615.09	-114.15	323	23	326
-754.24	-19.52	-336.16	15.36	-1715.1	-86.9	339	18	341
-658.27	-93.73	332.87	18.56	-1681.63	-83.97	331	18	332
-157.75	-64.6	-210.1	-37.46	-497.96	-8.28	94	5	94
-347.47	-30.11	201.82	90.72	-681.66	23.01	133	22	139
-784.5	-16.53	-336.02	15.22	-1716.26	-85.23	340	18	341
-310.85	-2.61	-42.06	-0.69	571.97	13.19	111	2	111
-553.56	-126.39	-36.7	1.82	-47.05	-139.54	49	6	51
-471.57	-22.23	42.17	-2.33	8.48	64.28	25	2	25

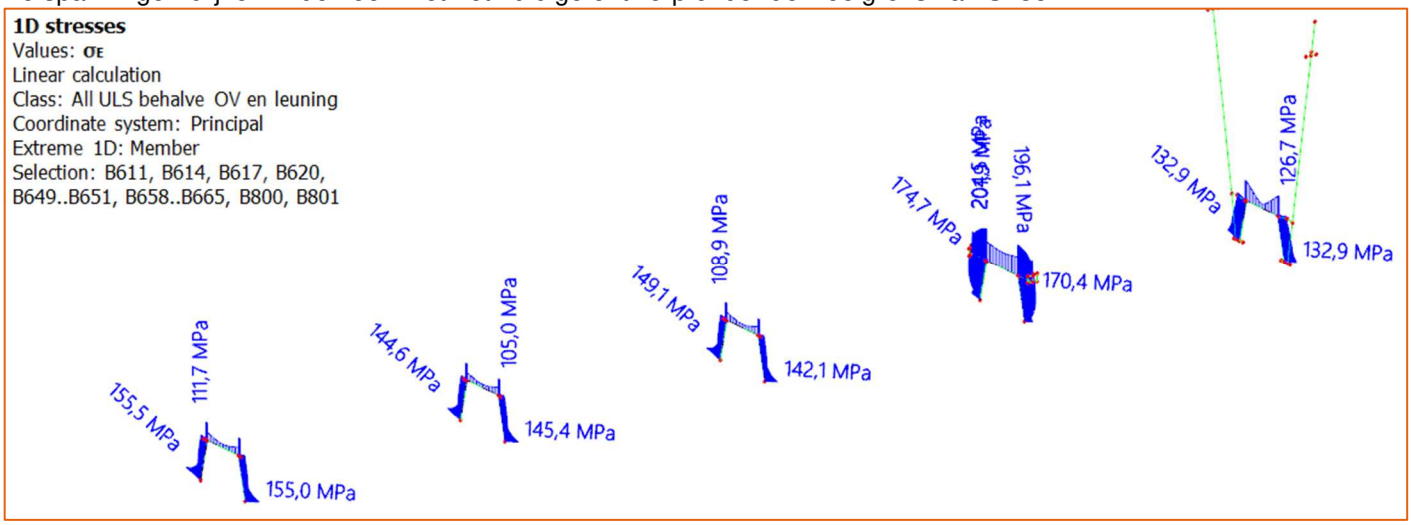
In verband met het grotere materiaalgebruik en het bewerkelijke slijpen van gleuven binnen de benodigde toleranties is dit vooralsnog niet als voorkeursvariant aangeduid.

Wijziging hoek ondersteunend portaal

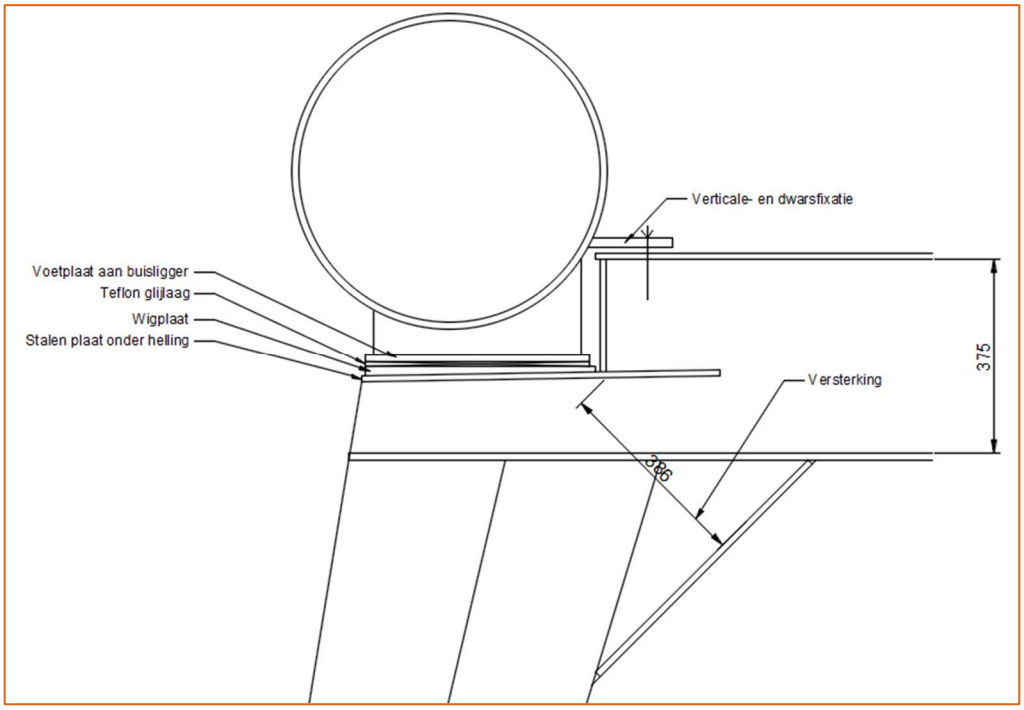
De wijziging in de hoek van het ondersteunend portaal wordt niet volledig uitgewerkt, er wordt voor het VO een inschattende haalbaarheidsanalyse gemaakt. Het volgende detail moet worden aangepast om het voor achterblijvend hemelwater ongunstige detail te wijzigen:



De spanningen blijven in de hoek met het huidige ontwerp onder de vloeigrens van S235:



Voor het VO wordt voor een binnenmaat tussen de flens van de versterking en de nieuwe horizontale bovenflens minimaal dezelfde hoogte toegepast als de tussenmaat tussen boven en onderflens van de huidige bovenligger:



In het DO moet dit detail nader worden uitgewerkt.