

Postbus 676
7300 AR Apeldoorn
Tel: 088 - 1860200

STATISCHE BEREKENING

39,99 meter buis- vakwerkmast

Geldigheidsgebied: Alle windgebieden

Revisie	Datum	Samensteller	Gecontroleerd
2021-1	06 - 07 - 21	ir. 	

Inhoudsopgave.

	blz.
1.0 Uitgangspunten berekening	3
1.1 Inleiding	3
1.2 Toegepaste normen	3
1.3 Randvoorwaarden	3
1.4 Constructie onderdelen	4
1.5 Toegepaste materiaal	4
1.6 Belastingen (antennebezetting)	5
1.7 Conclusie	5
2.0 Statische berekening	6
2.1 Weergave mast	6
2.2 Mastgegevens	7
2.3 Computerschema	10
3.0 Berekening belastingen	11
3.1 Berekening stuwdruk	11
3.2 Berekening eigenfrequentie mast en meewerkende massa	14
3.3 Berekening bouwwerkfactor $c_s c_d$	19
3.4 Berekening windoppervlak en windlast per sectie	20
3.5 Berekening windlast antennes	24
3.6 Samenvatting belastingen	25
3.7 Belasting combinaties	26
4.0 Resultaat computerberekening	27
4.1 Staafrachten, hoekverdraaiingen en verplaatsingen	27
4.2 controle uitbuigingen en hoekverdraaiingen	31
4.3 Controle knik stabiliteit mastlichaam	32
4.4 Controle bout – en lasverbindingen	37
4.5 Voorspanning bouten van de randstaven	45
4.6 Berekening instorting	46
4.7 Steunpuntreacties t.p.v. voet van de mast	47
4.8 Samenvatting fundatie belastingen windgebied I, II en III onbebouwd	49
Bijlage: Statische berekening topstuk inclusief topbuis	53

1.0 - Uitgangspunten berekening.

1.1 - Inleiding.

In dit rapport wordt in opdracht van Novec de statische berekening van een 39.99 meter buis-vakwerkmast gepresenteerd.

Deze mast "Modulair Standaard Mast – type VDL 3000-1200-1200" is berekend op zes verschillende systemen (vijf operators en schotel antennes). De mast wordt op verschillende locaties in het land geplaatst.

In de berekening is ervan uitgegaan dat de mast zich bevindt in windgebied I conform NEN -EN 1991-1-4 (Eurocode 1 – deel 1 – 4) met terreincategorie II (onbebouwd).

1.2 – Toegepaste normen.

De berekening is gebaseerd op de volgende normen:

Eurocode 0 – Grondslagen van het constructief ontwerp, uitgave C2: 2011/ NB: 2011

Eurocode 1 – Deel 1, Algemene belastingen, uitgave C1: 2011/ NB: 2011

– Deel 1-4, Algemene belastingen -Windbelastingen, uitgave C2: 2011/ NB: 2011

Eurocode 3 – Deel 1, Ontwerp en berekenen van staalconstructies, uitgave C2: 2011/ NB: 2011

– Deel 1-8, Ontwerp en berekenen van verbindingen, uitgave C2: 2011/ NB: 2011

– Deel 3-1, Torens, masten en schoorstenen, uitgave C1: 2009/ NB: 2012

NEN-EN 50341-3 – Bovengrondse elektrische lijnen boven 45 kV wisselspanning – Verzameling van nationale normatieve aspecten, uitgave juli 2013.

1.3 – Randvoorwaarden.

Volgens NEN-EN 1990 wordt de constructie ingedeeld in ontwerp levensduurklasse 3, gevolgklasse CC2 en referentieperiode 50 jaar. Bij deze berekening zijn de verschillende gevolgklasse meegenomen in de berekening, dus naast CC2 ook CC1 en CC3.

Volgens NEN-EN 1090-2 wordt de constructie ingedeeld in gebruikscategorie SC1, productiecategorie PC1/ PC2 en uitvoeringsklasse (Execution Class) EXC2.

De in deze berekening voorkomende spanningen en verplaatsingen zijn gebaseerd op karakteristieke belastingen, vermenigvuldigd met de bijbehorende belastingfactoren.

Voor berekening van verplaatsingen, uitbuigingen:

Eigen gewichten + rustende bel. $\gamma_{f,g} = 1.0$

Wind belasting $\gamma_{f,q} = 1.0$

Voor controle van de profilering en bout verbindingen, conform NEN-EN 1993-3-1:

Soort belasting	CC1	CC2	CC3	Ongunstig werkend
Eigen gewichten + rustende bel.	$\gamma_{f,g} = 1.0$	$\gamma_{f,g} = 1.1$	$\gamma_{f,g} = 1.2$	$\gamma_{f,g} = 0.9$
Windbelasting	$\gamma_{f,q} = 1.2$	$\gamma_{f,q} = 1.4$	$\gamma_{f,q} = 1.6$	$\gamma_{f,g} = 0.9$

In de bruikbaarheidsgrenstoestand dient voldaan te worden aan de volgende randvoorwaarden:

Conform NEN-EN 50341-3:

1. De maximale horizontale uitbuiging mag niet groter zijn dan 8% van de hoogte van de mast.
2. De relatieve verplaatsing van de mast mag niet groter zijn dan 1% van de hoogte van de mast.

De eisen van de mobiele operators:

Voor de referentieperiode van één jaar, moet de hoekverdraaiing van de mast ten hoogte van de bovenste schotels (mini link) of panel antennes kleiner dan 1,0 graad zijn.

De reductiefactor voor referentieperiode van één jaar is $C_{red} = 0,75$ (windgebied I).

Opmerking: De eis van de operators kan voor bepaalde gevallen afwijken van de hierboven genoemde eis.

1.4 – Constructie onderdelen.

A - Mast constructie.

De mast is een buis vakwerkmast met een totale hoogte van 39,99 meter. De mast is opgebouwd uit drie secties van 12 meter, een parallelle sectie van 3,99 meter en een demonteerbaar topstuk van 0.9 meter. De secties worden samengesteld door randstaven en diagonalen met een bout verbinding. De toegepaste profielen zijn ronde buizen (conform EN 10210 en EN 10219).

De mast is voorzien van een ladder met kabelstrippen en valbeveiligingslijn aan de binnenkant van de mast.

De voetmaat is een driehoek van 3,00 meter en op 36,0 meter hoogte is basis gelijk aan 1,20 meter en de basis op 39,99 meter is eveneens 1,20 meter.

B - Fundatie.

De berekening van de fundatie en draagkracht van de grond valt buiten deze berekening. Aan de hand van locatiegegevens en grondmechanisch onderzoek dient de fundatie van de mast separaat te worden berekend.

Opmerking: Voor berekening instorting zie pagina 46 van de berekening.

1.5 – Toegepaste materialen.

A - Mast constructie.

Randstaven:	S355-J2H - $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
Diagonaal staven:	S235-JRH - $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$
Flenzen:	S355
Schetsplaten:	S235

B - Bouten en moeren.

De toegepaste bouten voor de verbinding randstaven en de verbinding diagonalen aan de randstaven zijn kwaliteit 8.8. De sterkte-eigenschappen van de moeren zijn 8.

Alle bouten en de moeren zijn thermisch verzinkt, ISO-passend en gerolde draad.

Revisie 01

C - Lassen in de primaire constructie.

De lassen in de mastconstructie dienen uitgevoerd te worden volgens de smelt lastechniek. De afmetingen van de lassen worden in de berekening gegeven.

1.6 - Belastingen.

In de berekening is rekening gehouden met de volgende antennebezetting.

- 3*A114521R5V06 op 41,3 meter hoogte + AISU + 3*5 RRU's achter de antennes.
- 3*A144521R0V06 op 36,1 meter hoogte + 3*5*RRU's achter de antennes.
- 3*AOC4518R6V06 op 32,8 meter hoogte + 3*5 RRU's achter de antennes.
- 2*K80010456V02 op 30,3 meter hoogte.
- 3*K742242 op 28,0 meter hoogte. *
- 3*0,6 meter dishes op 39,5m hoogte.

Bekabeling:

- 3*A114521R5V06: 15 * o.f. + 15 * DC
- 3*A144521R0V06: 15 * o.f. + 15 * DC
- 3*AOC4518R6V06: 15 * o.f. + 15 * DC
- 2*K80010456V02: 4 * 7/8 feeders
- 3*K742242: 6 * 7/8" feeders
- 0,6 meter dishes: 1*RG 213u kabel per antenne.

*Voor de situatie met CC3 windgebied I- onbebouwd is het 5^{de} antennesysteem uit de mast gehouden. Hierbij zijn de 3*K742242 antennes vervallen.

1.7 - Conclusie

Op grond van de beoordeling van de berekeningsresultaten is de conclusie dat:

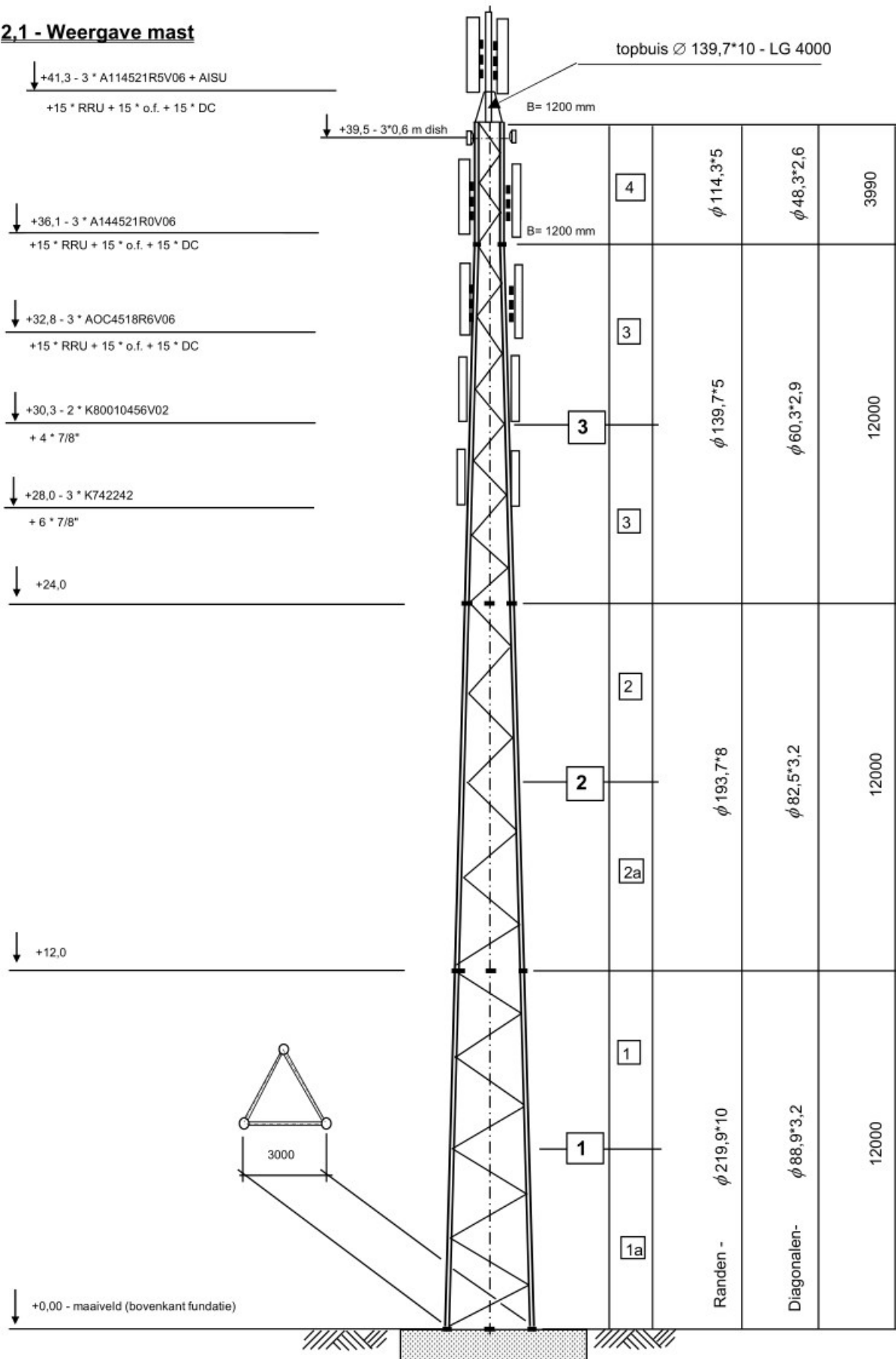
- De mastconstructie voor wat betreft de sterkte en stabiliteit voldoet.
- De mastconstructie voor wat betreft de eisen aan de vervorming voldoet.

Overzicht van de unity checks (belasting percentage) van de staven, bouten, flenzen, lassen en hoekverdraaiing van de mast op 42,7m hoogte (hart bovenste antennes) voor verschillende windgebieden.

Onderdeel:	WG1 – onbebouwd CC2	WG 2 – onbebouwd CC3	WG 3 – onbebouwd CC3
Staven	0,77	0,73	0,61
Bouten	0,72	0,68	0,56
Flenzen	0,98	0,93	0,76
Lassen	0,56	0,53	0,44
Hoekverdraaiing	0,85	0,65	0,49

2,0 - Statische berekening

2,1 - Weergave mast



2.2 - Mastgegevens

Geometrie mastlichaam

Voelhoogte van de mast 0 meter

aantal secties	7	Gemiddelde breedte (m)	2,010
----------------	---	------------------------	-------

sectie nummer	lengte (mm)	breedte voet (mm)	breedte top (mm)	aantal diagonalen	aantal knopen	aantal staven	gem. hoogte (m)
1a	6000	3000	2700	4	5	4	3,00
1b	6000	2700	2400	4	5	4	9,00
2a	6000	2400	2100	4	5	4	15,00
2b	6000	2100	1800	4	5	4	21,00
3a	6000	1800	1500	5	5	4	27,00
3b	6000	1500	1200	5	5	4	33,00
4	3990	1200	1200	4	6	5	38,00
topstuk	900	1200	159		2	1	40,44
topbuis	4000	139,7	139,7		5	4	41,54
	39990				35	34	
	vakwerk						

Profielgegevens

Profielgegevens randstaven							
sectie	D (mm)	t(mm)	A (mm ²)	m (kg/m)	I (mm ⁴)	i (mm)	W _b (mm ³)
1a	219,1	10,0	6569	51,57	35984390	74,01	328475
1b	219,1	10,0	6569	51,57	35984390	74,01	328475
2a	168,3	8,0	4029	31,63	12972712	56,75	154162
2b	168,3	8,0	4029	31,63	12972712	56,75	154162
3a	139,7	5,0	2116	16,61	4805412	47,66	68796
3b	139,7	5,0	2116	16,61	4805412	47,66	68796
4	114,3	5,0	1717	13,48	2569202	38,68	44955

Profielgegevens diagonalen							
sectie	D (mm)	t(mm)	A (mm ²)	m (kg/m)	I (mm ⁴)	i (mm)	W _b (mm ³)
1a	88,9	3,2	862	6,76	792059	30,32	17819
1b	88,9	3,2	862	6,76	792059	30,32	17819
2a	82,5	3,2	797	6,26	627677	28,06	15216
2b	82,5	3,2	797	6,26	627677	28,06	15216
3a	60,3	2,9	523	4,11	215924	20,32	7162
3b	60,3	2,9	523	4,11	215924	20,32	7162
4	48,3	2,6	373	2,93	97765	16,18	4048

Profielgegevens overigen							
Staaft	D (mm)	t(mm)	A (mm ²)	m (kg/m)	I (mm ⁴)	i (mm)	W _b (mm ³)
topstuk	60,3	4,0	707	5,55	281729	19,96	9344
topbuis	139,7	10,0	4075	31,99	8618940	45,99	123392

Stijfheid mast per sectie

Effectieve doorsnede (alléén t.b.v. berekening e.g. mast door computer)

$$A_{\text{eff}} = G_{\text{sectie}} / (L_{\text{sectie}} * 7,85E^{-5})$$

A_{eff} in mm^2 , G_{sectie} in N (incl. extra gewichten) en L_{sectie} in mm

Effectieve traagheidsmoment I_x en I_y

$$I_x = I_y = A_{\text{randst}} * 0,5 * a^2 + 3 * I_{\text{randst}}$$

I_x en I_y in mm^4 , A_{randst} in mm^2 en I_{randst} in mm^4

a = gemiddelde breedte in mm

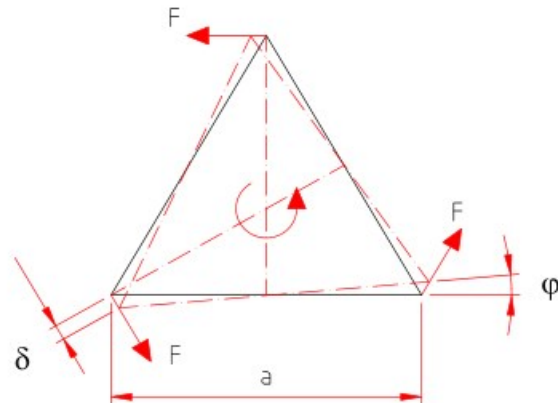
Effectieve torsietraagheidsmoment I_t

$$I_t = M * L_{\text{sectie}} / (G * \varphi) \quad (1)$$

$$M = 2 * F * a * \cos 30^\circ \quad (2)$$

$$\varphi = 2 * \delta / a \quad (3)$$

$$\delta = 2 F * L_{\text{sectie}}^3 / (3 * E * I_{\text{randst}}) \quad (4)$$



Uit vergelijking 1 t/m 4:

$$I_t = 3 * a^2 * \cos 30^\circ * E * I_{\text{sectie}} / (2 G * L_{\text{sectie}}^2)$$

I_t in mm^4 , $E = 210000 \text{ N/mm}^2$ en $G = 81000 \text{ N/mm}^2$

sectie	$A_{\text{rand}} (\text{mm}^2)$	$I_{\text{rand}} (\text{mm}^4)$	$a (\text{mm})$	$I_x \text{ of } I_y (\text{mm}^4)$	$I_t (\text{mm}^4)$	$A_{\text{eff}} (\text{mm}^2)$
1a	6569	35984390	2850	2,68E+10	2,04E+10	2,78E+04
1b	6569	35984390	2550	2,15E+10	1,31E+10	2,73E+04
2a	4029	12972712	2250	1,02E+10	4,85E+09	1,80E+04
2b	4029	12972712	1950	7,70E+09	2,74E+09	1,76E+04
3a	2116	4805412	1650	2,89E+09	7,37E+08	9,92E+03
3b	2116	4805412	1350	1,94E+09	3,31E+08	9,58E+03
4	1717	2569202	1200	1,24E+09	3,79E+08	7,59E+03
topstuk	707	281729	679	1,64E+08	3,15E+08	7,64E+03
topbuis	4075	8618940		8,62E+06	0,00E+00	4,07E+03

2.3 - Computerschema

Knoop nummer	knoop coörd. "z" (mm)	staaf i -- j	sectie	L _{staaf} (mm)	A _{eff} (mm ²)	I _x of I _y (mm ⁴)
1	44000	1 -- 2	topbuis	300	4,07E+03	8,62E+06
2	43700	2 -- 3	topbuis	1000	4,07E+03	8,62E+06
3	42700	3 -- 4	topbuis	900	4,07E+03	8,62E+06
4	41800	4 -- 5	topbuis	900	4,07E+03	8,62E+06
5	40900	5 -- 6	topstuk	900	7,64E+03	1,64E+08
6	40000	6 -- 7	4	500	7,59E+03	1,24E+09
7	39500	7 -- 8	4	2100	7,59E+03	1,24E+09
8	37400	8 -- 9	4	600	7,59E+03	1,24E+09
9	36800	9 -- 10	4	300	7,59E+03	1,24E+09
10	36500	10 -- 11	4	500	7,59E+03	1,24E+09
11	36000	11 -- 12	3b	1800	9,58E+03	1,94E+09
12	34200	12 -- 13	3b	700	9,58E+03	1,94E+09
13	33500	13 -- 14	3b	2000	9,58E+03	1,94E+09
14	31500	14 -- 15	3b	1500	9,58E+03	1,94E+09
15	30000	15 -- 16	3a	1000	9,92E+03	2,89E+09
16	29000	16 -- 17	3a	2000	9,92E+03	2,89E+09
17	27000	17 -- 18	3a	1500	9,92E+03	2,89E+09
18	25500	18 -- 19	3a	1500	9,92E+03	2,89E+09
19	24000	19 -- 20	2b	1500	1,76E+04	7,70E+09
20	22500	20 -- 21	2b	1500	1,76E+04	7,70E+09
21	21000	21 -- 22	2b	1500	1,76E+04	7,70E+09
22	19500	22 -- 23	2b	1500	1,76E+04	7,70E+09
23	18000	23 -- 24	2a	1500	1,80E+04	1,02E+10
24	16500	24 -- 25	2a	1500	1,80E+04	1,02E+10
25	15000	25 -- 26	2a	1500	1,80E+04	1,02E+10
26	13500	26 -- 27	2a	1500	1,80E+04	1,02E+10
27	12000	27 -- 28	1b	1500	2,73E+04	2,15E+10
28	10500	28 -- 29	1b	1500	2,73E+04	2,15E+10
29	9000	29 -- 30	1b	1500	2,73E+04	2,15E+10
30	7500	30 -- 31	1b	1500	2,73E+04	2,15E+10
31	6000	31 -- 32	1a	1500	2,78E+04	2,68E+10
32	4500	32 -- 33	1a	1500	2,78E+04	2,68E+10
33	3000	33 -- 34	1a	1500	2,78E+04	2,68E+10
34	1500	34 -- 35	1a	1500	2,78E+04	2,68E+10
35	0					

3,0 - Berekening belastingen

3,1 - Berekening stuwdruk

Omgevingsinvloeden

Windgebied I

$v_{b,0} = 29,5 \text{ m/s}$

Waarschijnlijkheidsfactor

referentieperiode R : 50 jaar

K = 0,2

n = 0,5

p = 0,020

$$c_{prob} = \left(\frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1-p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^n = 1,00$$

$$c_{prob}^2 = 1,00$$

Basiswindsnelheid

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} * c_{prob}$$

$c_{dir} = 1,0$

$c_{season} = 1,0$

$v_b = 29,5 \text{ m/s}$

Gemiddelde wind

$$v_m(z) = c_r(z) * c_o(z) * v_b$$

Terreincategorie II onbebouwd gebied

$z_0 = 0,2 \text{ m}$

$z_{min} = 4 \text{ m}$

$z_{max} = 200 \text{ m}$

Terreinfactor

$$k_r = 0,19 * (z_0 / z_{0,II})^{0,07}$$

$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$

$k_r = 0,21$

Ruwheidsfactor

$$c_r(z) = k_r * \ln(z/z_0) \quad \text{voor } z_{min} < z < z_{max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \quad \text{voor } z < z_{min}$$

Windturbulentie

Standaard afwijking met betrekking tot de turbulentie intensiteit

$$\sigma_v = k_r * v_b * k_l$$

$$k_l = 1,0$$

$$\sigma_v = 6,18$$

Turbulentieintensiteit

$$I_v(z) = \sigma_v / v_m(z) = k_l / (c_0(z) * \ln(z/z_0)) \quad \text{voor } z_{\min} < z < z_{\max}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad \text{voor } z < z_{\min}$$

$$c_0 = v_m / v_f$$

v_m is de gemiddelde windsnelheid op een hoogte z boven het terrein

v_{mf} is de gemiddelde windsnelheid boven vlak terrein

$$\Phi = H / L_u$$

$$\text{Indien } \Phi < 0,05; c_0 = 1,0$$

Extreme stuwdruk

$$q_p(z) = (1 + 7 * I_v(z)) * 0,5 * \rho * v_m^2(z) = c_e(z) * q_b$$

$$\rho = 1,25 \quad \text{kg/m}^3$$

$$c_e(z) = q_p(z) / q_b$$

$$q_b = 0,5 * \rho * v_b^2$$

sectie	z (m)	$c_r(z)$	$v_m(z)$	$I_v(z)$	$q_p(z)$ (N/m ²)
1a	3	0,63	18,50	0,33	714
1b	9	0,80	23,51	0,26	981
2a	15	0,90	26,67	0,23	1165
2b	21	0,97	28,74	0,21	1293
3a	27	1,03	30,30	0,20	1392
3b	33	1,07	31,54	0,20	1474
4	37,995	1,10	32,41	0,19	1532
topstuk	40,44	1,11	32,79	0,19	1558
topbuis	41,54	1,12	32,96	0,19	1569

sectie (i--j)	z (m)	$c_r(z)$	$v_m(z)$	$l_v(z)$	$q_p(z)$ (N/m ²)
1 -- 2	43,9	1,13	33,29	0,19	1592
2 -- 3	43,2	1,13	33,20	0,19	1586
3 -- 4	42,3	1,12	33,06	0,19	1577
4 -- 5	41,4	1,12	32,93	0,19	1567
5 -- 6	40,5	1,11	32,79	0,19	1558
6 -- 7	39,8	1,11	32,68	0,19	1551
7 -- 8	38,5	1,10	32,48	0,19	1537
8 -- 9	37,1	1,09	32,26	0,19	1522
9 -- 10	36,7	1,09	32,18	0,19	1517
10 -- 11	36,3	1,09	32,12	0,19	1512
11 -- 12	35,1	1,08	31,92	0,19	1499
12 -- 13	33,9	1,07	31,69	0,19	1484
13 -- 14	32,5	1,07	31,44	0,20	1467
14 -- 15	30,8	1,05	31,10	0,20	1445
15 -- 16	29,5	1,05	30,84	0,20	1428
16 -- 17	28,0	1,03	30,52	0,20	1407
17 -- 18	26,3	1,02	30,12	0,21	1381
18 -- 19	24,8	1,01	29,76	0,21	1358
19 -- 20	23,3	1,00	29,37	0,21	1333
20 -- 21	21,8	0,98	28,96	0,21	1307
21 -- 22	20,3	0,97	28,52	0,22	1279
22 -- 23	18,8	0,95	28,04	0,22	1249
23 -- 24	17,3	0,93	27,53	0,22	1217
24 -- 25	15,8	0,91	26,97	0,23	1183
25 -- 26	14,3	0,89	26,35	0,23	1146
26 -- 27	12,8	0,87	25,66	0,24	1105
27 -- 28	11,3	0,84	24,89	0,25	1060
28 -- 29	9,8	0,81	24,00	0,26	1009
29 -- 30	8,3	0,78	22,97	0,27	951
30 -- 31	6,8	0,74	21,73	0,28	882
31 -- 32	5,3	0,68	20,18	0,31	800
32 -- 33	3,8	0,63	18,50	0,33	714
33 -- 34	2,3	0,63	18,50	0,33	714
34 -- 35	0,8	0,63	18,50	0,33	714

3.2 - Berekening eigenfrequentie mast en meewerkende massa

Gewicht antennes

Type antenne / dish	Knoop	aantal	massa ant. (kg)	massa bev. (kg)	gewicht totaal (N)
Systeem 1 - A114521R5V	3	3	56,5	35,8	2716
Systeem 1 - 5* RRU	3	3	125	0	3679
Dishes - 0,6 m dish	7	3	22	0	647
Systeem 2 - A144521R0V	8	3	53	35,8	2613
Systeem 2 - 5* RRU	8	3	125	0	3679
Systeem 3 - AOC4518R6V	12	3	54,8	35,8	2666
Systeem 3 - 5* RRU	12	3	125	0	3679
Systeem 4 - K80010456V0	14	2	22	2	471
Systeem 5 - K742242	16	3	19	2	618

Berekening eigenfrequentie mast

Horizontale verplaatsing van de mast t.g.v. e.g. mast en antennes in de windrichting

knoop	staaf	gewicht	gewicht	dwarskracht	moment	hoekverdraai	verplaatsing
1			0	0,00	0,00	2,12E-02	362,48
2	1 -- 2	80	0	0,08	0,01	2,12E-02	356,13
3	2 -- 3	267	6395	6,74	0,23	2,11E-02	334,98
4	3 -- 4	241	0	6,98	6,40	1,95E-02	316,49
5	4 -- 5	299	0	7,28	12,82	1,47E-02	300,87
6	5 -- 6	876	0	8,16	19,77	1,43E-02	287,82
7	6 -- 7	474	647	9,28	23,97	1,42E-02	280,69
8	7 -- 8	1992	6292	17,56	45,55	1,40E-02	251,06
9	8 -- 9	572	0	18,14	56,26	1,38E-02	242,72
10	9 -- 10	306	0	18,44	61,75	1,38E-02	238,58
11	10 -- 11	509	0	18,95	71,10	1,36E-02	231,72
12	11 -- 12	1936	6345	27,23	106,95	1,33E-02	207,48
13	12 -- 13	753	0	27,99	126,28	1,31E-02	198,27
14	13 -- 14	2281	471	30,74	184,53	1,23E-02	172,87
15	14 -- 15	1711	0	32,45	231,92	1,15E-02	154,98
16	15 -- 16	1194	618	34,26	264,97	1,11E-02	143,65
17	16 -- 17	2389	0	36,65	335,88	1,01E-02	122,36
18	17 -- 18	1836	0	38,49	392,23	9,24E-03	107,81
19	18 -- 19	1836	0	40,32	451,33	8,20E-03	94,72
20	19 -- 20	2737	0	43,06	513,87	7,75E-03	82,75
21	20 -- 21	2737	0	45,80	580,51	7,24E-03	71,50
22	21 -- 22	2737	0	48,53	651,26	6,67E-03	61,06
23	22 -- 23	2737	0	51,27	726,11	6,03E-03	51,52
24	23 -- 24	2799	0	54,07	805,12	5,50E-03	42,87
25	24 -- 25	2799	0	56,87	888,32	4,91E-03	35,06
26	25 -- 26	2799	0	59,67	975,72	4,26E-03	28,18
27	26 -- 27	2799	0	62,46	1067,32	3,54E-03	22,32
28	27 -- 28	3879	0	66,34	1163,92	3,17E-03	17,27
29	28 -- 29	3879	0	70,22	1266,35	2,77E-03	12,81
30	29 -- 30	3879	0	74,10	1374,59	2,33E-03	8,98
31	30 -- 31	3879	0	77,98	1488,65	1,85E-03	5,84
32	31 -- 32	3948	0	81,93	1608,58	1,44E-03	3,36
33	32 -- 33	3948	0	85,88	1734,44	9,96E-04	1,53
34	33 -- 34	3948	0	89,82	1866,21	5,16E-04	0,39
35	34 -- 35	3948	0	93,77	2003,91	0,00E+00	0,00
Gewicht totaal (kN) =			93,77				

Voor de berekening van de eigenfrequentie is de Rayleigh-Ritz methode toegepast.

Bij benadering kan de eigenfrequentie bepaald worden door alle massa's m_i van het dynamische model dezelfde versnelling g in de richting van de beweging te geven en vervolgens de eigen-trillingsvorm te berekenen onder invloed van krachten $F_i = m_i \cdot g$

De eigenfrequentie van de eerste trillingsvorm kan berekend worden door:

$$f_{e,1} = 1 / 2\pi * \{g * \sum m_i * \delta_i / g * \sum m_i * \delta_i^{2,0,5}\} =$$

knoop nummer	staaf nummer	m _{mast + kabel + ladder} (kg)	m _{ant} (kg)	verplaat- sing δ (m)	$g \sum m_i \delta_i$	$\sum m_i \delta_i^2$
1	1 -- 2	8,2	0,0	0,362	28,83	1,056
2	2 -- 3	27,3	0,0	0,356	92,44	3,256
3	3 -- 4	24,5	651,9	0,335	2220,67	75,755
4	4 -- 5	30,5	0,0	0,316	92,30	2,904
5	5 -- 6	89,3	0,0	0,301	257,83	7,736
6	6 -- 7	48,3	0,0	0,288	134,82	3,907
7	7 -- 8	203,1	66,0	0,281	711,38	19,555
8	8 -- 9	58,4	641,4	0,251	1721,02	43,985
9	9 -- 10	31,2	0,0	0,243	73,55	1,804
10	10 -- 11	51,9	0,0	0,239	119,78	2,871
11	11 -- 12	197,4	0,0	0,232	425,17	9,518
12	12 -- 13	76,8	646,8	0,207	1469,26	31,003
13	13 -- 14	232,5	0,0	0,198	423,24	8,006
14	14 -- 15	174,4	48,0	0,173	361,81	6,120
15	15 -- 16	121,7	0,0	0,155	178,33	2,714
16	16 -- 17	243,5	63,0	0,144	406,47	5,607
17	17 -- 18	187,2	0,0	0,122	211,35	2,479
18	18 -- 19	187,2	0,0	0,108	185,97	1,920
19	19 -- 20	279,0	0,0	0,095	242,88	2,197
20	20 -- 21	279,0	0,0	0,083	211,11	1,660
21	21 -- 22	279,0	0,0	0,072	181,42	1,226
22	22 -- 23	279,0	0,0	0,061	154,07	0,884
23	23 -- 24	285,3	0,0	0,052	132,08	0,635
24	24 -- 25	285,3	0,0	0,043	109,04	0,433
25	25 -- 26	285,3	0,0	0,035	88,48	0,285
26	26 -- 27	285,3	0,0	0,028	70,65	0,182
27	27 -- 28	395,4	0,0	0,022	76,78	0,155
28	28 -- 29	395,4	0,0	0,017	58,34	0,089
29	29 -- 30	395,4	0,0	0,013	42,26	0,047
30	30 -- 31	395,4	0,0	0,009	28,74	0,022
31	31 -- 32	402,5	0,0	0,006	18,16	0,009
32	32 -- 33	402,5	0,0	0,003	9,66	0,002
33	33 -- 34	402,5	0,0	0,002	3,79	0,000
34	34 -- 35	402,5	0,0	0,000	0,77	0,000
35			0,0	0,000	0,00	0,000
				Som	10542,45	238,024

$$f_{e,1} = 1 / 2\pi * \{g * \sum m_i * \delta_i / g * \sum m_i * \delta_i^{2,0,5}\} =$$

1,06 Hz

$m_{i,e}$ is de equivalente massa m_e per lengte eenheid in kg/m gewogen naar de trillingsvorm

$$m_e = \frac{\int_0^l m(s) * \phi_i^2(s) ds}{\int_0^l \phi_i^2(s) ds}$$

knoop nummer	verpl. δ mm	$\phi_{i,1}$	staaf nummer	ϕ_i	$g_{\text{mast + kabel + ant.}}$ (kg/m)	g_{ant} (kg/m)	massa kg/m
1	362,476	1,000					
2	356,127	0,982	1 -- 2	0,991	27,27	0,0	27,27
3	334,982	0,924	2 -- 3	0,953	27,27	0,0	27,27
4	316,491	0,873	3 -- 4	0,899	27,27	724,3	751,60
5	300,875	0,830	4 -- 5	0,852	33,87	0,0	33,87
6	287,821	0,794	5 -- 6	0,812	99,21	0,0	99,21
7	280,693	0,774	6 -- 7	0,784	96,70	0,0	96,70
8	251,059	0,693	7 -- 8	0,734	96,70	31,4	128,13
9	242,718	0,670	8 -- 9	0,681	97,25	1069,0	1166,25
10	238,575	0,658	9 -- 10	0,664	103,85	0,0	103,85
11	231,719	0,639	10 -- 11	0,649	103,85	0,0	103,85
12	207,484	0,572	11 -- 12	0,606	109,64	0,0	109,64
13	198,273	0,547	12 -- 13	0,560	109,64	924,0	1033,64
14	172,875	0,477	13 -- 14	0,512	116,24	0,0	116,24
15	154,984	0,428	14 -- 15	0,452	116,24	32,0	148,24
16	143,653	0,396	15 -- 16	0,412	121,74	0,0	121,74
17	122,358	0,338	16 -- 17	0,367	121,74	31,5	153,24
18	107,812	0,297	17 -- 18	0,317	124,80	0,0	124,80
19	94,719	0,261	18 -- 19	0,279	124,80	0,0	124,80
20	82,752	0,228	19 -- 20	0,245	186,01	0,0	186,01
21	71,501	0,197	20 -- 21	0,213	186,01	0,0	186,01
22	61,058	0,168	21 -- 22	0,183	186,01	0,0	186,01
23	51,522	0,142	22 -- 23	0,155	186,01	0,0	186,01
24	42,868	0,118	23 -- 24	0,130	190,18	0,0	190,18
25	35,056	0,097	24 -- 25	0,107	190,18	0,0	190,18
26	28,175	0,078	25 -- 26	0,087	190,18	0,0	190,18
27	22,315	0,062	26 -- 27	0,070	190,18	0,0	190,18
28	17,272	0,048	27 -- 28	0,055	263,60	0,0	263,60
29	12,810	0,035	28 -- 29	0,041	263,60	0,0	263,60
30	8,981	0,025	29 -- 30	0,030	263,60	0,0	263,60
31	5,837	0,016	30 -- 31	0,020	263,60	0,0	263,60
32	3,362	0,009	31 -- 32	0,013	268,31	0,0	268,31
33	1,530	0,004	32 -- 33	0,007	268,31	0,0	268,31
34	0,391	0,001	33 -- 34	0,003	268,31	0,0	268,31
35	0,000	0,000	34 -- 35	0,001	268,31	0,0	268,31

staaf nummer	massa kg/m	ϕ_i	s (m)	$\phi_i^2 * s$	$\phi_i^2 * s * m$	$\phi_i * s$
1 -- 2	27,27	0,991	0,300	0,29	8,04	0,30
2 -- 3	27,27	0,953	1,000	0,91	24,78	0,95
3 -- 4	751,60	0,899	0,900	0,73	546,27	0,81
4 -- 5	33,87	0,852	0,900	0,65	22,11	0,77
5 -- 6	99,21	0,812	0,900	0,59	58,88	0,73
6 -- 7	96,70	0,784	0,500	0,31	29,73	0,39
7 -- 8	128,13	0,734	2,100	1,13	144,76	1,54
8 -- 9	1166,25	0,681	0,600	0,28	324,63	0,41
9 -- 10	103,85	0,664	0,300	0,13	13,73	0,20
10 -- 11	103,85	0,649	0,500	0,21	21,85	0,32
11 -- 12	109,64	0,606	1,800	0,66	72,44	1,09
12 -- 13	1033,64	0,560	0,700	0,22	226,66	0,39
13 -- 14	116,24	0,512	2,000	0,52	60,94	1,02
14 -- 15	148,24	0,452	1,500	0,31	45,48	0,68
15 -- 16	121,74	0,412	1,000	0,17	20,66	0,41
16 -- 17	153,24	0,367	2,000	0,27	41,27	0,73
17 -- 18	124,80	0,317	1,500	0,15	18,87	0,48
18 -- 19	124,80	0,279	1,500	0,12	14,61	0,42
19 -- 20	186,01	0,245	1,500	0,09	16,72	0,37
20 -- 21	186,01	0,213	1,500	0,07	12,63	0,32
21 -- 22	186,01	0,183	1,500	0,05	9,33	0,27
22 -- 23	186,01	0,155	1,500	0,04	6,73	0,23
23 -- 24	190,18	0,130	1,500	0,03	4,84	0,20
24 -- 25	190,18	0,107	1,500	0,02	3,30	0,16
25 -- 26	190,18	0,087	1,500	0,01	2,17	0,13
26 -- 27	190,18	0,070	1,500	0,01	1,38	0,10
27 -- 28	263,60	0,055	1,500	0,00	1,18	0,08
28 -- 29	263,60	0,041	1,500	0,00	0,68	0,06
29 -- 30	263,60	0,030	1,500	0,00	0,36	0,05
30 -- 31	263,60	0,020	1,500	0,00	0,17	0,03
31 -- 32	268,31	0,013	1,500	0,00	0,06	0,02
32 -- 33	268,31	0,007	1,500	0,00	0,02	0,01
33 -- 34	268,31	0,003	1,500	0,00	0,00	0,00
34 -- 35	268,31	0,001	1,500	0,00	0,00	0,00
		Σ	44,000	7,968	1755,272	13,686

 $m_e = 220,29 \text{ kg/m}$

3.3 - Berekening bouwwerkfactor $c_s c_d$

$$c_s c_d = 1 + 2 * k_p * I_v(z_s) * (B^2 + R^2)^{0,5} / (1 + 7 * I_v(z_s))$$

$$b = 0,63 \quad \text{m}$$

$$h = 40 \quad \text{m}$$

$$z_s = h_0 + 0,6 * h = 23,994 \quad \text{m}$$

$$\alpha = 0,67 + 0,05 * \ln(z_0) = 0,59$$

$$\text{De referentiehoogte } z_t = 200 \quad \text{m}$$

$$\text{De referentielengteschaal } L_t = 300 \quad \text{m}$$

$$L(z_s) = 85,94$$

$$B^2 = 0,59$$

$$\delta_s = 0,03$$

$$\delta_a = 0,059$$

$$\delta_d = 0 \quad \text{nvt, geen dempinstallatie}$$

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d = 0,089$$

$$\delta_a = c_r * \rho * b * v_m(z_s) / (2 * n_1 * m_e)$$

$$c_r(z_s) = 1,00$$

$$v_m(z_s) = 29,57 \quad \text{m/s}$$

$$I_v(z_s) = 0,21$$

$$S_L(z,n) = 0,06$$

$$f_L(z,n) = n * L(z) / v_m(z) = 3,08$$

$$c_y = c_z = 11,5$$

$$\phi_y = 0,26$$

$$\phi_z = 16,47$$

$$G_y = 0,5$$

$$G_z = 0,28$$

$$K_s(n) = 0,18$$

$$R^2 = 0,63$$

$$T = 600 \quad \text{s}$$

$$v = n_{1,x} * (R^2 / (B^2 + R^2))^{0,5} = 0,76$$

$$k_p = \{2 * \ln(v * T)\}^{0,5} + 0,6 / \{ (2 * \ln(v * T))^{0,5} \} = 3,67$$

$$c_s c_d = 1,09$$

3.4 - Berekening windoppervlak en windlast per sectie.

Bepaling van de krachtcoëfficiënt c_f voor de topbuis

$$c_f = c_{f,0} * \psi_{\lambda}$$

$$c_{f,0} \text{ is } 0,11 / (Re/10^6)^{1,4} \text{ voor } k/b \leq 10^{-5}$$

$$c_{f,0} \text{ is } 1,2 + 0,18 * \log(10 * k/b) / (1 + 0,4 * \log(Re/10^6)) \text{ voor } k/b > 10^{-5}$$

$$\psi_{\lambda} \text{ conform EN-1991-1-4 - 7,13}$$

$$Re = b * v(z_e) / \nu ; \quad v(z_e) = \{ 2 * q_p / \rho \}^{0,5}$$

$$\nu \text{ is de kinematische viscositeit van de lucht, } \nu = 1,50E-05 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 1 \text{ mm} \quad \text{voor masten met bekabeling}$$

$$b = 139,7 \text{ mm}$$

$$k/b = 7,16E-03$$

$$h = 39,99 \text{ m}$$

$$\lambda = 17,05$$

Bepaling van de krachtcoëfficiënt c_f voor vakwerken

NEN-EN 1993-3-1:2006(E) B2.2.2 Overall Normal force coefficients

Constructief

$$c_{f,s} = K_{\theta} * c_{f,s,0} * A_s / \Sigma A$$

Voor driehoekige constructies:

$$K_{\theta} = \frac{A_c + A_{c,sup}}{A_s} + \frac{A_f}{A_s} (1 - 0,1 \sin^2 1,5\theta)$$

A_f = Oppervlakte van vlakzijdige sectie onderdelen

A_c = Oppervlakte van ronde sectie onderdelen in het sub kritische regime

$A_{c,sup}$ = Oppervlakte van ronde sectie onderdelen in het super kritische regime

$$C_1 = 1,9 \quad \text{Voor driehoekige constructies}$$

$$C_2 = 1,4 \quad \text{Voor driehoekige constructies}$$

$$c_{f,0,f} = 1,76 C_1 [1 - C_2 \varphi + \varphi^2]$$

$$c_{f,0,c} = C_1 (1 - C_2 \varphi) + (C_1 + 0,875) \varphi^2$$

$$c_{f,0,c,sup} = 1,9 - \{ (1 - \varphi) (2,8 - 1,14 C_1 + \varphi) \}^{0,5}$$

$$\Sigma A = A_{\text{ref}} = A_s \quad (A_{\text{ref}} \text{ volgens 5.3(2) EN 1991-1-4})$$

$$c_{f,s,0,j} = c_{f,0,f} \frac{A_f}{A_s} + c_{f,0,c} \frac{A_c}{A_s} + c_{f,0,c,\text{sup}} \frac{A_{c,\text{sup}}}{A_s}$$

Ancillaries

$$c_{f,A} = c_{f,A,0} * K_A * \sin^2 \psi * A_A / \Sigma A$$

$$\psi = 90,0^\circ$$

$$K_A = 0,8$$

K_A is standaard 1,0 of als

bovengenoemd 0,8

restraints volgens B2.3 van EN-1993-3-1

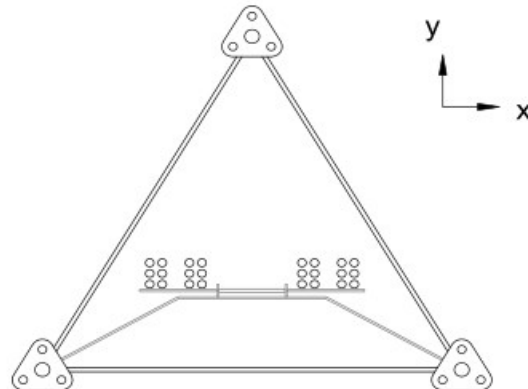
de reductiefactor geldt niet voor ronde secties in supercritical flow

$A_A < A_s$ indien $A_A > A_s$, dan moet de K_A factor toegepast worden op de constructie

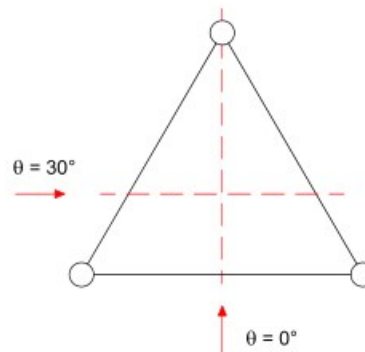
ipv op de toebehoren $A_A < 0,5 * A_{\text{gross}}$

ancillaries do not extend 10% beyond the total face width of the structure

$c_{f,A,0} = 1,20$ circular sections, smooth wire, cylinders with helical strikes
of depth up to 0.12D



Bepaling van sub- of supercritical regime



Wind in "Y"-richting $\theta = 0^\circ$

sectie nummer	d randstaaf	$v(z_e)$ (m/s)	R_e randst.		d diagonaal	R_e diag.	
1a	0,219	33,8	4,94E+05	super critical	0,089	2,00E+05	sub critical
1b	0,219	39,6	5,79E+05	super critical	0,089	2,35E+05	sub critical
2a	0,168	43,2	4,84E+05	super critical	0,083	2,37E+05	sub critical
2b	0,168	45,5	5,10E+05	super critical	0,083	2,50E+05	sub critical
3a	0,140	47,2	4,40E+05	super critical	0,060	1,90E+05	sub critical
3b	0,140	48,6	4,52E+05	super critical	0,060	1,95E+05	sub critical
4	0,114	49,5	3,77E+05	sub critical	0,048	1,59E+05	sub critical
topstuk	0,060	49,9	2,01E+05	sub critical			
topbuis	0,1397	50,1	4,67E+05	super critical			

Wind in "X"-richting $\theta = 30^\circ$

sectie nummer	d randstaaf	$v(z_e)$ (m/s)	R_e randst.		d diagonaal	R_e diag.	
1a	0,219	33,8	4,94E+05	super critical	0,089	2,00E+05	sub critical
1b	0,219	39,6	5,79E+05	super critical	0,089	2,35E+05	sub critical
2a	0,168	43,2	4,84E+05	super critical	0,083	2,37E+05	sub critical
2b	0,168	45,5	5,10E+05	super critical	0,083	2,50E+05	sub critical
3a	0,140	47,2	4,40E+05	super critical	0,060	1,90E+05	sub critical
3b	0,140	48,6	4,52E+05	super critical	0,060	1,95E+05	sub critical
4	0,114	49,5	3,77E+05	sub critical	0,048	1,59E+05	sub critical
topstuk	0,060	49,9	2,01E+05	sub critical			
topbuis	0,140	50,1	4,67E+05	super critical			

Windoppervlak en windlast per sectie
Wind in "Y"-richting $\theta = 0^\circ$

sectie	$q_p(z)$ (N/m ²)	A_s (m ²)	A_A (m ²)	$C_{f,S}$	$C_{f,A}$	$F_{T,W(z)}$ (N)	$F_{T,W(z)}$ (kN/m)
1a	714	3,77	3,39	1,19	0,96	6058	1,01
1b	981	3,68	3,34	1,18	0,96	8095	1,35
2a	1165	2,91	3,28	0,96	1,20	8569	1,43
2b	1293	3,03	3,23	0,95	1,20	9561	1,59
3a	1392	2,29	3,18	0,94	1,20	9085	1,51
3b	1474	2,11	2,95	0,92	1,20	8825	1,47
4	1532	1,21	1,64	1,12	1,20	5574	1,40
topstuk	1558	0,13	0,44	1,14	1,20	1146	1,27
topbuis	1569	0,43	0,87	0,73	1,20	2343	0,76

Wind in "X"-richting $\theta = 30^\circ$

sectie	$q_p(z)$ (N/m ²)	A_s (m ²)	A_A (m ²)	$C_{f,S}$	$C_{f,A}$	$F_{T,W(z)}$ (N)	$F_{T,W(z)}$ (kN/m)
1a	714	3,62	3,39	1,19	0,96	5894	0,98
1b	981	3,54	3,34	1,17	0,96	7890	1,32
2a	1165	2,79	3,28	0,95	1,20	8401	1,40
2b	1293	2,90	3,23	0,95	1,20	9358	1,56
3a	1392	2,21	3,18	0,94	1,20	8947	1,49
3b	1474	2,05	2,95	0,92	1,20	8723	1,45
4	1532	1,17	1,64	1,13	1,20	5515	1,38
topstuk	1558	0,11	0,44	1,17	1,20	1119	1,24
topbuis	1569	0,43	0,87	0,73	1,20	2343	0,76

Wind in alle richtingen

staaf	z (m)	$v(z_e)$ (m/s)	d_m (m)	R_e	$C_{f,0}$	ψ_λ	C_f
topbuis	41,54	50,11	0,140	4,67E+05	0,962	0,76	0,73

3.5 - Windlast antennes

Windlast antennes

$$F_w = F_{\text{ant/dish}} * q_w / q_{w,x} * c_s c_d$$

$$1 * \text{antenne: } F_{\text{ant}} = \{ F_{\text{rear}} * \cos(60/180 * \pi) + F_{\text{lat}} * \sin(60/180 * \pi) \}$$

$$2 * \text{antenne: } F_{\text{ant}} = 2 * \{ F_{\text{rear}} * \cos(60/180 * \pi) + F_{\text{lat}} * \sin(60/180 * \pi) \}$$

$$3 * \text{antenne: } F_{\text{ant}} = 2/3 * F_{\text{rear}} + 2 * \{ F_{\text{front}} * \cos(60/180 * \pi) + F_{\text{lat}} * \sin(60/180 * \pi) \}$$

$$1 * \text{dish: } F_{\text{dish}} = \{ (F_{\text{front}}^2 + F_{\text{lat}}^2)^{0,5} \} * 1,1$$

$$2 * \text{dish: } F_{\text{dish}} = \{ (F_{\text{front}} + F_{\text{lat}}) \} * 1,1$$

$F_{\text{front/rear/lat}}$ zijn de windlasten opgegeven door de fabrikant en bepaald d.m.v. windtunnel beproeving

q_w is de optredende stuwdruk

$q_{w,x}$ is de stuwdruk behorende de opgegeven $F_{\text{front/lat/rear}}$ bij een windsnelheid $v_{w,x}$

$$q_{w,x} = (v_{w,x} / 3,6)^2 / 1,6 \text{ [N]} \quad (v_{w,x} \text{ in km/h})$$

Windlasten antennes zijn met een factor 1,1 verhoogd t.b.v. de bijdrage van de windlast uithouders.

Daarbij is uitgegaan van enkelvoudige uithouders.

Windlasten RRU's zijn gereduceerd door een factor 0,7 toe te passen i.v.m. schaduw posities,

ervan uitgaande dat deze achter de antennes geplaatst zijn.

type	werkelijk aantal	berekend aantal	opgave windlast (N)	bij windsn. (km/h)	opstel- hoogte (m)	stuwdruk (N/m ²)	Windlast (N)
Systeem 1 - A114521R5V		3	2716	150	42,7	1581	4325
Systeem 1 - 5* RRU		3	1256	150	42,7	1581	2000
Dishes - 0,6 m dish		3	2136	198	39,5	1548	1912
Systeem 2 - A144521R0V		3	2888	150	37,4	1525	4438
Systeem 2 - 5* RRU		3	1256	150	37,4	1525	1929
Systeem 3 - AOC4518R6V		3	2801	150	34,2	1488	4200
Systeem 3 - 5* RRU		3	1256	150	34,2	1488	1882
Systeem 4 - K80010456V0		2	2873	150	31,5	1455	4209
Systeem 5 - K742242		3	3178	150	29,0	1421	4549

3.6 - Samenvatting belastingen

knoop	staaf	sectie	Wind in "Y"-richting		Wind in "X"-richting	
			windbel. mast in kN/m	windbel. antennes in kN	windbel. mast in kN/m	windbel. antennes in kN
1	1 -- 2	topbuis	0,756	0,000	0,756	0,000
2	2 -- 3	topbuis	0,756	0,000	0,756	0,000
3	3 -- 4	topbuis	0,756	6,324	0,756	6,324
4	4 -- 5	topbuis	0,756	0,000	0,756	0,000
5	5 -- 6	topstuk	1,274	0,000	1,244	0,000
6	6 -- 7	4	1,397	0,000	1,382	0,000
7	7 -- 8	4	1,397	1,912	1,382	1,912
8	8 -- 9	4	1,397	6,367	1,382	6,367
9	9 -- 10	4	1,397	0,000	1,382	0,000
10	10 -- 11	4	1,397	0,000	1,382	0,000
11	11 -- 12	3b	1,471	0,000	1,454	0,000
12	12 -- 13	3b	1,471	6,082	1,454	6,082
13	13 -- 14	3b	1,471	0,000	1,454	0,000
14	14 -- 15	3b	1,471	4,209	1,454	4,209
15	15 -- 16	3a	1,514	0,000	1,491	0,000
16	16 -- 17	3a	1,514	4,549	1,491	4,549
17	17 -- 18	3a	1,514	0,000	1,491	0,000
18	18 -- 19	3a	1,514	0,000	1,491	0,000
19	19 -- 20	2b	1,593	0,000	1,560	0,000
20	20 -- 21	2b	1,593	0,000	1,560	0,000
21	21 -- 22	2b	1,593	0,000	1,560	0,000
22	22 -- 23	2b	1,593	0,000	1,560	0,000
23	23 -- 24	2a	1,428	0,000	1,400	0,000
24	24 -- 25	2a	1,428	0,000	1,400	0,000
25	25 -- 26	2a	1,428	0,000	1,400	0,000
26	26 -- 27	2a	1,428	0,000	1,400	0,000
27	27 -- 28	1b	1,349	0,000	1,315	0,000
28	28 -- 29	1b	1,349	0,000	1,315	0,000
29	29 -- 30	1b	1,349	0,000	1,315	0,000
30	30 -- 31	1b	1,349	0,000	1,315	0,000
31	31 -- 32	1a	1,010	0,000	0,982	0,000
32	32 -- 33	1a	1,010	0,000	0,982	0,000
33	33 -- 34	1a	1,010	0,000	0,982	0,000
34	34 -- 35	1a	1,010	0,000	0,982	0,000
35						

3.7 - Belasting combinaties

Betrouwbaarh. klasse CC2 conform NEN-EN 1993-3-1

Partiële factoren	$\gamma_{g,ongunstig}$	γ_q	$\gamma_{g,gunstig}$
BGT / SLS	1,0	1,0	1,0
UGT / ULS	1,1	1,4	0,9

4,0 - Resultaat computerberekening

4,1 - Staafkrachten, hoekverdraaiingen en verplaatsingen

1 - Wind in Y-richting - In bruikbaarheidstoestand - SLS

knoop nummer	staaf i -- j	normaal- kracht (kN)	dwars- kracht (kN)	moment (kNm)	hoekver- dr. φ (rad)	verplaat- sing δ (m)
1		0,00	0,00	0,00	2,65E-02	0,461
2	1 -- 2	0,08	0,23	0,03	2,65E-02	0,454
3	2 -- 3	6,74	7,31	0,64	2,64E-02	0,427
4	3 -- 4	6,98	7,99	7,52	2,44E-02	0,404
5	4 -- 5	7,28	8,67	15,01	1,88E-02	0,384
6	5 -- 6	8,16	9,81	23,33	1,83E-02	0,368
7	6 -- 7	9,28	12,42	28,41	1,82E-02	0,358
8	7 -- 8	17,56	21,72	57,58	1,79E-02	0,321
9	8 -- 9	18,14	22,56	70,87	1,77E-02	0,310
10	9 -- 10	18,44	22,98	77,70	1,77E-02	0,305
11	10 -- 11	18,95	23,68	89,37	1,75E-02	0,296
12	11 -- 12	27,23	32,41	134,37	1,70E-02	0,265
13	12 -- 13	27,99	33,44	157,42	1,67E-02	0,253
14	13 -- 14	30,74	40,59	227,24	1,58E-02	0,220
15	14 -- 15	32,45	42,80	289,78	1,49E-02	0,197
16	15 -- 16	34,26	48,86	333,34	1,43E-02	0,183
17	16 -- 17	36,65	51,89	434,09	1,31E-02	0,155
18	17 -- 18	38,49	54,16	513,62	1,19E-02	0,136
19	18 -- 19	40,32	56,43	596,57	1,05E-02	0,119
20	19 -- 20	43,06	58,82	683,01	9,96E-03	0,104
21	20 -- 21	45,80	61,21	773,03	9,28E-03	0,090
22	21 -- 22	48,53	63,60	866,64	8,52E-03	0,076
23	22 -- 23	51,27	65,99	963,83	7,67E-03	0,064
24	23 -- 24	54,07	68,13	1064,43	6,96E-03	0,053
25	24 -- 25	56,87	70,28	1168,23	6,18E-03	0,043
26	25 -- 26	59,67	72,42	1275,25	5,33E-03	0,035
27	26 -- 27	62,46	74,56	1385,49	4,40E-03	0,027
28	27 -- 28	66,34	76,58	1498,85	3,92E-03	0,021
29	28 -- 29	70,22	78,61	1615,24	3,41E-03	0,016
30	29 -- 30	74,10	80,63	1734,67	2,85E-03	0,011
31	30 -- 31	77,98	82,65	1857,13	2,25E-03	0,007
32	31 -- 32	81,93	84,17	1982,25	1,74E-03	0,004
33	32 -- 33	85,88	85,68	2109,64	1,19E-03	0,002
34	33 -- 34	89,82	87,20	2239,30	6,15E-04	0,000
35	34 -- 35	93,77	88,71	2371,23	0,00E+00	0,000

2 - Wind in Y-richting - In uiterste grenstoestand - ULS

knoop nummer	staaf i -- j	normaal- kracht (kN)	dwars- kracht (kN)	moment (kNm)	hoekver- dr. ϕ (rad)	verplaat- sing δ (m)
1		0,00	0,00	0,00	3,71E-02	0,646
2	1 -- 2	0,09	0,32	0,05	3,71E-02	0,635
3	2 -- 3	7,42	10,23	0,89	3,69E-02	0,598
4	3 -- 4	7,68	11,18	10,53	3,41E-02	0,566
5	4 -- 5	8,01	12,13	21,02	2,63E-02	0,538
6	5 -- 6	8,97	13,74	32,66	2,56E-02	0,515
7	6 -- 7	10,21	17,39	39,78	2,55E-02	0,502
8	7 -- 8	19,32	30,41	80,62	2,50E-02	0,449
9	8 -- 9	19,95	31,59	99,22	2,48E-02	0,434
10	9 -- 10	20,29	32,17	108,78	2,47E-02	0,426
11	10 -- 11	20,85	33,15	125,11	2,45E-02	0,414
12	11 -- 12	29,96	45,37	188,12	2,38E-02	0,371
13	12 -- 13	30,78	46,82	220,39	2,34E-02	0,354
14	13 -- 14	33,81	56,83	318,14	2,21E-02	0,308
15	14 -- 15	35,69	59,92	405,70	2,08E-02	0,276
16	15 -- 16	37,69	68,40	466,67	2,01E-02	0,256
17	16 -- 17	40,31	72,64	607,72	1,83E-02	0,217
18	17 -- 18	42,33	75,82	719,07	1,67E-02	0,191
19	18 -- 19	44,35	79,00	835,19	1,48E-02	0,167
20	19 -- 20	47,37	82,35	956,21	1,39E-02	0,146
21	20 -- 21	50,38	85,70	1082,24	1,30E-02	0,125
22	21 -- 22	53,39	89,04	1213,29	1,19E-02	0,107
23	22 -- 23	56,40	92,39	1349,37	1,07E-02	0,090
24	23 -- 24	59,48	95,39	1490,20	9,75E-03	0,074
25	24 -- 25	62,55	98,39	1635,53	8,66E-03	0,061
26	25 -- 26	65,63	101,39	1785,36	7,47E-03	0,048
27	26 -- 27	68,71	104,38	1939,68	6,17E-03	0,038
28	27 -- 28	72,98	107,22	2098,38	5,49E-03	0,029
29	28 -- 29	77,24	110,05	2261,33	4,77E-03	0,022
30	29 -- 30	81,51	112,88	2428,53	3,99E-03	0,015
31	30 -- 31	85,78	115,72	2599,98	3,15E-03	0,010
32	31 -- 32	90,12	117,84	2775,15	2,44E-03	0,006
33	32 -- 33	94,46	119,96	2953,49	1,67E-03	0,003
34	33 -- 34	98,81	122,08	3135,02	8,61E-04	0,001
35	34 -- 35	103,15	124,20	3319,73	0,00E+00	0,000

3 - Wind in X-richting - In bruikbaarheidstoestand - SLS

knoop nummer	staaf i -- j	normaal- kracht (kN)	dwars- kracht (kN)	moment (kNm)	hoekver- dr. ϕ (rad)	verplaat- sing δ (m)
1		0,00	0,00	0,00	2,64E-02	0,459
2	1 -- 2	0,08	0,23	0,03	2,64E-02	0,451
3	2 -- 3	6,74	7,31	0,64	2,63E-02	0,425
4	3 -- 4	6,98	7,99	7,52	2,43E-02	0,402
5	4 -- 5	7,28	8,67	15,01	1,87E-02	0,382
6	5 -- 6	8,16	9,79	23,32	1,82E-02	0,365
7	6 -- 7	9,28	12,39	28,38	1,81E-02	0,356
8	7 -- 8	17,56	21,66	57,45	1,78E-02	0,319
9	8 -- 9	18,14	22,49	70,70	1,76E-02	0,308
10	9 -- 10	18,44	22,90	77,50	1,76E-02	0,303
11	10 -- 11	18,95	23,59	89,13	1,74E-02	0,294
12	11 -- 12	27,23	32,29	133,95	1,69E-02	0,263
13	12 -- 13	27,99	33,31	156,92	1,67E-02	0,251
14	13 -- 14	30,74	40,43	226,45	1,57E-02	0,219
15	14 -- 15	32,45	42,61	288,73	1,48E-02	0,196
16	15 -- 16	34,26	48,65	332,08	1,43E-02	0,181
17	16 -- 17	36,65	51,63	432,36	1,30E-02	0,154
18	17 -- 18	38,49	53,87	511,49	1,18E-02	0,135
19	18 -- 19	40,32	56,11	593,97	1,05E-02	0,119
20	19 -- 20	43,06	58,45	679,88	9,89E-03	0,103
21	20 -- 21	45,80	60,78	769,30	9,22E-03	0,089
22	21 -- 22	48,53	63,12	862,23	8,46E-03	0,076
23	22 -- 23	51,27	65,46	958,68	7,62E-03	0,064
24	23 -- 24	54,07	67,56	1058,45	6,92E-03	0,053
25	24 -- 25	56,87	69,66	1161,37	6,14E-03	0,043
26	25 -- 26	59,67	71,76	1267,44	5,29E-03	0,034
27	26 -- 27	62,46	73,86	1376,66	4,37E-03	0,027
28	27 -- 28	66,34	75,84	1488,94	3,90E-03	0,021
29	28 -- 29	70,22	77,81	1604,17	3,38E-03	0,015
30	29 -- 30	74,10	79,78	1722,37	2,83E-03	0,011
31	30 -- 31	77,98	81,76	1843,52	2,23E-03	0,007
32	31 -- 32	81,93	83,23	1967,26	1,73E-03	0,004
33	32 -- 33	85,88	84,70	2093,21	1,18E-03	0,002
34	33 -- 34	89,82	86,18	2221,37	6,10E-04	0,000
35		93,77	87,65	2351,73	0,00E+00	0,000

4 - Wind in X-richting - In uiterste grenstoestand - ULS

knoop nummer	staaf i -- j	normaal- kracht (kN)	dwars- kracht (kN)	moment (kNm)	hoekver- dr. ϕ (rad)	verplaat- sing δ (m)
1		0,00	0,00	0,00	3,70E-02	0,642
2	1 -- 2	0,09	0,32	0,05	3,70E-02	0,631
3	2 -- 3	7,42	10,23	0,89	3,68E-02	0,594
4	3 -- 4	7,68	11,18	10,53	3,40E-02	0,562
5	4 -- 5	8,01	12,13	21,02	2,62E-02	0,535
6	5 -- 6	8,97	13,70	32,65	2,55E-02	0,512
7	6 -- 7	10,21	17,35	39,74	2,54E-02	0,499
8	7 -- 8	19,32	30,32	80,43	2,49E-02	0,446
9	8 -- 9	19,95	31,48	98,97	2,47E-02	0,431
10	9 -- 10	20,29	32,06	108,51	2,46E-02	0,424
11	10 -- 11	20,85	33,03	124,78	2,44E-02	0,412
12	11 -- 12	29,96	45,21	187,54	2,37E-02	0,368
13	12 -- 13	30,78	46,64	219,68	2,33E-02	0,352
14	13 -- 14	33,81	56,60	317,02	2,20E-02	0,306
15	14 -- 15	35,69	59,65	404,22	2,07E-02	0,274
16	15 -- 16	37,69	68,11	464,91	2,00E-02	0,254
17	16 -- 17	40,31	72,28	605,31	1,82E-02	0,216
18	17 -- 18	42,33	75,42	716,08	1,66E-02	0,190
19	18 -- 19	44,35	78,55	831,56	1,47E-02	0,166
20	19 -- 20	47,37	81,82	951,83	1,38E-02	0,145
21	20 -- 21	50,38	85,10	1077,02	1,29E-02	0,125
22	21 -- 22	53,39	88,37	1207,13	1,18E-02	0,106
23	22 -- 23	56,40	91,65	1342,15	1,07E-02	0,089
24	23 -- 24	59,48	94,59	1481,82	9,68E-03	0,074
25	24 -- 25	62,55	97,53	1625,91	8,60E-03	0,060
26	25 -- 26	65,63	100,47	1774,41	7,41E-03	0,048
27	26 -- 27	68,71	103,41	1927,33	6,12E-03	0,038
28	27 -- 28	72,98	106,17	2084,51	5,45E-03	0,029
29	28 -- 29	77,24	108,93	2245,84	4,73E-03	0,022
30	29 -- 30	81,51	111,70	2411,32	3,96E-03	0,015
31	30 -- 31	85,78	114,46	2580,93	3,13E-03	0,010
32	31 -- 32	90,12	116,52	2754,16	2,42E-03	0,006
33	32 -- 33	94,46	118,58	2930,49	1,66E-03	0,003
34	33 -- 34	98,81	120,65	3109,91	8,54E-04	0,001
35		103,15	122,71	3292,43	0,00E+00	0,000

4.2 - Controle uitbuigingen en hoekverdraaiingen

Waarschijnlijkheidsfactor

referentieperiode R : 1 jaar

K = 0,2

n = 0,5

p = 0,632

$$c_{prob} = \left(\frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1-p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^n = 0,75$$

$$c_{prob}^2 = 0,56$$

Tbv de hoekverdraaiingseis geldt $\gamma_g = 1,0$ en $\gamma_q = 1,0$ en c_{prob}^2

antennes	hoogte hart ant. (m)	verplaat- sing δ (mm)	ref. periode 50 jaar		ref. periode 1 jaar	
			hoekverdr.	hoekverdr.	hoekverdr.	hoekverdr.
			φ (rad)	φ (°)	φ (rad)	φ (°)
top van de mast	44,00	461	2,65E-02	1,52	1,49E-02	0,85
Systeem 1 - A114521R5V	42,70	427	2,64E-02	1,51	1,48E-02	0,85
Systeem 1 - 5* RRU	42,70	427	2,64E-02	1,51	1,48E-02	0,85
Dishes - 0,6 m dish	39,50	358	1,82E-02	1,04	1,02E-02	0,59
Systeem 2 - A144521R0V	37,40	321	1,79E-02	1,02	1,00E-02	0,58
Systeem 2 - 5* RRU	37,40	321	1,79E-02	1,02	1,00E-02	0,58
Systeem 3 - AOC4518R6V	34,20	265	1,70E-02	0,97	9,55E-03	0,55
Systeem 3 - 5* RRU	34,20	265	1,70E-02	0,97	9,55E-03	0,55

Controle verplaatsingen

maximale verplaatsing van de top

$\delta_h = 461$ mm

percentage uitbuiging = 1,07 % ; voldoet, max verplaatsing < 8%

maximale relatieve verplaatsing

$\delta_{rel} = 132$ mm ; ter plaatse van knoop 19

$\delta_{rel} = 0,31$ % < 1; voldoet conform NEN -EN 50341-3 (november 2001)

Controle hoekverdraaiingen

GSM / UMTS of minilink antennes (voor een referentieperiode van 1 jaar)

Max. hoekverdraaiing $\varphi = 0,85^\circ$

4.3 - Controle knikstabiliteit mastlichaam

A - Randstaven

Wind in "Y" richting

$$N_{c,Ed} = (M_{x,Ed} / Br. * \cos 30^\circ) + \Sigma N / 3$$

$$N_{t,Ed} = (M_{x,Ed} / Br. * \cos 30^\circ) - \Sigma N / 3$$

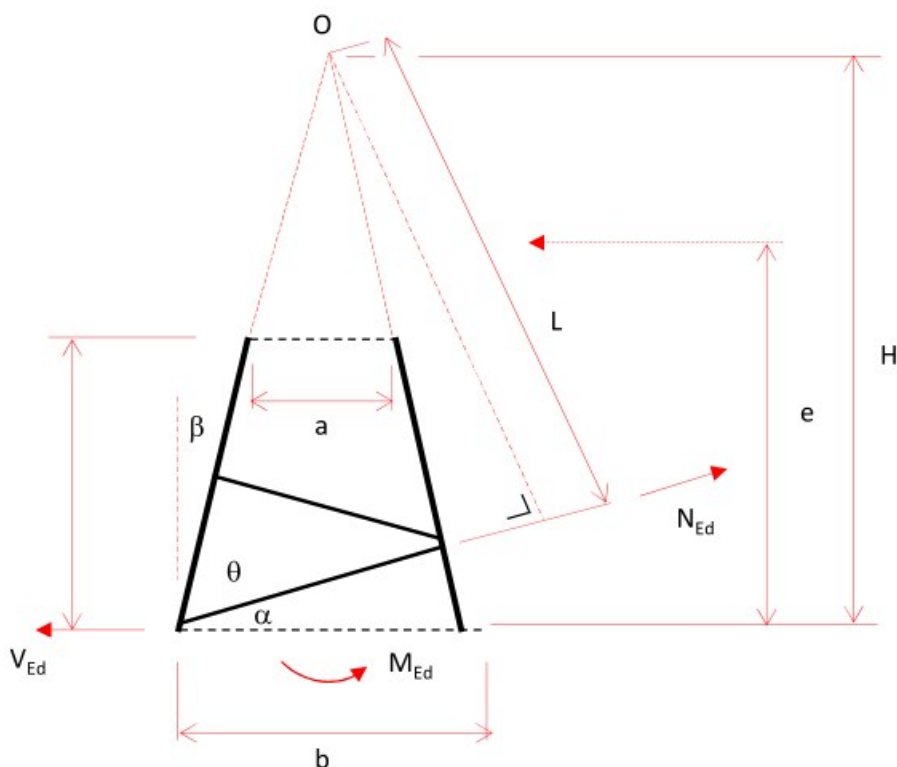
Waarin: $M_{x,Ed}$ = moment t.g.v. rekenbelasting uit computer
 ΣN = normaalkracht t.g.v. rekenbelasting uit computer
 $Br.$ = voetbreedte

Wind in "X" richting

Drukkracht $N_{c,Ed} = (M_{y,Ed} / Br.) + \Sigma N / 3$

Trekkkracht $N_{t,Ed} = (M_{y,Ed} / Br.) - \Sigma N / 3$

B - Diagonalen



Wind in "Y" richting

$$\text{Drukkracht } N_{c,Ed} = V_{y,Ed} * (H-e) / 2 * \cos 30^\circ * L$$

Waarin: $V_{y,Ed}$ = dwarskracht t.g.v. rekenbelasting uit computer

α = hoek tussen diagonalen en horizontale vlak

β = hoek tussen randstaaf en verticale vlak

$$H = b * h / (b-a); \quad e = M_{y,Ed} / V_{y,Ed} \quad L = \sin \theta * \{(b^2/4) + H^2\}^{0,5}$$

Wind in "X" richting

$$\text{Drukkracht } N_{c,Ed} = 2 * V_{y,Ed} * (H-e) / (3 * L)$$

$$\text{Toetsingsregel } N_{c,Ed} / N_{c,Rd} \leq 1$$

$$N_{c,Rd} = f_{y,d} * A * \omega_{buc}$$

	Wind in "Y" richting			Wind in "X" richting		
sectie nummer	N_{Ed} kN	$V_{y,Ed}$ kN	$M_{x,Ed}$ kNm	N_{Ed} kN	$V_{x,Ed}$ kN	$M_{y,Ed}$ kNm
4	20,8	33,2	125,1	20,8	33,0	124,8
3b	35,7	59,9	405,7	35,7	59,7	404,2
3a	44,4	79,0	835,2	44,4	78,5	831,6
2b	56,4	92,4	1349,4	56,4	91,6	1342,1
2a	68,7	104,4	1939,7	68,7	103,4	1927,3
1b	85,8	115,7	2600,0	85,8	114,5	2580,9
1a	103,2	124,2	3319,7	103,2	122,7	3292,4
topbuis	8,0	12,1	21,0	8,0	12,1	21,0
topstuk	9,0	13,7	32,7	9,0	13,7	32,6

sectie nummer	profiel D (mm)	hoek α graden	hoek β graden	H mm	L mm	Wind "Y" e (mm)	Wind "X" e (mm)
1a	88,9	27,76	1,43	60000	52396	26729	26831
1b	88,9	30,47	1,43	54000	45860	22469	22549
2a	82,5	33,69	1,43	48000	39273	18582	18638
2b	82,5	37,57	1,43	42000	32650	14605	14644
3a	60,3	36,03	1,43	36000	28585	10572	10587
3b	60,3	41,63	1,43	30000	21924	6771	6776
4	48,3	39,74	0,00	4,79E+09	3,68E+09	3774	3778

Controle Knikstabiliteit

$$E_{st} = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = (235 / f_y)^{0,5}$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2 ; \quad \varepsilon = 1,00$$

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2 ; \quad \varepsilon = 0,81$$

Voor doorsneden van klasse 1,2 en 3 geldt:

$$N_{b,Rd} = \chi A f_y / \gamma_{M1}$$

$$\chi = 1 / (\Phi + (\Phi^2 - \bar{\lambda}_{rel}^2)^{0,5}) \leq 1,0$$

$$\Phi = 0,5 [1 + \alpha (\bar{\lambda}_{rel} - 0,2) + \bar{\lambda}_{rel}^2]$$

Buisprofielen warmvervaardigd, knikkromme a

$$\alpha \text{ is een imperfectiefactor} = 0,21$$

$$\text{slankheid} \quad \lambda = L / i$$

$$\text{referentie slankheid} \quad \lambda_1 = \pi (E / f_y)^{0,5}$$

$$\text{relatieve slankheid} \quad \bar{\lambda} = \lambda / \lambda_1$$

$$\text{effectieve relatieve slankheid} \quad \bar{\lambda}_{eff} = k \bar{\lambda}$$

$$k = 0,75 \quad \text{randstaven}$$

$$k = 1,0 \quad \text{diagonalen}$$

Controle randstaven (materiaalkwaliteit S355)

sectie nummer	profiel D (mm)	profiel t (mm)	$N_{c,Ed}$ kN	kniklengte L_{cr} (mm)	slankheid $\bar{\lambda}_{eff}$	knikfactor χ	toetsings- regel
Wind in "Y" richting							
1a	219,1	10,0	1312,1	3000	0,324	0,972	0,58
1b	219,1	10,0	1140,5	3000	0,324	0,972	0,50
2a	168,3	8,0	956,1	3000	0,422	0,947	0,71
2b	168,3	8,0	760,8	3000	0,422	0,947	0,56
3a	139,7	5,0	550,6	2400	0,402	0,952	0,77
3b	139,7	5,0	324,2	2400	0,402	0,952	0,45
4	114,3	5,0	127,3	1995	0,412	0,950	0,22
Wind in "X" richting							
1a	219,1	10,0	1131,9	3000	0,324	0,972	0,50
1b	219,1	10,0	984,5	3000	0,324	0,972	0,43
2a	168,3	8,0	826,0	3000	0,422	0,947	0,61
2b	168,3	8,0	657,9	3000	0,422	0,947	0,49
3a	139,7	5,0	476,8	2400	0,402	0,952	0,67
3b	139,7	5,0	281,4	2400	0,402	0,952	0,39
4	114,3	5,0	110,9	1995	0,412	0,950	0,19

Controle diagonalen (materiaalkwaliteit S235)

sectie nummer	profiel D (mm)	profiel t (mm)	$N_{c,Ed}$ kN	kniklengte L_{cr} (mm)	slankheid $\bar{\lambda}_{eff}$	knikfactor χ	toetsings- regel
Wind in "Y" richting							
1a	88,9	3,2	45,9	3143	1,104	0,594	0,38
1b	88,9	3,2	46,4	2878	1,011	0,658	0,35
2a	82,5	3,2	45,7	2682	1,018	0,653	0,37
2b	82,5	3,2	45,6	2437	0,925	0,717	0,34
3a	60,3	2,9	42,0	2053	1,076	0,613	0,56
3b	60,3	2,9	39,9	1820	0,954	0,698	0,47
4	48,3	2,6	24,9	1412	0,929	0,715	0,40
Wind in "X" richting							
1a	88,9	3,2	52,2	3143	1,104	0,594	0,43
1b	88,9	3,2	52,8	2878	1,011	0,658	0,40
2a	82,5	3,2	52,2	2682	1,018	0,653	0,43
2b	82,5	3,2	52,2	2437	0,925	0,717	0,39
3a	60,3	2,9	48,2	2053	1,076	0,613	0,64
3b	60,3	2,9	45,9	1820	0,954	0,698	0,54
4	48,3	2,6	28,6	1412	0,929	0,715	0,46

Controle topstuk en buigspanning topbuis

Voor de controle van het topstuk wordt verwezen naar de bijlage van het topstuk inclusief topbuis

De maatgevende unity checks voor CC3 zijn hieronder weergegeven:

Onderdeel	Maatgevende U.C.	
Topbuis	0,60	< 1,0 -- Voldoet
Randstaaf	0,53	< 1,0 -- Voldoet
Buis Ø159	0,56	< 1,0 -- Voldoet
Flenzen	0,28	< 1,0 -- Voldoet
Bouten	0,35	< 1,0 -- Voldoet
Lassen	0,36	< 1,0 -- Voldoet

4.4 - Controle bout- en lasverbindingen

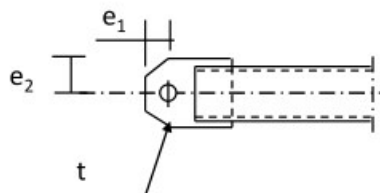
Uitgangspunt: gerold draad

Bouten	$A_{b;s}$ mm^2	$f_{t;b;d}$ N/mm^2	$F_{t,Rd}$ kN	$F_{v,Rd}$ kN
M45 - 8.8	1306,0	800	752,3	501,5
M36 - 8.8	816,74	800	470,4	313,6
M30 - 8.8	560,59	800	322,9	215,3
M27 - 8.8	459,39	800	264,6	176,4
M24 - 8.8	352,49	800	203,0	135,4
M20 - 8.8	244,79	800	141,0	94,0
M16 - 8.8	156,67	800	90,2	60,2

Boutverbinding

Controle schetsplaat met 1 boutverbinding

Boutklasse 8.8:	$f_{ub} =$	800	N/mm^2
Basismateriaal S235 :	$f_y =$	235	N/mm^2
	$f_u =$	360	N/mm^2



Afschuifweerstand:

$$F_{v,Rd} = \alpha_v * f_{ub} * A / \gamma_{M2}$$

$A = A_s$ in geval van afschuiving door de draad van de bout

$$\alpha_v = 0,6$$

$$f_{ub} = 800 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

Stuikweerstand:

$$F_{b,Rd} = k_1 * \alpha_b * f_u * d * t / \gamma_{M2}$$

α_b kleinste waarde van α_d ; f_{ub} / f_u of 1,0

in de richting van de krachtsoverdracht geldt:

$$\alpha_d = e_1 / 3 * d_0 \text{ voor eindbouten}$$

Doorsnede:

$$N_{t,Rd} = \text{kleinste van } N_{u,Rd} \text{ en } N_{pl,Rd}$$

$$N_{u,Rd} = 0,9 A_{net} * f_u / \gamma_{M2}$$

$$N_{pl,Rd} = A_{br} * f_y$$

$$A_{net} = (b - d_0) * t$$

$$A_{br} = b * t$$

Stuikfactoren

sectie	e1 (mm)	e2 (mm)	d ₀ (mm)	t _{pl} (mm)	k ₁	α _d	α _b
1a	45	45	26	12	2,50	0,58	0,58
1b	45	45	26	12	2,50	0,58	0,58
2a	45	45	22	12	2,50	0,68	0,68
2b	45	45	22	12	2,50	0,68	0,68
3a	45	45	22	12	2,50	0,68	0,68
3b	45	45	22	12	2,50	0,68	0,68
4	45	45	18	10	2,50	0,83	0,83

Controle afschuiving & stuik

sectie	bouten	aantal	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{v,Rd}$ (kN)	$F_{b,Rd}$ (kN)	$F_{v,Ed} /$ $F_{v,Rd}$	$F_{v,Ed} /$ $F_{b,Rd}$
1a	M24 - 8.8	1	52,2	135,4	119,6	0,39	0,44
1b	M24 - 8.8	1	52,8	135,4	119,6	0,39	0,44
2a	M20 - 8.8	1	52,2	94,0	117,8	0,56	0,44
2b	M20 - 8.8	1	52,2	94,0	117,8	0,56	0,44
3a	M20 - 8.8	1	48,2	94,0	117,8	0,51	0,41
3b	M20 - 8.8	1	45,9	94,0	117,8	0,49	0,39
4	M16 - 8.8	1	28,6	60,2	96,0	0,48	0,30

Controle doorsnede

sectie	b_{pl} (mm)	A_{net} (mm)	A_{br} (mm)	$N_{u,Rd}$ (kN)	$N_{pl,Rd}$ (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	$N_{t,Ed} /$ $N_{t,Rd}$
1a	90	768	1080	199,1	253,8	199,1	0,26
1b	90	768	1080	199,1	253,8	199,1	0,27
2a	90	816	1080	211,5	253,8	211,5	0,25
2b	90	816	1080	211,5	253,8	211,5	0,25
3a	90	816	1080	211,5	253,8	211,5	0,23
3b	90	816	1080	211,5	253,8	211,5	0,22
4	90	720	900	186,6	211,5	186,6	0,15

Controle Flens verbinding

Voor de formule zie:

" Design Guide - For Circular Hollow Section (CHS) "

Edited by: Comité International pour le Développement et l'Etude de la Construction Tubulaire

Authors:

$$t_{fl} \geq \{ 2 * F_{t,Ed} * \gamma_m / (f_{y,p} * \pi * f_3) \}^{0,5}$$

$$\text{Prying force factor } \beta = \gamma_m * \{ 1 - 1 / f_3 + 1 / (f_3 * \ln (r_1 / r_2)) \}$$

$$\gamma_m = 1,1$$

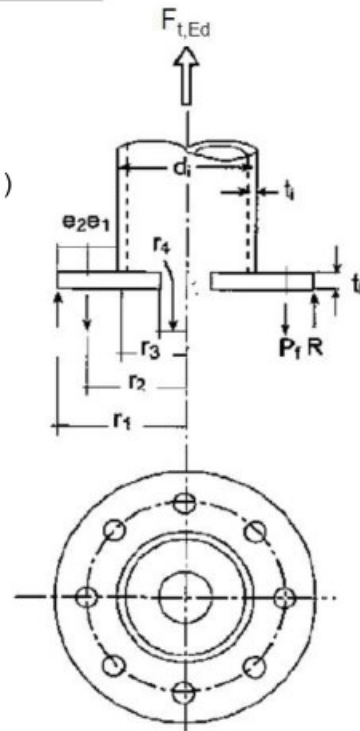
$$f_3 = \{ k_3 + (k_3^2 - 4 * k_1 * (1 + k_1 * k_2))^{0,5} \} / (2 * k_1)$$

$$k_1 = \ln (r_2 / r_3) \quad k_2 = r_4 / r_3$$

$$k_3 = 2 + k_1 (k_2 + 1) - k_2$$

$$r_2 = D_{stc} / 2 \quad r_3 = (d_i - t_i) / 2$$

$$r_4 = (d_i - 2 * t_i) / 2$$



Deze formules nemen het gunstige effect van voorspanning niet mee. Onderscheidt prying force factor conform NEN-EN 1993-3-1:

$\beta = 1,8$ voor niet-voorgespannen verbindingen

$\beta = 1,2$ voor voorgespannen verbindingen

De prying force factor kan dus met 1/3 verlaagd worden.

Voor de prying force factor kiezen we de maximale waarde van 1,8 en de berekende waarde volgens de Design guide verminderd met een factor 1/3.

flenzen	D _{flens} mm	D _{stc} mm	D _i mm	d _i mm	t _i mm	r ₁ mm	r ₂ mm
1a (o)	430	330	223,4	219,1	10,0	215	165
1b (b)	420	310	223,4	219,1	10,0	210	155
2a (o)	420	310	197,8	168,3	8,0	210	155
2b (b)	370	274	197,8	168,3	8,0	185	137
3a (o)	370	274	143,3	139,7	5,0	185	137
3b (b)	270	211	143,3	139,7	5,0	135	105,5
4 (o)	270	211	117	114,3	5,0	135	105,5
4 (b)	270	211	117	114,3	5,0	135	105,5
topstuk (o)	270	211	0	60,3	4,0	135	105,5

flenzen	r ₃ mm	r ₄ mm	k ₁	k ₂	k ₃	f ₃	e ₁ mm
1a (o)	104,6	111,7	0,46	1,07	1,88	3,04	55,45
1b (b)	104,6	111,7	0,39	1,07	1,75	3,36	45,45
2a (o)	80,2	98,9	0,66	1,23	2,24	2,06	70,85
2b (b)	80,2	98,9	0,54	1,23	1,96	2,34	52,85
3a (o)	67,4	71,7	0,71	1,06	2,40	2,31	67,15
3b (b)	67,4	71,7	0,45	1,06	1,86	3,08	35,65
4 (o)	54,7	58,5	0,66	1,07	2,29	2,41	48,35
4 (b)	54,7	58,5	0,66	1,07	2,29	2,41	48,35
topstuk (o)	28,2	0,0	1,32	0,00	3,32	2,16	75,35

flenzen	$F_{t,Ed}$ kN	β	n_{bout}	$F_{t,b,Ed}$ kN	bout	$F_{t,b,Rd}$ kN	u.c. bout
1a (o)	1252	1,40	12	146,5	M24 - 8.8	203,0	0,72
1b (b)	1090	1,23	8	168,2	M27 - 8.8	264,6	0,64
2a (o)	916	1,55	8	177,4	M27 - 8.8	264,6	0,67
2b (b)	728	1,46	8	133,2	M24 - 8.8	203,0	0,66
3a (o)	525	1,47	8	96,5	M24 - 8.8	203,0	0,48
3b (b)	303	1,46	8	55,4	M16 - 8.8	90,2	0,61
4 (o)	115	1,66	8	24,0	M16 - 8.8	90,2	0,27
4 (b)	29	1,66	6	8,1	M16 - 8.8	90,2	0,09
topstuk (o)	0	1,77	6	0,0	M16 - 8.8	90,2	0,00

flenzen	$f_{y,p}$ N/mm ²	benod. t_{η} mm	toegep. t_{η} mm	u.c. flens
1a (o)	355	28,5	30,0	0,90
1b (b)	355	25,3	30,0	0,71
2a (o)	355	29,6	30,0	0,97
2b (b)	355	24,8	25,0	0,98
3a (o)	355	21,2	25,0	0,72
3b (b)	355	13,9	15,0	0,86
4 (o)	355	9,7	15,0	0,42
4 (b)	355	4,9	15,0	0,11
topstuk (o)	355	0,0	15,0	0,00

Lassen

Maximale las spanning

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = N_{Ed} / \{ (a_1 + a_2) * L_{las} * \sqrt{2} \} ; \tau_{//} \text{ te verwaarlozen}$$

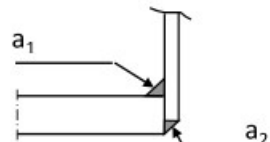
N_{Ed} = maximale druk- / trek kracht in de randstaaf of diagonaal staaf

a_1 = keeldikte (onder- en bovenlas voor randstaaf) ; $L_{las} = \pi * d_{randst/diag}$

$d_{randst.}$ = diameter randstaaf

$$\sigma_{w,Ed} = (\sigma_{\perp}^2 + 3 * \tau_{\perp}^2)^{0,5}$$

$\sigma_{w,Ed}$ = rekenwaarde van de vergelijkingsspanning



Toetsingsregel

$$\sigma_{w,Ed} / f_{w,Rd} \leq 1 \text{ en } \sigma_{\perp} / (f_{t,d} / \gamma_{M2}) \leq 1$$

$$f_{w,Rd,1} = f_u / (\beta * \gamma_{M2}) \quad f_{w,Rd,2} = 0,9 f_u / \gamma_{M2}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

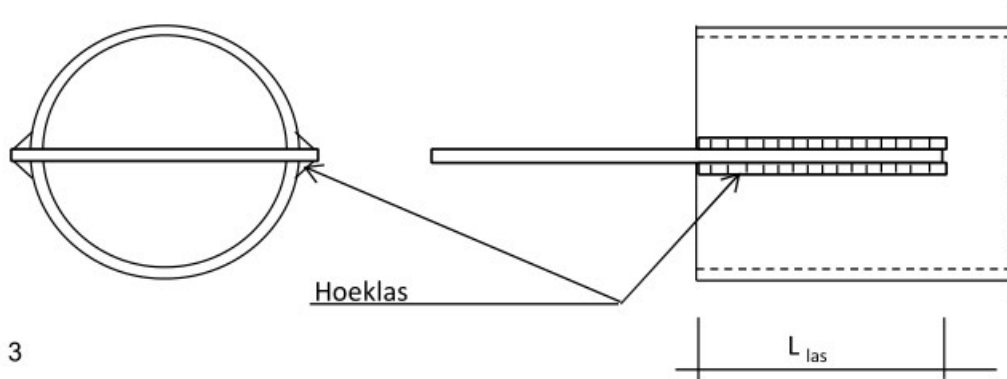
Materiaal S355 --> $f_u = 510 \text{ N/mm}^2$ en $\beta = 0,9$

$$f_{w,Rd,1} = 453,33 \text{ N/mm}^2; \quad f_{w,Rd,2} = 367,20 \text{ N/mm}^2$$

Randstaven

sectie	$d_{randst.}$ mm	N_{Ed} kN	a_1 - boven mm	a_2 - onder mm	$\sigma_{\perp}$ N/mm ²	$\sigma_{w,Ed}$ N/mm ²	toetsings- regel
1a (o)	219,1	1312,15	8	6	96	192,6	0,42
1b (b)	219,1	1140,52	6	6	98	195,3	0,43
2a (o)	168,3	1140,52	6	6	127	254,2	0,56
2b (b)	168,3	760,76	6	6	85	169,6	0,37
3a (o)	139,7	760,76	6	6	102	204,3	0,45
3b (b)	139,7	324,20	5	4	58	116,1	0,26
4 (o)	114,3	324,20	5	4	71	141,9	0,31
4 (b)	114,3	30,21	4	4	7	14,9	0,03
topstuk	60,3	30,21	4	4	14	28,2	0,06

Schetsplaat aan diagonalen



sectie 1 t/m 3

$$\tau_{//} = N_{Ed} / (n * a * L_{las})$$

$$n = 4$$

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$L_{las} = 60 \text{ mm}$$

$$N_{Ed} = 52,8 \text{ kN}$$

$$\tau_{//} = 55,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = (\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2))^{0,5} = 95,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Materiaal S235} \rightarrow f_{t,d} = 360 \text{ N/mm}^2 \text{ en } \beta = 0,8$$

$$f_u / (\beta_w * \gamma_M) = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} / (f_u / (\beta_w * \gamma_M)) = 0,26 < 1, \text{ voldoet}$$

sectie 4

$$L_{las} = 41 \text{ mm}$$

$$N_{Ed} = 28,6 \text{ kN}$$

$$\tau_{//} = 29,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = (\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2))^{0,5} = 51,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} / (f_u / (\beta_w * \gamma_M)) = 0,14 < 1, \text{ voldoet}$$

4.5 - Voorspanning bouten van de randstaven

per bout dient de voorspankracht te zijn :

$$F_{p;c} = \text{perc.} / 100 * f_{ub} * A_s / \gamma_{M7} ; \quad \gamma_{M7} = 1,10$$

$$F_{p;c} > \beta * F_{t;SLS} / n_{bouten}$$

waarin:

$F_{t;SLS}$ is de representatieve waarde van de trekkracht in de randstaaf (SLS belasting)

β is vergrotingsfactor t.g.v. de prying force

f_{ub} is de treksterkte van de boutmateriaal.

Voor het opwekken van de voorspanning, is gekozen voor de momentmethode.

Het aandraaimoment M_a , nodig voor het opwekken van een bepaalde boutkracht , wordt bij

benadering bepaald met formule :

(Voor formule zie: Het aandraaien van bouten , door in XXXXXXXXXX Staalbouwk. Genootschap)

$$M_a = k . d . F$$

waarin:

k - een coëfficiënt , afhankelijk van draadwrijving, spiegelwrijving en spoed schroefdraad

(voor termisch verzinkte bouten zonder smeermiddel, is k ca' 0,16)

d - de boutdiameter

F - de boutkracht (voorspankracht)

$$M_a = 0,16 . d . F_{p;c} \text{ en } F_{p;c} = M_a / 0,16 * d$$

NB. Onderstaande aandraaimomenten gelden specifiek voor bovengenoemde wrijvingsgetal

sectie	bouten	$F_{t;SLS}$ in kN	$\beta * F_{t;SLS/bout}$ / n in kN	$F_{p;c}$ in kN	$F_{p;c} > \beta *$ $F_{t;SLS,bout} / n$	M_a in Nm	percent. voersp. %
1 (ankers)	M24 - 8.8	889	104,1	179,4	o.k.	690	70
1 en 2	M27 - 8.8	651	126,1	233,9	o.k.	1010	70
2 en 3	M24 - 8.8	373	68,5	179,4	o.k.	690	70
3 en 4	M16 - 8.8	81	16,9	79,8	o.k.	200	70
4 en top	M16 - 8.8	20	6,0	79,8	o.k.	200	70

Bij toepassing van de "**Nordlockringen**" staal 8.8 conform tabellen Nord-lock DRY GF = 62%

bouten	$F_{p;c}$ in kN	M_a in Nm
M27 - 8.8	182	1171
M24 - 8.8	140	800
M20 - 8.8	97	464
M16 - 8.8	62	237

4.6 - Berekening instorting

Uitwendig diameter ring	$D_{uitw} =$	480	mm
Inwendig diameter ring	$D_{inw} =$	180	mm
Steek cirkel ankers	$D_{st,c} =$	330,0	mm
Dikte ankerplaat =	$t_{ankerpl.} =$	25	mm
Staalkwaliteit :	$f_{y,d} =$	235	N/mm ²

ankers : M24- 8,8 - aantal ankers = 12,0

$$F_{t,Ed} = 1,40 \quad 1252,0 \quad 1758 \quad \text{kN}$$

$$A = 155509 \quad \text{mm}^2$$

$$\sigma_{beton} = 11,3 \quad \text{N/mm}^2$$

$$M_{Ed} = \sigma_{beton} * L^2 / 2$$

$$L = 0,5 * (D_{uitw} - D_{st,c}) - e_{z,bout}$$

$$L = 75,0 - 11,0 = 64,0 \quad \text{mm}$$

$$M_{Ed} = 23163 \quad \text{Nmm/mm}' \quad ; \quad V_{z,Ed} = 848 \quad \text{N/mm}'$$

$$M_{Rd} = (1/4) * 1,0 * t^2 * f_{y,d} = 36719 \quad \text{Nmm/mm}'$$

$$V_{Rd} = 1,0 * t * f_{y,d} / 3^{0,5} = 3392 \quad \text{N/mm}'$$

$$M_{s,d} / M_{u,d} = 23163 \quad 36718,8 \quad 0,63 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_b = 148,2 \quad \text{N/mm}^2$$

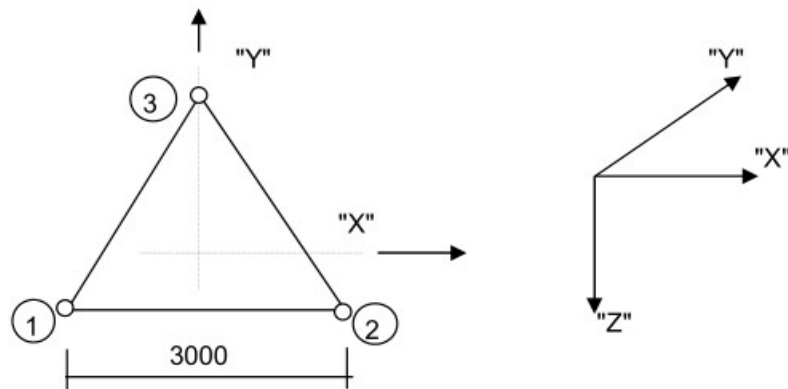
$$V_{s,d} / V_{u,d} = 848 \quad 3392 \quad 0,25 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_z = 33,9 \quad \text{N/mm}^2$$

Vergelijkingsspanning :

$$\sigma_{vlg} = 159 \quad \text{N/mm}^2 < 235 \text{ MPa -- Voldoet}$$

4.7 - Steunpunctreacties t.p.v voet van de mast (krachten in kN.)



Belasting geval 1 ; Eigengewicht mast en antennes - $\gamma_g = 1,0$

knoop	X -reactie kN	Y -reactie kN	Z -reactie kN
1	0,78	0,45	-31,26
2	-0,78	0,45	-31,26
3	0,00	-0,90	-31,26
som reacties	0,00	0,00	-93,77
som lasten	0,00	0,00	93,77

Belasting geval 2 ; Windbelasting mast en antennes in de Y - richting - $\gamma_q = 1,0$

knoop	X -reactie kN	Y -reactie kN	Z -reactie kN
1	-11,41	-6,59	456,34
2	27,78	-27,42	456,34
3	-16,38	-54,71	-912,69
som reacties	0,00	-88,71	0,00
som lasten	0,00	88,71	0,00

Belasting geval 3 ; Windbelasting mast en antennes in de X - richting - $\gamma_q = 1,0$

knoop	X -reactie kN	Y -reactie kN	Z -reactie kN
1	-56,85	-11,31	783,91
2	-28,91	27,45	-783,91
3	-1,89	-16,13	0,00
som reacties	-87,65	0,00	0,00
som lasten	87,65	0,00	0,00

Belasting combinaties

wind in "Y"-richting

	$\gamma_g=1.0$, $\gamma_q=1.0$			$\gamma_g=1.1$, $\gamma_q=1.4$		
knoop	X -reactie kN	Y -reactie kN	Z -reactie kN	X -reactie kN	Y -reactie kN	Z -reactie kN
1	-10,63	-6,14	425,09	-15,11	-8,73	604,50
2	27,00	-26,96	425,09	38,04	-37,89	604,50
3	-16,38	-55,61	-943,95	-22,93	-77,59	-1312,15
som reacties	0,00	-88,71	-93,77	0,00	-124,20	-103,15
som lasten	0,00	88,71	93,77	0,00	124,20	103,15

wind in "X"-richting

	$\gamma_g=1.0$, $\gamma_q=1.0$			$\gamma_g=1.1$, $\gamma_q=1.4$		
knoop	X -reactie kN	Y -reactie kN	Z -reactie kN	X -reactie kN	Y -reactie kN	Z -reactie kN
1	-56,07	-10,86	752,65	-78,73	-15,34	1063,09
2	-29,69	27,90	-815,17	-41,34	38,92	-1131,86
3	-1,89	-17,03	-31,26	-2,64	-23,58	-34,38
som reacties	-87,65	0,00	-93,77	-122,71	0,00	-103,15
som lasten	87,65	0,00	93,77	122,71	0,00	103,15

4.8 - Samenvatting fundatie belastingen Windgebied I, II en III onbebouwd

Windgebied I - onbebouwd

Wind in Y-richting	B.C.1 $\gamma_g = 1,0; \gamma_q = 1,0$	B.C. 2 (CC3)* $\gamma_g = 1,2; \gamma_q = 1,6$ $\gamma_g = 0,9; \gamma_q = 1,6$	B.C.2 (CC2) $\gamma_g = 1,1; \gamma_q = 1,4$ $\gamma_g = 0,9; \gamma_q = 1,4$
Max. Voetmoment	2371 kNm	3291 kNm	3320 kNm
Max. Dwarskracht	89 kN	125 kN	124 kN
Gewicht	94 kN	111 kN	103 kN
Max. gedrukte voet	-944 kN	-1304 kN	-1315 kN
Max. getrokken voet	881 kN	1239 kN	1250 kN

* Voor CC3 is antennesysteem 5 niet meegenomen in de beschouwing, want dit geeft U.C. > 1,0

Wind in Y-richting	B.C.2 (CC1) $\gamma_g = 1,0; \gamma_q = 1,2$ $\gamma_g = 0,9; \gamma_q = 1,2$
Max. Voetmoment	2845 kNm
Max. Dwarskracht	106 kN
Gewicht	94 kN
Max. gedrukte voet	-1133 kN
Max. getrokken voet	1067 kN

Wind in "X" richting	B.C.1 $\gamma_g = 1,0; \gamma_q = 1,0$	B.C. 2 (CC3)* $\gamma_g = 1,2; \gamma_q = 1,6$ $\gamma_g = 0,9; \gamma_q = 1,6$	B.C.2 (CC2) $\gamma_g = 1,1; \gamma_q = 1,4$ $\gamma_g = 0,9; \gamma_q = 1,4$
Voetmoment	2352 kNm	3258 kNm	3292 kNm
Dwarskracht	88 kN	123 kN	123 kN
Gewicht	94 kN	111 kN	103 kN
Max. gedrukte voet	-815 kN	-1130 kN	-1139 kN
Max. getrokken voet	753 kN	1053 kN	1067 kN

* Voor CC3 is antennesysteem 5 niet meegenomen in de beschouwing, want dit geeft U.C. > 1,0

Wind in X-richting	B.C.2 (CC1) $\gamma_g = 1,0; \gamma_q = 1,2$ $\gamma_g = 0,9; \gamma_q = 1,2$
Max. Voetmoment	2822 kNm
Max. Dwarskracht	105 kN
Gewicht	94 kN
Max. gedrukte voet	-978 kN
Max. getrokken voet	913 kN

Windgebied II - onbebouwd

Wind in Y-richting	B.C.1 $\gamma_g = 1,0; \gamma_q = 1,0$	B.C. 2 (CC3) $\gamma_g = 1,2; \gamma_q = 1,6$ $\gamma_g = 0,9; \gamma_q = 1,6$	B.C.2 (CC2) $\gamma_g = 1,1; \gamma_q = 1,4$ $\gamma_g = 0,9; \gamma_q = 1,4$
Max. Voetmoment	1963 kNm	3140 kNm	2748 kNm
Max. Dwarskracht	73 kN	117 kN	103 kN
Gewicht	94 kN	113 kN	103 kN
Max. gedrukte voet	-787 kN	-1246 kN	-1095 kN
Max. getrokken voet	724 kN	1180 kN	1029 kN

Wind in Y-richting	B.C.2 (CC1) $\gamma_g = 1,0; \gamma_q = 1,2$ $\gamma_g = 0,9; \gamma_q = 1,2$
Max. Voetmoment	2355 kNm
Max. Dwarskracht	88 kN
Gewicht	94 kN
Max. gedrukte voet	-944 kN
Max. getrokken voet	878 kN

Wind in "X" richting	B.C.1 $\gamma_g = 1,0; \gamma_q = 1,0$	B.C. 2 (CC3) $\gamma_g = 1,2; \gamma_q = 1,6$ $\gamma_g = 0,9; \gamma_q = 1,6$	B.C.2 (CC2) $\gamma_g = 1,1; \gamma_q = 1,4$ $\gamma_g = 0,9; \gamma_q = 1,4$
Voetmoment	1946 kNm	3114 kNm	2725 kNm
Dwarskracht	73 kN	116 kN	102 kN
Gewicht	94 kN	113 kN	103 kN
Max. gedrukte voet	-680 kN	-1083 kN	-950 kN
Max. getrokken voet	618 kN	1004 kN	877 kN

Wind in X-richting	B.C.2 (CC1) $\gamma_g = 1,0; \gamma_q = 1,2$ $\gamma_g = 0,9; \gamma_q = 1,2$
Max. Voetmoment	2336 kNm
Max. Dwarskracht	87 kN
Gewicht	94 kN
Max. gedrukte voet	-816 kN
Max. getrokken voet	750 kN

Windgebied III - onbebouwd

Wind in Y-richting	B.C.1 $\gamma_g = 1,0; \gamma_q = 1,0$	B.C. 2 (CC3) $\gamma_g = 1,2; \gamma_q = 1,6$ $\gamma_g = 0,9; \gamma_q = 1,6$	B.C.2 (CC2) $\gamma_g = 1,1; \gamma_q = 1,4$ $\gamma_g = 0,9; \gamma_q = 1,4$
Max. Voetmoment	1622 kNm	2596 kNm	2271 kNm
Max. Dwarskracht	61 kN	97 kN	85 kN
Gewicht	94 kN	113 kN	103 kN
Max. gedrukte voet	-656 kN	-1037 kN	-912 kN
Max. getrokken voet	593 kN	971 kN	846 kN

Wind in Y-richting	B.C.2 (CC1) $\gamma_g = 1,0; \gamma_q = 1,2$ $\gamma_g = 0,9; \gamma_q = 1,2$
Max. Voetmoment	1947 kNm
Max. Dwarskracht	73 kN
Gewicht	94 kN
Max. gedrukte voet	-787 kN
Max. getrokken voet	721 kN

Wind in "X" richting	B.C.1 $\gamma_g = 1,0; \gamma_q = 1,0$	B.C. 2 (CC3) $\gamma_g = 1,2; \gamma_q = 1,6$ $\gamma_g = 0,9; \gamma_q = 1,6$	B.C.2 (CC2) $\gamma_g = 1,1; \gamma_q = 1,4$ $\gamma_g = 0,9; \gamma_q = 1,4$
Voetmoment	1610 kNm	2576 kNm	2254 kNm
Dwarskracht	60 kN	96 kN	84 kN
Gewicht	94 kN	113 kN	103 kN
Max. gedrukte voet	-568 kN	-904 kN	-793 kN
Max. getrokken voet	505 kN	825 kN	720 kN

Wind in X-richting	B.C.2 (CC1) $\gamma_g = 1,0; \gamma_q = 1,2$ $\gamma_g = 0,9; \gamma_q = 1,2$
Max. Voetmoment	1932 kNm
Max. Dwarskracht	72 kN
Gewicht	94 kN
Max. gedrukte voet	-682 kN
Max. getrokken voet	616 kN

Bijlage: Statische berekening topstuk inclusief topbuis

Gegevens topbuis en topstuk voor 40m VDL mast

Locatie: Windgebied I - terreincategorie II (onbebouwd)

Veiligheidsklasse: CC3

A - Geometrie mastlichaam

hoogte voet van de mast (m)	40,00	m - boven maaiveld
-----------------------------	-------	--------------------

aantal staven	7	gem. breedte in (m)	0,140
---------------	---	---------------------	-------

staaf nummer	staaf lengte mm	voet-breedte mm	top-breedte mm	diagonalen	aantal knopen	aantal staven	gem. hoogte m
1	100	139,7	139,7	n.v.t.	2	1	43,85
2	520	139,7	139,7	n.v.t.	2	1	43,54
3	880	139,7	139,7	n.v.t.	2	1	42,84
4	880	139,7	139,7	n.v.t.	2	1	41,96
5	520	139,7	139,7	n.v.t.	2	1	41,26
6	100	139,7	139,7	n.v.t.	2	1	40,95
7	900	139,7	139,7	n.v.t.	2	1	40,45
Over lengte	100	139,7	139,7				
	4000 mastlengte				8	7	

B - Profielgegevens

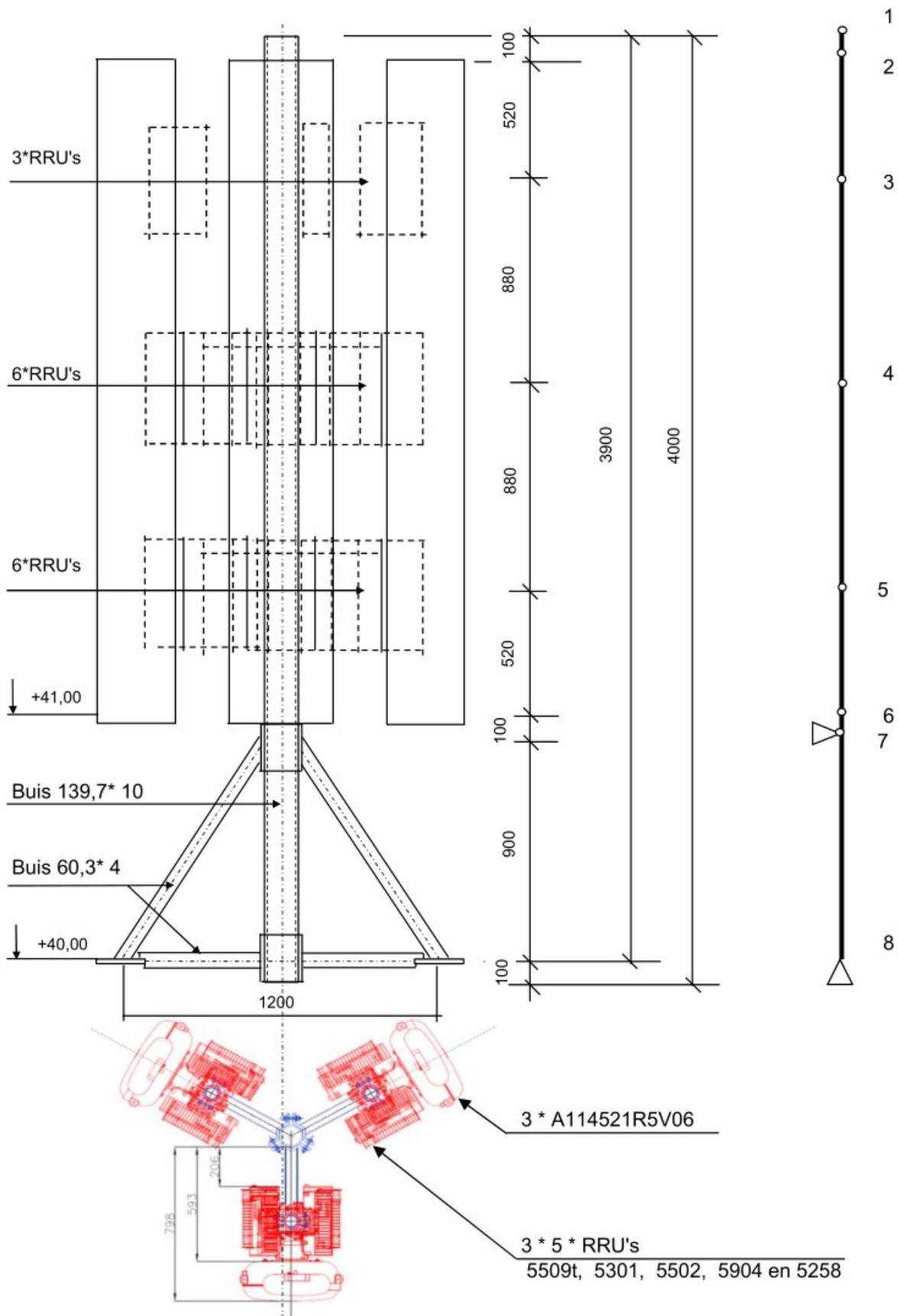
Staal kwaliteit : Topbuis : **S355** $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
Topstuk : **S235** $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

profielgegevens buisprofiel							
sectie	D (mm)	t (mm)	A (mm ²)	m(kg/m)	I (mm ⁴)	i (mm)	W _b (mm ³)
1	139,7	10,0	4075	31,99	8618940	45,99	123392
2	139,7	10,0	4075	31,99	8618940	45,99	123392
3	139,7	10,0	4075	31,99	8618940	45,99	123392
4	139,7	10,0	4075	31,99	8618940	45,99	123392
5	139,7	10,0	4075	31,99	8618940	45,99	123392
6	139,7	10,0	4075	31,99	8618940	45,99	123392
7	139,7	10,0	6197	48,65	145430667	153,19	209911
topstuk							
Randen	60,3	4,0	707	5,55	281729	19,96	9344
Horizontalen	60,3	4,0	707	5,55	281729	19,96	9344
Schuifbuis	159	8,0	3795	29,79	10846710	53,46	136437

Effektieve traagheidsmoment staaf 7 (topstuk) - I_x en I_y

$$I_x = I_y = I_{\text{buis}} + A_{\text{randst}} \cdot 0,5 \cdot (a)^2 + 3 \cdot I_{\text{randst}}$$

Computerschema



Berekening belastingen

Berekening stuwdruk

Algemene gegevens:

Wind gebied :	I
Basiswindsnelheid $V_{b,0}$ =	29,5 m/s
Terreincategorie :	II - Onbebouwd gebied
Richtingsfactor C_{dir} =	1,0
Seizoensfactor C_{season} =	1,0
Orografiefactor $C_o(z)$ =	1,0
Veiligheidsklasse	CC3
Volumieke massa van lucht; ρ =	1,25 kg/m ³
z_0 =	0,200 m
z_{min} =	4,0 m

$$\text{Gemiddelde windsnelheid } V_m(z) = (V_{b,0} * C_{dir} * C_{season}) * c_r(z)$$

$$c_r(z) = k_r * \ln\{z / z_0\} \quad \text{voor } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \quad \text{voor } z \leq z_{min}$$

$$k_r = 0,19 \{z_0 / z_{0,II}\}^{0,07} \quad z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Extreme stuwdruk } q_p(z) = (1 + 7 * I_v(z)) * \frac{1}{2} * \rho * V_m^2(z)$$

$$I_v(z) = k_I / \{c_o(z) * \ln(z / z_0)\} \quad \text{voor } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad ; \quad k_I = 1,0$$

$$I_v(z) = I_v(z_{min}) \quad \text{voor } z \leq z_{min}$$

Sectie	hoogte z m	kr	$c_r(z)$	$V_m(z)$ m/s	$I_v(z)$	$q_p(z)$ N/m ²
1	43,85	0,21	1,13	33,29	0,19	1592
2	43,54	0,21	1,13	33,25	0,19	1589
3	42,84	0,21	1,12	33,15	0,19	1582
4	41,96	0,21	1,12	33,02	0,19	1574
5	41,26	0,21	1,12	32,91	0,19	1567
6	40,95	0,21	1,11	32,87	0,19	1563
7	40,45	0,21	1,11	32,79	0,19	1558

Berekening eigenfrequentie mast

Horizontale verpl. van de mast t.g.v e.g mast en antennes in de wind richting

knoop nummer	staaf i--j	gewicht mast N	gewicht ant. N	dwarskr. kN	moment kNm	hoekver. rad.	verpl. δ mm
1	1 -- 2	33	0	0,00	0,00	1,15E-02	31
2	2 -- 3	172	713	0,75	0,00	1,15E-02	29
3	3 -- 4	290	690	1,61	0,43	1,14E-02	23
4	4 -- 5	330	2805	4,70	1,98	1,09E-02	14
5	5 -- 6	195	1380	6,41	6,26	8,88E-03	5
6	6 -- 7	37	713	7,32	9,64	6,60E-03	1
7	7 -- 8	487		19,13	10,38	6,05E-03	0
8				-11,29	0,00	5,90E-03	0

Opmerking: Gewicht mast is inclusief gewicht kabels, ladder en de flenzen .

Voor de berekening van de eigenfrequentie is de Rayleigh-Ritz methode toegepast.

Bij benadering kan eigenfrequentie bepaald worden door alle massa's m_i van het dynamische model dezelfde versnelling g in de richting van de beweging te geven en vervolgens eigen-trillingsvorm te berekenen onder invloed van krachten $F_i = m_i \cdot g$

De eigenfrequentie van de eerste trillingsvorm kan berekend worden door:

$$n_{1,x} = 1 / 2\pi \cdot \{ g \cdot \sum m_i \cdot \delta_i / \sum m_i \cdot \delta_i^2 \}^{0,5}$$

Vervolg berekening eigen frequentie

m_i : de geconcentreerde massa in kg.

δ_i : de verplaatsing van het punt (i) in meter

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ - versnelling van de zwaartekracht

knoop nummer	staaf nummer	gewicht mast kg	gewicht ant. kg	verpl. δ m	$g \sum m_i \cdot \delta_i$	$\sum m_i \cdot \delta_i^2$
1	1 -- 2	3,3	0,0	0,031	0,97	0,003
2	2 -- 3	17,2	71,3	0,029	25,00	0,074
3	3 -- 4	29,0	69,0	0,023	21,12	0,048
4	4 -- 5	33,0	280,5	0,014	40,23	0,054
5	5 -- 6	19,5	138,0	0,005	6,87	0,003
6	6 -- 7	3,7	71,3	0,001	0,45	0,000
7	7 -- 8	48,7		0,000	0,00	0,000
8				0,000	0,00	0,000
Som					94,65	0,18

$$n_{1,x} = 1 / 2\pi \cdot \{ g \cdot \sum m_i \cdot \delta_i / \sum m_i \cdot \delta_i^2 \}^{0,5}$$

$n_{1,x}$	=	3,63	Hz
-----------	---	------	----

Meewerkende massa

$m_{i,e}$ is de equivalente massa m_e per lengte eenheid, in kg/m, gewogen naar de trillingsvorm :

$$m_e = \frac{\int_0^l m(s) * \phi_i^2(s) ds}{\int_0^l \phi_i^2(s) ds}$$

staaf nummer	massa m kg/m	ϕ_i	s m	$\phi_i^2 * (s)$	$\phi_i^2 * (s) * m$	$\phi_i * (s)$
1 -- 2	34	0,981	0,100	0,10	3,24	0,09
2 -- 3	173	0,865	0,520	0,39	67,36	0,34
3 -- 4	114	0,605	0,880	0,32	36,59	0,19
4 -- 5	363	0,299	0,880	0,08	28,50	0,02
5 -- 6	309	0,087	0,520	0,00	1,22	0,00
6 -- 7	764	0,010	0,100	0,00	0,01	0,00
7 -- 8	55	0,000	0,900	0,00	0,00	0,00
		Σ	3,90	0,89	136,92	0,65

$$m_e = 136,9 / 0,9 = 153,9 \text{ kg/m}$$

Berekening bouwwerkfactor $c_s c_d$

Eurocode 1- 4 : 6.3.1

$$c_s c_d = \{ 1 + 2 * k_p * I_v(z_s) * (B^2 + R^2)^{0,5} \} / \{ 1 + 7 * I_v(z_s) \}$$

Eigenfrequentie :	$n = n_{1,x} =$	3,63	Hz
Referentiehoogte :	$z_t =$	200	m
Referentielengteschaal :	$L_t =$	300	m
Referentiehoogte (figuur 6,1) :	$z_s =$	42	m - gemiddelde hoogte van de mast

$$I_v(z_s) = 0,19 \quad \text{en}$$

$$V_m(z_s) = 33,02 \quad \text{m/s}$$

$$V_m(z) = 33,02 \quad \text{m/s} \quad (z = h = \text{gemiddelde bouwhoogte})$$

$$\alpha = 0,67 + 0,05 * \ln(z_0) = 0,59$$

$$L(z) = L_t * (z / z_t)^\alpha = 119,55$$

$$f_L(z,n) = n * L(z) / V_m(z) = 13,15$$

$$S_L(z,n) = 6,8 * f_L(z,n) / \{ 1 + 10,2 * f_L(z,n) \}^{5/3} = 0,03$$

Gemiddelde breedte mast $b =$	1,530	m (breedte inclusief antennes)
Mast hoogte $h =$	4	m

$$B^2 = 1 / \{ 1 + 0,9 * [(b + h) / L(z_s)]^{0,63} \} = 0,89$$

$$R^2 = (\pi^2 / 2 * \delta) * S_L(z_s, n_{1,x}) * R_h(\eta_h) * R_b(\eta_b)$$

$\delta = \delta_s + \delta_a$ - het totale logaritmisches decrement van de demping

$$\delta_s = 0,03 \quad (\text{buis mast - gevel mast})$$

$$\delta_a = c_f * \rho * b * V_m(z_s) / (2 * n_1 * m_e) = 0,04$$

$$c_f = 0,67 \quad m_e = 154 \quad \text{kg/m'}$$

$$\delta = \delta_s + \delta_a = 0,07$$

$$\eta_h = 4,6 * h * f_L(z_s, n_{1,x}) / L(z_e) = 2,02$$

$$\eta_b = 4,6 * b * f_L(z_s, n_{1,x}) / L(z_e) = 0,77$$

$$R_h = (1 / \eta_h) - (1 / 2 * \eta_h^2) * (1 - e^{-2\eta_h}) = 0,37$$

$$R_b = (1 / \eta_b) - (1 / 2 * \eta_b^2) * (1 - e^{-2\eta_b}) = 0,63$$

$$R^2 = (\pi^2 / 2 * \delta) * S_L(z_s, n_{1,x}) * R_h(\eta_h) * R_b(\eta_b) = 0,44$$

$$k_p = (2 * \ln(v * T))^{0,5} + 0,6 / (2 * \ln(v * T))^{0,5} = 4,04$$

$$T = 600 \quad \text{seconden}$$

$$v = n_{1,x} * (R^2 / (B^2 + R^2))^{0,5} = 2,09E+00$$

$$c_s c_d = \{ 1 + 2 * k_p * I_v(z_s) * (B^2 + R^2)^{0,5} \} / \{ 1 + 7 * I_v(z_s) \} = 1,19$$

Bepaling krachtcoëfficiënt C_f

$$C_f = C_{f,0} * \psi_\lambda \quad \text{doorsnede : Cirkelvormige doorsnede}$$

$$R_e = b * v(z_e) / \nu \quad ; \quad v(z_e) = \{ 2 * q_p / \rho \}^{0,5}$$

b is de diameter

ν is de kinematische viscositeit van de lucht $\nu = 15 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$C_{f,0} = 1,2 + [(0,18 * \log(10*k/b)) / (1 + 0,4 * \log(R_e / 10^6))]$$

of $C_{f,0} = 0,11 / (R_e / 10^6)^{1,4}$

k = 0,2 voor gegalvaniseerde staal

ψ_λ conform EN-1991-1-4 - 7,13

staaf nummer	$v(z_e)$ m/s	R_e	$C_{f,0}$	ψ_λ	C_f
1	50,5	4,70E+05	0,82	0,81	0,67
2	50,4	4,70E+05	0,82	0,81	0,67
3	50,3	4,69E+05	0,82	0,81	0,67
4	50,2	4,67E+05	0,82	0,81	0,67
5	50,1	4,66E+05	0,82	0,81	0,66
6	50,0	4,66E+05	0,82	0,81	0,66
7	49,9	4,65E+05	0,82	0,81	0,66

Berekening gewicht en windbelasting per staaf.

A - Gewicht antennes en RRU's

A114521R5V06 - 2,8m antenne (56,5 kg)

hoogte mm	breedte mm	dikte mm	$F_{w;voorkant}$ N	$F_{w;zijkant}$ N	$F_{w;achter}$ N
2769	449	196	840	515	1105
			bij 150 km / uur		
			$A_{w;voorkant}$ m^2	$A_{w;zijkant}$ m^2	$A_{w;achter}$ m^2
			0,774	0,475	1,018

RRU 5509t (480*356*140) - 26kg

Voor alle vlakken is de vormfactor $C_t = 1,8$

hoogte mm	breedte mm	dikte mm	$F_{w;voorkant}$ N	$F_{w;zijkant}$ N	$F_{w;achter}$ N
480	356	140	334	131	334
			bij 150 km / uur		
			$A_{w;voorkant}$ m^2	$A_{w;zijkant}$ m^2	$A_{w;achter}$ m^2
			0,308	0,121	0,308

RRU 5301 (400*300*120) - 15kg

Voor alle vlakken is de vormfactor $C_t = 1,8$

hoogte mm	breedte mm	dikte mm	$F_{w;voorkant}$ N	$F_{w;zijkant}$ N	$F_{w;achter}$ N
400	300	120	234	94	234
			bij 150 km / uur		
			$A_{w;voorkant}$ m^2	$A_{w;zijkant}$ m^2	$A_{w;achter}$ m^2
			0,216	0,086	0,216

RRU 5502 (480*356*140) - 25kg

Voor alle vlakken is de vormfactor $C_t = 1,8$

hoogte mm	breedte mm	dikte mm	$F_{w;voorkant}$ N	$F_{w;zijkant}$ N	$F_{w;achter}$ N
480	356	140	334	131	334
			bij 150 km / uur		
			$A_{w;voorkant}$ m^2	$A_{w;zijkant}$ m^2	$A_{w;achter}$ m^2
			0,308	0,121	0,308

RRU 5904 (400*300*170) - 22kg

Voor alle vlakken is de vormfactor $C_t = 1,8$

hoogte mm	breedte mm	dikte mm	$F_{w;voorkant}$ N	$F_{w;zijkant}$ N	$F_{w;achter}$ N
400	300	170	234	133	234
			bij 150 km / uur		
			$A_{w;voorkant}$ m^2	$A_{w;zijkant}$ m^2	$A_{w;achter}$ m^2
			0,216	0,122	0,216

RRU 5258 (400*300*170) - 25kg

Voor alle vlakken is de vormfactor $C_t = 1,8$

hoogte mm	breedte mm	dikte mm	$F_{w;voorkant}$ N	$F_{w;zijkant}$ N	$F_{w;achter}$ N
480	356	140	334	131	334
			bij 150 km / uur		
			$A_{w;voorkant}$ m^2	$A_{w;zijkant}$ m^2	$A_{w;achter}$ m^2
			0,308	0,121	0,308

Gemiddelde afmeting en gewicht van de RRU's - 22,6 kg

Voor alle vlakken is de vormfactor $C_t = 1,8$

gem. hoogte mm	gem breedte mm	gem. dikte mm	$F_{w;voorkant}$ N	$F_{w;zijkant}$ N	$F_{w;achter}$ N
448	333,6	142	292	124	292
			bij 150 km / uur		
			$A_{w;voorkant}$ m^2	$A_{w;zijkant}$ m^2	$A_{w;achter}$ m^2
			0,269	0,115	0,269

1 positie headframe 2,90m - alle profielen 60,3 * 5 - gewicht 35 kg

D in mm	L in mm	C_t	aantal	k_{red}	A in m^2
60,3	2900	1,2	1	0,5	0,105
60,3	200	1,2	5	0,75	0,054
60,3	270	1,2	2	0,75	0,029
60,3	320	1,2	2	0,75	0,035
Totaal voor 3 frames					0,670 m^2

antennes	opstel hoogte m	aantal antennes	gewicht / antenne kg	gew. bev. per ant. kg	totaal gewicht kg
3*A114521R5V06	41,00	3	56,5	3,5	180
5*3* RRU's	42,40	15	22,6	0,4	345
uithouders	41,00	3	35		105
$\Sigma F_{\text{gew.}}(\text{kg}) =$					630

B - Gewicht kabels

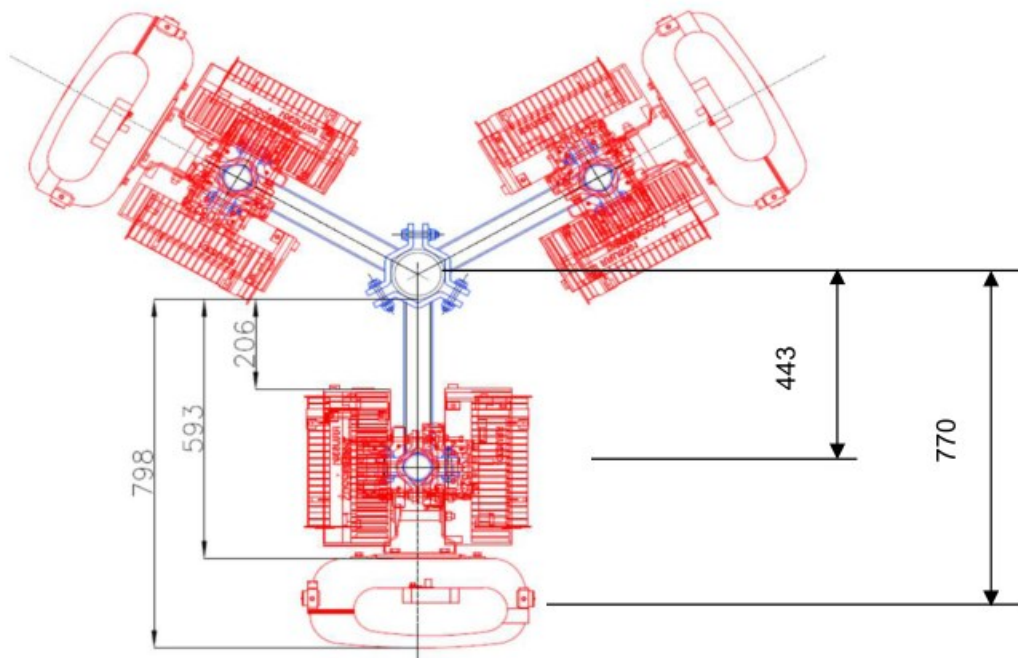
kabel	aantal	hoogte tot (m)	gewicht (kg/m)
Fiber	15st.	41,00	1,0
DC 14	15st.	41,00	4,5
Ladder	niet aanwezig		0,0

C - Gewicht en windbelasting van het mastlichaam / feeders

$$F_{\text{wind}} = q_p(z) * c_s c_d * \{ c_T * \Sigma A_{\text{mast}} + c_T * \Sigma A_{\text{ladder/kabel}} \}$$

staaf nummer	gewicht staven in N.	gewicht kabels/ladder in N.	totaal gewicht in N.	windopp. staven in m².	windopp. kabels/ladder in m².	windlast U.G.T in N.	windlast U.G.T in kN/m'.
1	32	1,0	33	0,009	0,001	20	0,203
2	166	5,2	172	0,048	0,008	105	0,203
3	281	8,8	290	0,082	0,013	178	0,202
4	281	48,0	330	0,082	0,013	177	0,201
5	166	28,4	195	0,048	0,015	118	0,227
6	32	5,5	37	0,009	0,004	25	0,253
7	438	49,1	487	0,084	0,039	227	0,253
$\Sigma F_{\text{vert}} =$	1397	146	1544			850	

Windlast antennes



3*A114521R5V06

$$A_{\text{ant}} = ((2/3) * 1,018 + 2 * (0,774 * \cos 60^\circ + 0,475 * \sin 60^\circ)) = 2,275 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{frame}} = 0,670 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{tot}} = 2,945 \text{ m}^2$$

$$F_{\text{tot}} = 2,945 * 1085 = 3195 \text{ N (bij windsnelheid van 150 km/uur)}$$

Torsiebelasting antennes:

$$F_1 = 1085 * 0,475 = 515 \text{ N}$$

$$F_2 = 1085 * (1 + 2/3) * (0,5 * (0,774 + 1,018) * \cos 30^\circ + 0,475 * \sin 30^\circ) = 1833 \text{ N}$$

$$M_{\text{torsie}} = \text{ABS} (F_1 * 770 - F_2 * 770 * \cos 60^\circ) = 309097 \text{ Nmm}$$

3*RRU op 43,28

$$A_{\text{RRU}} = ((2/3) * 269 + 2 * (0,115 * \cos 60^\circ + 0,269 * \sin 60^\circ)) = 0,647 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{tot}} = 0,647 \text{ m}^2$$

$$F_{\text{tot}} = 0,647 * 1085 = 702 \text{ N (bij windsnelheid van 150 km/uur)}$$

Torsiebelasting 3*RRU's:

$$F_1 = 1085 * 0,115 = 124 \text{ N}$$

$$F_2 = 1085 * (1 + 2/3) * (0,5 * (0,269 + 0,269) * \cos 30^\circ + 0,115 * \sin 30^\circ) = 525 \text{ N}$$

$$M_{\text{torsie}} = \text{ABS} (F_1 * 443 - F_2 * 443 * \cos 60^\circ) = 61183 \text{ Nmm}$$

3*2*RRU op 42,4 en 41,52m

$$A_{\text{RRU's}} = ((2/3) * 0,269 + 2 * (0,269 * \cos 30^\circ + 0,115 * \sin 30^\circ)) * 2 * 0,75 = 0,985 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{tot}} = 0,985 \text{ m}^2$$

$$F_{\text{tot}} = 0,985 * 1085 = 1069 \text{ N (bij windsnelheid van 150 km/uur)}$$

Torsiebelasting 3*RRU's:

$$F_1 = 1085 * (1 + 0,5) * 0,115 = 186 \text{ N}$$

$$F_2 = 1085 * 2 * (1 + 2/3) * (0,5 * (0,269 + 0,269) * \cos 30^\circ + 0,115 * \sin 30^\circ) = 1050 \text{ N}$$

$$M_{\text{torsie}} = \text{ABS} (F_1 * 443 - F_2 * 443 * \cos 60^\circ) = 149873 \text{ Nmm}$$

type		berekend aantal antennes	opgave p _{ant.} in N	bij wind- snelheid km/uur	opstel- hoogte in m	stuwdruk q _p (z) in N/m ²	windlast in N.
3*A114521R5V06 incl. uithouder		1	3195	150	42,40	1578	5509
3*RRU		1	702	150	43,28	1587	1216
2*3*RRU		1	1069	150	42,40	1578	1843
2*3*RRU		1	1069	150	41,52	1569	1833
						$\Sigma F_{\text{ant}} =$	
						10401	
Torsiebelasting			in Nmm				in Nmm
3*A114521R5V06		1	309097	150	42,40	1578	532914
3*RRU		1	61183	150	43,28	1587	106066
2*3*RRU		1	149873	150	42,40	1578	258396
2*3*RRU		1	149873	150	41,52	1569	256947
						$\Sigma F_{\text{ant,tor.}} =$	
						1154323	

Resultaat computerberekening

Staafkrachten, hoekverdraaiingen en verplaatsingen

1 - In bruikbaarheidsgrenstoestand (SLS) - $\gamma_g = 1,0$ en $\gamma_q = 1,0$

knoop nummer	staaf i--j	normaal kr. kN	dwars kr. kN	moment kNm	torsiemom. kNm	hoekverd. rad.	verpl. δ mm
1	1 -- 2	0,00	0,00	0,00	0,00	1,73E-02	45
2	2 -- 3	0,75	1,40	0,00	0,13	1,73E-02	44
3	3 -- 4	1,61	2,72	0,76	0,24	1,72E-02	35
4	4 -- 5	4,70	7,49	3,23	0,76	1,62E-02	20
5	5 -- 6	6,41	9,50	9,90	1,02	1,30E-02	7
6	6 -- 7	7,32	11,00	14,87	1,15	9,49E-03	1
7	7 -- 8	7,36	28,89	15,97	1,15	8,64E-03	0
8		7,84	-17,63	0,00	1,15	8,40E-03	0

2 - In uiterste grenstoestand (ULS) - $\gamma_g = 1,2$ en $\gamma_q = 1,6$

knoop nummer	staaf i--j	normaal kr. kN	dwars kr. kN	moment kNm	torsiemom. kNm	hoekverd. rad.	verpl. δ mm
1	1 -- 2	0,00	0,00	0,00	0,00	2,77E-02	73
2	2 -- 3	0,89	2,24	0,00	0,21	2,77E-02	70
3	3 -- 4	1,93	4,35	1,21	0,38	2,75E-02	56
4	4 -- 5	5,64	11,99	5,16	1,22	2,60E-02	32
5	5 -- 6	7,69	15,21	15,84	1,63	2,09E-02	11
6	6 -- 7	8,78	17,60	23,79	1,85	1,52E-02	1
7	7 -- 8	8,83	46,22	25,56	1,85	1,38E-02	0
8		9,41	-28,21	0,00	1,85	1,34E-02	0

Controle uitbuigingen en hoekverdraaiingen

antennes	knopen	hoogte meter	δ_h - Verpl.	ϕ bij ref.per. 50 jaar	
			meter	rad,	graad
3*A114521R5V06	1	44,00	0,045	1,73E-02	0,99
	2	43,90	0,044	1,73E-02	0,99
	3	43,38	0,035	1,72E-02	0,99
	4	42,50	0,020	1,62E-02	0,93
	5	41,62	0,007	1,30E-02	0,75
	6	41,10	0,001	9,49E-03	0,54
	7	41,00	0,000	8,64E-03	0,49
	8	40,10	0,000	8,40E-03	0,48

Controle hoekverdraaiingen

Voor sector antennes (voor referentieperiode 15 jaar)

referentieperiode: 15 jaar

Windgebied I

K = 0,2

n = 0,5

p = 0,0645

$$c_{prob} = \left(\frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1-p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^n = 0,93$$

$$(c_{prob})^2 = 0,87$$

Max. hoekverdr. φ = 0,81 gr. voldoet , max hoekverdr. < 1,0 gr.

Controle verplaatsingen

$$\delta_h = 45 \text{ mm} \rightarrow \delta_h \cdot 100 / (3900 - 900)$$

Percentage uitbuig. = 1,52 % voldoet , max verpl. < 8 %

max. relatieve verplaatsing mast, t.p.v knoop x :

$$\delta_{rel} = \{ \delta_{hor} \cdot (\text{hoogte knoop x}) / (\text{totale hoogte}) \} - \delta_{knoop x}$$

Knoop 5 , Hoogte = 1520 mm

$\delta_{knoop x}$ = 0 mm

$$\delta_{rel} = 18 \text{ mm} \rightarrow \delta_h \cdot 100 / 3900$$

Percentage uitbuig. = 0,45 % voldoet , max verpl. < 1 %

De maximale verplaatsing voldoet aan stijfheidseisen volgen NEN -EN 50341-3 .

Toetsing van de doorsnede (Buiging incl. 2e orde effect)

Elasticiteitsmod. E_d =	210000	N/mm ²					
Vloeigrens S235 f_y =	235	N/mm ²	-	treksterkte f_u =	360	N/mm ²	
Vloeigrens S355 f_y =	355	N/mm ²	-	treksterkte f_u =	510	N/mm ²	

Toetsingregel :

$$N_{E,d} / N_{c,Rd} + M_{E,d} / M_{c,Rd} \leq 1$$

waarin: $M_{E,d} = M_{1,E,d} + N_{E,d} * \delta_{hor.}$

$M_{1,E,d}$ = buigende moment uit computer

$N_{E,d}$ = normaal kracht uit computer uitvoer

δ_{rel} = relatieve horizontale verplaatsing

$$M_{c,Rd} = W_{el} * f_y / \gamma_{M0} \quad ; \quad N_{c,Rd} = A * f_y / \gamma_{M0} \quad ; \quad \gamma_{M0} = 1,0$$

Staal kwaliteit : S 355

staaf nummer	profiel D/t (mm)	$M_{1,E,d}$ kNm	$N_{E,d}$ kN	rel.verpl. (δ) mm	$M_{E,d}$ kNm	$M_{c,Rd}$ kNm	toetsings- regel
1	B139,7/10	0,00	0,89	2	0,00	43,80	0,00
2	B139,7/10	1,21	1,93	9	1,23	43,80	0,03
3	B139,7/10	5,16	5,64	15	5,26	43,80	0,12
4	B139,7/10	15,84	7,69	13	16,04	43,80	0,37
5	B139,7/10	23,79	8,78	6	24,05	43,80	0,56
6	B139,7/10	25,56	8,83	1	25,82	43,80	0,60
7							

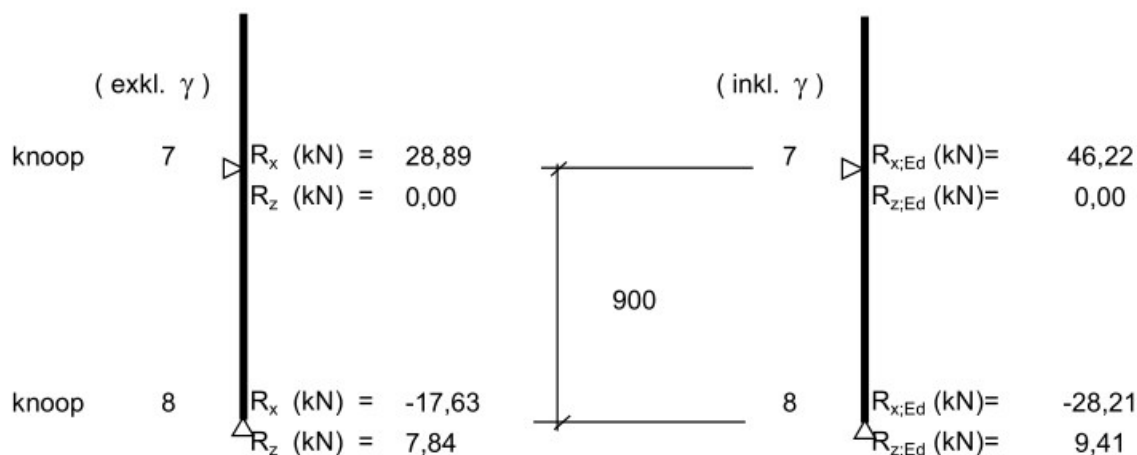
Steunpuntreacties in kN en kNm.

B.C. 1 (knoop 7)	
R_x of R_y	28,89
R_z	0,00
M_x, M_y	0,00

B.C. 2 (knoop 7)	
$R_{x;Ed}$ of $R_{y;Ed}$	46,22
$R_{z;Ed}$	0,00
$M_{x;Ed} - M_{y;Ed}$	0,00

B.C. 1 (knoop 8)	
R_x of R_y	-17,63
R_z	7,84
M_x, M_y	0,00

B.C. 2 (knoop 8)	
$R_{x;Ed}$ of $R_{y;Ed}$	-28,21
$R_{z;Ed}$	9,41
$M_{x;Ed} - M_{y;Ed}$	0,00



T,g.v. horizontale belasting

(exkl. γ) $M_{voet} = 26,00$ kNm

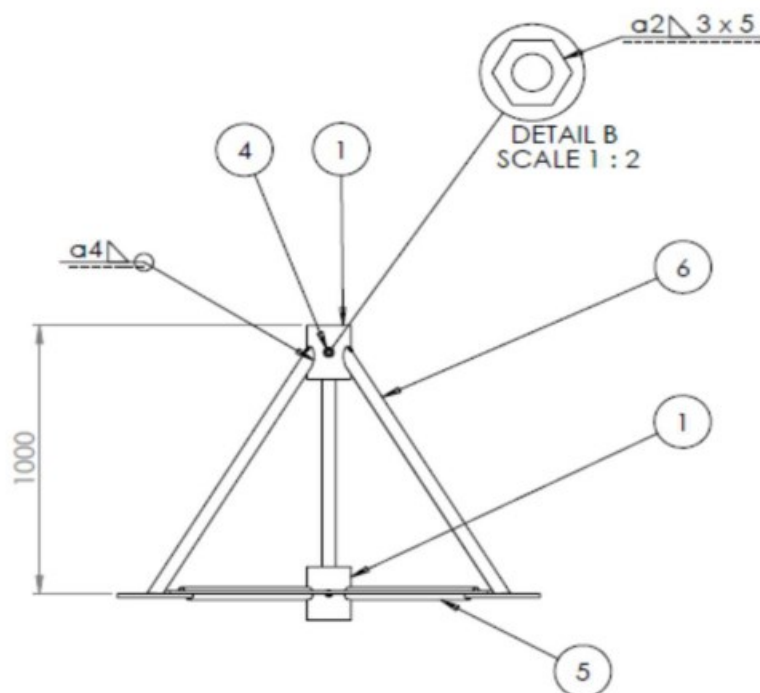
(inkl. γ) $M_{voet;Ed} = 41,59$ kNm ($\gamma_g=1,2$, $\gamma_q=1,6$)

T,g.v.torsie belasting

(exkl. γ) $M_{torsie} = 1,15$ kNm

(inkl. γ) $M_{torsie;Ed} = 1,85$ kNm ($\gamma_g=1,2$, $\gamma_q=1,6$)

Topstuk



Pos 1: buis 159*8 - S235 - LG 200
Pos 5 en 6: buis 60,3*4 - S235 - LG 510 / 1136
Pos 4: Lasmoer M16

Controle randstaven

$$F_{z,E,d} = M_{E,d} / (b \cdot \cos 30^\circ)$$

$$F_{z,E,d} = 43,68 / (1,20 \cdot \cos 30^\circ) = 40,02 \quad \text{kN}$$

$$N_{E,d} = F_{z,E,d} / \cos \alpha ; \alpha = 37,58^\circ \rightarrow N_{E,d} = 50,51 \quad \text{kN}$$

$$L_{cr} = \{ \text{wortel} (900^2 + (2 \cdot 1200 \cdot \cos 30^\circ / 3)^2) \} \cdot 1 = 1136 \quad \text{mm}$$

$$\text{Profiel } \phi 60,3 \cdot 4 \text{ mm - S235 : } A = 707 \text{ mm}^2 ; i_y = 19,96 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0,21 \quad N_{cr} = 452649 \text{ N}$$

$$\lambda = 0,606 \quad \Phi = 0,726$$

$$\chi = 0,888$$

$$N_{b,Rd} = 148 \quad \text{kN}$$

$$N_{E,d} / N_{b,Rd} = 50,51 / 148 = 0,34 < 1 ; \text{Voldoet}$$

Controle horizontale staven:

$$N_{E,d} = M_{E,d} / 0,9 = 46,22 \text{ kN}$$

$$L_{cr} = 2 \cdot 1200 \cdot \cos 30^\circ / 3 = 692 \text{ mm}$$

$$\text{Profiel } \phi 60,3 \cdot 4 \text{ mm - S235 : } A = 707 \text{ mm}^2 ; i_y = 19,96 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0,21 \quad N_{cr} = 1216493 \text{ N}$$

$$\lambda = 0,370 \quad \Phi = 0,586$$

$$\chi = 0,961$$

$$N_{b,Rd} = 160 \text{ kN}$$

$$N_{E,d} / N_{b,Rd} = 46,22 / 160 = 0,29 < 1 ; \text{Voldoet}$$

Controle horizontale staven t.g.v. torsie belasting

$$M_{\text{torsie};Ed} = 1,85 \text{ kNm}$$

$$F_{h;Ed} = (M_{\text{torsie}} / (2 \cdot 1200 \cdot \cos 30^\circ / 3)) / 3$$

$$F_{h;Ed} = M_{\text{torsie}} / (692 \cdot 3)$$

$$F_{h;Ed} = 0,89 \text{ kN}$$

$$M_{y;Ed} = F_{h;Ed} \cdot (692 - 159/2) \cdot 10^{-3} = 0,54 \text{ kNm}$$

$$M_{y;Ed} / M_{y,Rd} = 0,54 / 2,20 = 0,25 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_b = 58,3 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{E,d} / N_{Rd} = 46,2 / 166 = 0,28 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_N = 65,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} = 124 \text{ N/mm}^2 < 235 \text{ MPa -- Voldoet}$$

Controle buis 159*8 - S235

A - Ter plaatse van aansluiting met horizontalen

Ten gevolge van normaal kracht

buis	d_i (mm)	t_i (mm)	A (mm ²)	kwaliteit	f_y	W_b (mm ³)
0	159,0	8,0	3795	S235	235	136437
1	60,3	4,0	707	S235	235	9344

Toepassingsgebied:

$$0,2 \leq (d_i / d_0) \leq 1,0 ; \quad d_i / d_0 = 0,38 \quad \text{voldoet}$$

$$10 \leq d_i / t_i \leq 50 ; \quad d_i / t_i = 15,08 \quad \text{voldoet}$$

$$10 \leq d_0 / t_0 \leq 50 ; \quad d_0 / t_0 = 19,88 \quad \text{voldoet}$$

$$\gamma_{M5} = 1,00$$

$$\theta_1 = 90 \quad \text{graden}$$

$$\beta = d_i / d_0 = 0,38$$

$$\gamma = d_0 / 2 \cdot t_0 = 9,9375$$

$$n_p = \{N_{0,Ed} / (A_0 \cdot f_{y,0})\} + \{M_{0,Ed} / (W_0 \cdot f_{y,0})\}$$

$$N_{0,Ed} = 9,41 \quad \text{kN} \quad \text{drukkracht}$$

$$M_{0,Ed} = 0 \quad \text{kNm}$$

$$n_p = 0,01 \quad \text{of} \quad n_p = 0,011$$

$$k_p = 1,0 \quad , \text{ voor } n_p \leq 0 \quad (\text{trek})$$

$$k_p = 1,0 - 0,3 \cdot n_p - 0,3 \cdot n_p^2 \quad , \text{ voor } n_p > 0 \quad (\text{druk}) \text{ maar } k_p \leq 1$$

$$k_p = 1,00$$

$$N_{1,Rd} = \{(\gamma^{0,2} \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 / \sin \theta_1) \cdot (2,8 + 14,2 \cdot \beta^2)\} / \gamma_{M5}$$

$$N_{1,Rd} = 114,91 \quad \text{kN}$$

Pons controle

$$N_{1,Rd} = \{(f_{y,0} / 3^{0,5}) \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_i \cdot (1 + \sin \theta_1) / 2 \sin^2 \theta_1\} / \gamma_{M5}$$

$$N_{1,Rd} = 205,6 \quad \text{kN}$$

$$N_{1,Rd,min} = 114,9 \quad \text{kN}$$

$$N_{Ed} = 46,22 \quad \text{kN}$$

$$N_{E,d} / N_{1,Rd} = 46,2 / 114,9 = 0,40 < 1 ; \text{ Voldoet}$$

Ten gevolge van moment uit het vlak

$$M_{op,1,Rd} = \{(f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot d_i / \sin \theta_1) \cdot (2,7 / (1 - 0,81 \cdot \beta)) \cdot k_p\} / \gamma_{M5}$$

$$M_{op,1,Rd} = 3,5 \quad \text{kNm}$$

Ponscontrole ; Voor $d_1 \leq d_0 - 2 \cdot t_0$:

$$M_{op,1,Rd} = \{ (f_{y0} \cdot t_0 \cdot d_1^2 / 3^{0.5}) \cdot ((3 + \sin \theta_1) / 4 \cdot \sin^2 \theta_1) \} / \gamma_{M5}$$

$$M_{op,1,Rd} = 3,9 \text{ kNm}$$

$$M_{op,1,Rd,min} = 3,5 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,54 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} / M_{op,1,Rd} = 0,54 / 3,5 = 0,15 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

Combinatie Normaal kracht en moment uit het vlak

$$UC = 0,40 + 0,15 = 0,56 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

B - Ter plaatse van aansluiting met randen

$$\theta_1 = 37,589089 \text{ graden}$$

$$N_{1,Rd} = 188,4 \text{ kN}$$

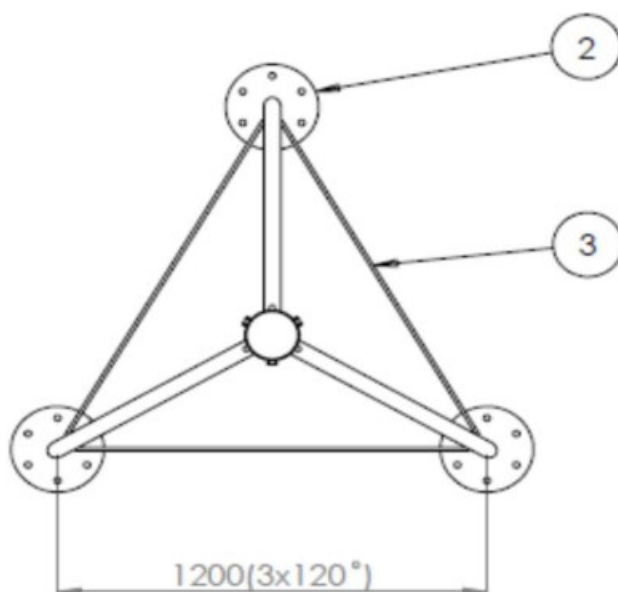
$$N_{1,Rd,pons} = 444,8 \text{ kN}$$

$$N_{1,Rd,min} = 188,4 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 50,51 \text{ kN}$$

$$N_{E,d} / N_{1,Rd} = 50,5 / 188,4 = 0,27 < 1 ; \text{Voldoet}$$

Controle verbindingen



$$F_{t,E,d} = 43,68 (1,20 \cdot \cos 30^\circ) = 40,02 \text{ kN}$$

Bouten 6* M16 - 8,8 : $F_{t,Rd} = 90,43 \text{ kN}$

Flens afmeting : $\varnothing 260$, 15mm dik en steek $\varnothing 190\text{mm}$ - S235

Voor de formule zie:

"Design Guide - For Circular Hollow Section (CHS)"

Edited by: Comité International pour le Développement et l'Etude de la Construction Tubulaire.

Authors:

Flensdikte:

$$t_{fl} \geq \{ 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot \gamma_m / (f_{y,p} \cdot \pi \cdot f_3) \}^{0,5}$$

Aantal bouten:

$$n \geq \{ F_{t,Ed} \cdot \gamma_m \cdot (1 - 1/f_3 + 1/f_3 \cdot \ln(r_1/r_2)) \} / F_{t,Rd,b}$$

$$\text{Prying force } \beta = \gamma_m \cdot (1 - 1/f_3 + 1/f_3 \cdot \ln(r_1/r_2))$$

$$\gamma_m = 1,1$$

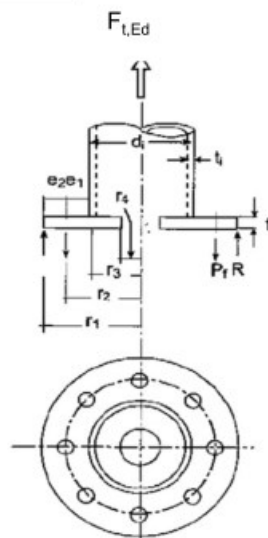
$$f_3 = \{ k_3 + (k_3^2 - 4 \cdot k_1 \cdot (1 + k_1 \cdot k_2))^{0,5} \} / 2 \cdot k_1$$

$$k_1 = \ln(r_2 / r_3) ; \quad k_2 = r_4 / r_3$$

$$k_3 = 2 + k_1 (k_2 + 1) - k_2$$

$$r_2 = D_{Stc} / 2 ; \quad r_3 = (d_i - t_i) / 2$$

$$r_4 = (d_i - 2 \cdot t_i) / 2$$



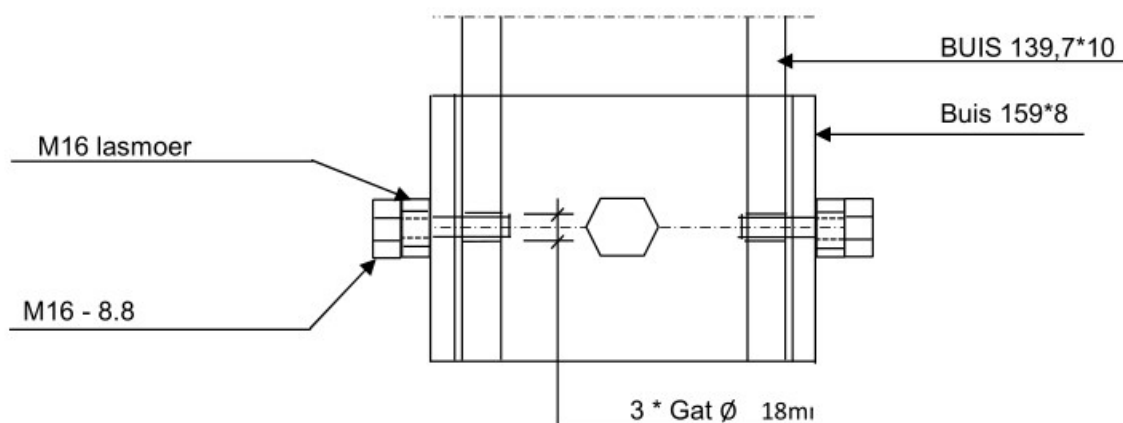
flenzen	Stc. mm	d _i mm	t _i mm	r ₂ mm	r ₃ mm	r ₄ mm	k ₁
topsectie	190,00	60,3	4,0	95,00	28,2	26,2	1,22

flenzen	k ₂	k ₃	f ₃	β prying force	F _{t,Ed} N	F _{t,Rd,b} N	n _{bout} ≥
topsectie	0,93	3,4	1,9	2,38	40025	90432	1,05

flenzen	toegepaste n _{bout}	UC bouten		f _{y,p} N/mm ²	t _{fl} ≥ mm	toegepaste t _{fl} / mm	UC flensdikte
topsectie	6	0,18		235	8,0	15	0,28

Bouten van de lasmoeren

(Alleen ter plaatse van onderste lasmoeren)



$$M_{\text{torsie;Ed}} = 1,85 \text{ kNm}$$

$$F_{h,v;Ed} = (M_{\text{torsie}} / (159/2) / 3 = 7,74 \text{ kN}$$

$$F_{z;Ed} = 9,41 \text{ kN}$$

$$F_{z,v;Ed} = F_{z;Ed} / 3 = 3,14 \text{ kN}$$

$$F_{v;Ed,max} = (F_{h,v;Ed}^2 + F_{z,v;Ed}^2)^{0,5} = 8,36$$

$$\text{M16 - 8.8 : } F_{v,Rd} = 60,3 \text{ kN}$$

$$F_{v;Ed,max} / F_{v,Rd} = 0,14 < 1,0 ; \text{ voldoet}$$

$$M_{\text{buiging;Ed}} = F_{v;Ed} * (5 + (159 - 2 * 8 - 139,7) / 2) * 10^{-3} = 0,06 \text{ kNm}$$

$$\text{M16 : } A_s = 157 \text{ mm}^2 ; d_{\text{nom}} = 14,1 \text{ mm} ; W = 277 \text{ mm}^3$$

$$M_{R;Ed} = 0,72 * 800 * 277 * 10^{-6} = 0,16 \text{ kNm}$$

$$M_{y;Ed} / M_{y,Rd} = 0,06 / 0,16 = 0,35 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

Controle lassen

Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \quad \text{of} \quad \tau_1 \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{w,u;d} = f_{t;d} / (\beta \cdot \gamma_M \cdot \text{wortel}(3))$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\text{Materiaal S 235} \rightarrow f_u = 360 \text{ N/mm}^2 \quad \text{en} \quad \beta_w = 0,8$$

$$f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 259,2 \text{ N/mm}^2$$

A - Randen (aan schuifbuis en flenzen)

Alle lassen a = 4 mm rondom

$$a = 4 \text{ mm} \quad L_{las} = 189 \text{ mm}$$

$$\text{t.g.v. } N_{Ed} : \sigma_1 = \tau_1 = N_{Ed} / (L_{las} \cdot a \cdot 2^{0,5}) = 47,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_1 = 47,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_1 = 47,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_2 = 0,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} = \{\sigma_1^2 + 3 \cdot (\tau_1^2 + \tau_2^2)\}^{0,5} = 94,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 94,3 / 360,0 = 0,26 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_1 \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 47,1 / 259,2 = 0,18 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

B- Horizontale staven (aan schuifbuis en flenzen)

Alle lassen a = 4 mm rondom

$$a = 4 \text{ mm} \quad L_{las} = 189 \text{ mm}$$

$$\text{t.g.v. } N_{Ed} : \sigma_1 = \tau_1 = N_{Ed} / (L_{las} \cdot a \cdot 2^{0,5}) = 43,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{t.g.v. } M_{y,Ed} : \sigma_1 = \tau_1 = 0,5 \cdot \sigma_{b,y} \cdot t / (a \cdot 2^{0,5}) = 20,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{t.g.v. } V_{y,Ed} : \sigma_1 = \tau_1 = V_{y,Ed} / (L_{las} \cdot a \cdot 2^{0,5}) = 0,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_1 = 64,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_1 = 64,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_2 = 0,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} = \{\sigma_1^2 + 3 \cdot (\tau_1^2 + \tau_2^2)\}^{0,5} = 129,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 129,2 / 360,0 = 0,36 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_1 \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 64,6 / 259,2 = 0,25 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

C- Hulpstang en lasmoeren

Alle lassen praktisch a = 3mm aanhouden

Samenvatting maatgevende unity checks

Onderdeel	Maatgevende U.C.	
Topbuis	0,60	< 1,0 -- Voldoet
Randstaaf	0,53	< 1,0 -- Voldoet
Buis Ø159	0,56	< 1,0 -- Voldoet
Flenzen	0,28	< 1,0 -- Voldoet
Bouten	0,35	< 1,0 -- Voldoet
Lassen	0,36	< 1,0 -- Voldoet