

Postbus 676  
7300 AR Apeldoorn  
Tel: 088 - 1860200

## STATISCHE BEREKENING

**39,99 meter buis- vakwerkmast**

**Geldigheidsgebied: Alle windgebieden**

Revisie	Datum	Samensteller	Gecontroleerd
2019-1	15 - 01 - 19	ing.	

## Inhoudsopgave.

	<b>blz.</b>
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 Overzicht mast en antennes	6
2.2 Mastgegevens	7
2.3 Computerschema	9
3.0 Berekening belastingen	10
3.1 Berekening stuwdruk	10
3.2 Berekening eigenfrequentie mast en meewerkende massa	11
3.3 Berekening bouwfactor $c_s c_d$	14
3.4 Bepaling sub of supercritical vorm voor de cirkelvormige doorsnede	15
3.5 Berekening gewicht antenne, bekabeling en mastlichaam per sectie	16
3.6 Berekening windoppervlak en windlast per sectie	17
3.7 Berekening windlast antennes	20
3.8 Samenvatting berekende belastingen	22
4.0 Resultaat computerberekening	23
4.1 Staafkrachten, hoekverdraaiingen en verplaatsingen	23
4.2 controle uitbuigingen en hoekverdraaiingen	27
4.3 Controle knik stabiliteit mastlichaam	28
4.4 Berekening bout – en lasverbindingen	33
4.5 Voorspanning bouten van de randstaven	39
4.6 Berekening instorting	41
4.6 Steunpunt reacties t.g.v. belasting gevallen en combinaties	41
4.7 Samenvatting fundatie belastingen	42
4.8 Fundatie belastingen in windgebied I, II en III onbebouwd	43

## **1.0 - Uitgangspunten berekening.**

### **1.1 - Inleiding.**

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

Deze mast “Modulair Standaard Mast – type VDL 3000-1200-1200” is berekend op vijf verschillende systemen (vijf operators met dual- en tripleband systemen 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) dat de terreincategorie II is van toepassing.

### **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.

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:

Eigen gewichten + rustende bel.  $\gamma_{f,g} = 1.1$  - en bij ongunstige werking  $\gamma_{f,g} = 0.9$

Wind belasting  $\gamma_{f,q} = 1.4$

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:

Dual- en tripleband antennesystemen en minilink antennes

Voor 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. Het 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 alsnog worden berekend.

**Opmerking:** Voor berekening instorting zie pagina 40 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.

##### C - Lassen in de primaire constructie.

De lassen in de mastconstructie, volgens de smelt lastechniek.

De afmeting van de lassen zijn volgens de berekening.

## 1.6 - Belastingen.

In de berekening is rekening gehouden met de volgende antennebezetting.

- 3\*APXVERR26-C Triple band antennes op 41,3 meter hoogte + 3\*DDTMA's onder antennes.
- 3\*ATR4518R7 Triple band antennes op 36,9 meter hoogte + 9\*RRU's achter de antennes.
- 3\*80010306V3 Dual band antennes op 33,3 meter hoogte.
- 3\*80010665V1 Dual band antennes op 30,3 meter hoogte + 6\*RRU's achter de antennes.
- 3\*ADU451716 Dual band antennes op 27,8 meter hoogte.
- 2\*0,3 meter dishes op 39,99m, 36,4m, 32,8m en 29,8 meter hoogte.

Bekabeling:

- 3\*APXVERR26-C: 12 \* 1 1/4" feeders
- 3\*ATR4518R7: 18 \* fiberglas 7mm + 9 \* Powerkabel 14mm
- 3\*80010306V3: 6 \* 7/8" feeders
- 3\*80010665V1: 6 \* fiberglas 7mm + 6 \* Powerkabel 14mm
- 3\*ADU451716: 12 \* 7/8" feeders
- 0,3 meter dishes: 1\*RG 213u kabel per antenne.

## 1.7 - Conclusie

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

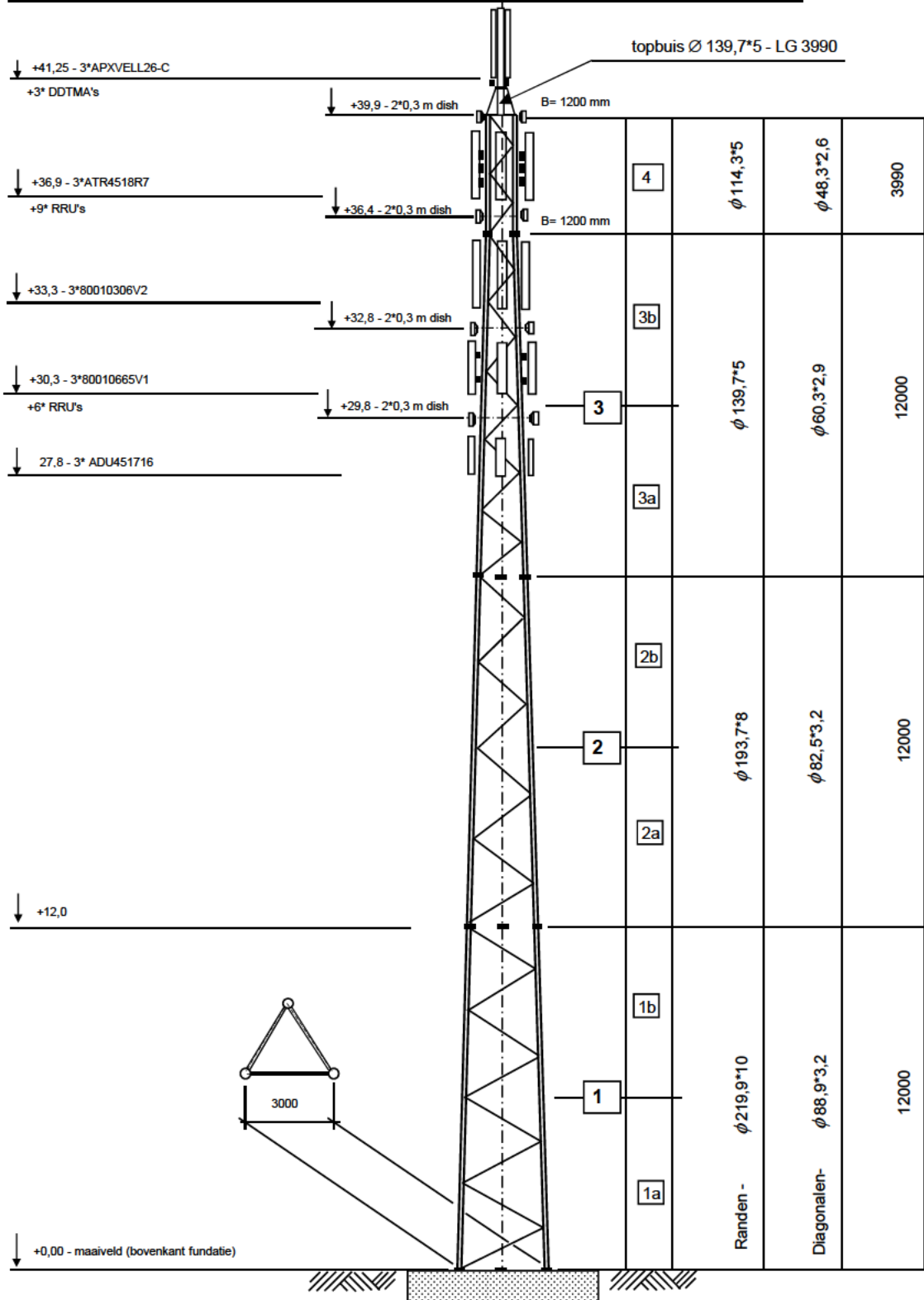
- De mastconstructie voor wat betreft de sterkte en stabiliteit voldoet.
- De mastconstructie voor wat betreft de eisen aan de vervorming voldoet.

Overzicht unity check (belasting percentage) randstaven, diagonalen, bouten, flenzen, lassen en hoekverdraaiing van de mast op 42,6m hoogte (hart bovenste antennes) voor verschillende windgebieden.

	WG I-onbeb.	WG II-onbeb.	WG III-onbeb.
Randen	0,72	0,61	0,52
Diagonalen	0,64	0,53	0,46
Bouten - flensverbinding	0,89	0,74	0,62
Bouten - diagonaal aansluiting	0,49	0,41	0,34
Flenzen	0,71	0,59	0,50
Lassen	0,37	0,31	0,26
Hoekverdraaiing (gr)	0,47	0,39	0,33

## 2.0 - Statische berekening

### 2.1 - Overzicht 39.99 m mast en antennes - Zendstation in wingebied I - onbebouwd



## 2.2 - Gegevens 39,99 meter buisvakwerkmast - Zendstation in wingebied I - onbebouwd

### A - Geometrie mastlichaam

hoogte voet van de mast (m)	0	boven maaiveld
-----------------------------	---	----------------

aantal secties	4	gem. breedte in (m)	2,010
----------------	---	---------------------	-------

sectie-nummer	sectie-lengte mm	voet-breedte mm	top-breedte mm	aantal diagonalen per vlak	aantal knopen Computer	aantal staven schema	hoogte t.o.v maai veld m
1a	6000	3000	2700	4	2	1	3,00
1b	6000	2700	2400	4	2	1	9,00
2a	6000	2400	2100	4	2	1	15,00
2b	6000	2100	1800	4	2	1	21,00
3a	6000	1800	1500	5	6	5	27,00
3b	6000	1500	1200	5	8	7	33,00
4	3990	1200	1200	4	6	5	38,00
topstuk	865	1200	152,4		2	1	40,42
topbuis	3990	139,7	139,7		5	4	41,99
	39990 vakwerk				27	26	

### B - Profielgegevens

profielgegevens randstaven - S355J2H							
sectie	D (mm)	t (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	m(kg/m)	I (mm <sup>4</sup> )	i (mm)	W <sub>b</sub> (mm <sup>3</sup> )
1a	219,1	10,0	6569	51,57	3,60E+07	74,01	328475
1b	219,1	10,0	6569	51,57	3,60E+07	74,01	328475
2a	193,7	8,0	4667	36,64	2,02E+07	65,72	208109
2b	193,7	8,0	4667	36,64	2,02E+07	65,72	208109
3a	139,7	5,0	2116	16,61	4,81E+06	47,66	68796
3b	139,7	5,0	2116	16,61	4,81E+06	47,66	68796
4	114,3	5,0	1717	13,48	2,57E+06	38,68	44955

profielgegevens diagonalen - S235JRH							
sectie	D (mm)	t (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	m(kg/m)	I (mm <sup>4</sup> )	i (mm)	W <sub>b</sub> (mm <sup>3</sup> )
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 - S235							
sectie	D (mm)	t (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	m(kg/m)	I (mm <sup>4</sup> )	i (mm)	W <sub>b</sub> (mm <sup>3</sup> )
topstuk	48,3	2,6	373	2,93	97765	16,18	4048
	152,4	4,0	1865	14,64	5137324	52,49	67419
	10,0	5,0	79	0,62	491	2,50	98
topbuis	139,7	5,0	2116	16,61	4805412	47,66	68796

### C - Stijfheid mast per sectie

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

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

$A_{\text{eff}}$  in mm<sup>2</sup> ,  $G_{\text{sectie}}$  in N ( inkl. extra gewichten ) en  $L_{\text{sectie}}$  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<sup>4</sup> ,  $A_{\text{randst.}}$  in mm<sup>2</sup> en  $I_{\text{randst.}}$  in mm<sup>4</sup>

$a$  = gemiddelde breedte in mm

Effectieve torsietraagheidsmoment  $I_t$

$$I_t = M * L_{\text{sectie}} / G * \varphi \quad (1); \quad M = 2 * F * a * \cos 30^\circ \quad (2)$$

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

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<sup>4</sup> ,  $E = 210000 \text{ N/mm}^2$  en  $G = 81000 \text{ N/mm}^2$

sectie	$A_{\text{rand}}$ mm <sup>2</sup>	$I_{\text{rand}}$ mm <sup>4</sup>	$a$ mm	$I_x$ of $I_y$ mm <sup>4</sup>	$I_t$ mm <sup>4</sup>	$A_{\text{eff}}$ mm <sup>2</sup>
1a	6569	3,60E+07	2850	2,68E+10	2,04E+10	3,71E+04
1b	6569	3,60E+07	2550	2,15E+10	1,31E+10	3,61E+04
2a	4667	2,02E+07	2250	1,19E+10	5,62E+09	2,82E+04
2b	4667	2,02E+07	1950	8,93E+09	3,18E+09	2,70E+04
3a	2116	4,81E+06	1650	2,89E+09	7,37E+08	1,79E+04
3b	2116	4,81E+06	1350	1,94E+09	3,31E+08	1,61E+04
4	1717	2,57E+06	1200	1,24E+09	3,79E+08	1,45E+04
topstuk	373	9,78E+04	676	8,56E+07	1,76E+08	5,87E+03
topbuis	2116	4,81E+06		4,81E+06	9,61E+06	2,12E+03



### 2.3 - Computerschema

knoop nummer	knoop cord. "Z" - in mm	staaf i -- j	benaming staven	L <sub>staaf</sub> mm	A <sub>eff</sub> mm <sup>2</sup>	I <sub>x</sub> of I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup>
1	43980	1 -- 2	Topbuis	65	2,12E+03	4,81E+06
2	43915	2 -- 3	Topbuis	1300	2,12E+03	4,81E+06
3	42615	3 -- 4	Topbuis	1300	2,12E+03	4,81E+06
4	41315	4 -- 5	Topbuis	200	2,12E+03	4,81E+06
5	41115	5 -- 6	Topbuis	260	2,12E+03	4,81E+06
6	40855	6 -- 7	Topstuk	865	5,87E+03	8,56E+07
7	39990	7 -- 8	sectie 4	490	1,45E+04	1,24E+09
8	39500	8 -- 9	sectie 4	1300	1,45E+04	1,24E+09
9	38200	9 -- 10	sectie 4	1300	1,45E+04	1,24E+09
10	36900	10 -- 11	sectie 4	500	1,45E+04	1,24E+09
11	36400	11 -- 12	sectie 4	400	1,45E+04	1,24E+09
12	36000	12 -- 13	sectie 3b	100	1,61E+04	1,94E+09
13	35900	13 -- 14	sectie 3b	1300	1,61E+04	1,94E+09
14	34600	14 -- 15	sectie 3b	1300	1,61E+04	1,94E+09
15	33300	15 -- 16	sectie 3b	500	1,61E+04	1,94E+09
16	32800	16 -- 17	sectie 3b	500	1,61E+04	1,94E+09
17	32300	17 -- 18	sectie 3b	2000	1,61E+04	1,94E+09
18	30300	18 -- 19	sectie 3b	300	1,61E+04	1,94E+09
19	30000	19 -- 20	sectie 3a	200	1,79E+04	2,89E+09
20	29800	20 -- 21	sectie 3a	500	1,79E+04	2,89E+09
21	29300	21 -- 22	sectie 3a	1500	1,79E+04	2,89E+09
22	27800	22 -- 23	sectie 3a	3800	1,79E+04	2,89E+09
23	24000	23 -- 24	sectie 2b	6000	2,70E+04	8,93E+09
24	18000	24 -- 25	sectie 2a	6000	2,82E+04	1,19E+10
25	12000	25 -- 26	sectie 1b	6000	3,61E+04	2,15E+10
26	6000	26 -- 27	sectie 1a	6000	3,71E+04	2,68E+10
27	0					

### 3.0 - Berekening belastingen

#### 3.1 - 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  $C_o(z) = 1,0$

Veiligheidsklaas  $3$

Volumieke massa van lucht;  $\rho = 1,25$  kg/m<sup>3</sup>

$z_0 = 0,200$  m

$z_{min} = 4,0$  m

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

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

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

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

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

$$I_v(z) = k_1 / \{c_o(z) * \ln(z / z_0)\} \quad \text{voor } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad ; \quad k_1 = 1,0$$

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

Sectie	hoogte z m	kr	$c_r(z)$	$V_m(z)$ m/s	$I_v(z)$	$q_p(z)$ N/m <sup>2</sup>
1a	3,00	0,21	0,63	18,50	0,37	767
1b	9,00	0,21	0,80	23,51	0,26	981
2a	15,00	0,21	0,90	26,67	0,23	1165
2b	21,00	0,21	0,97	28,74	0,21	1293
3a	27,00	0,21	1,03	30,30	0,20	1392
3b	33,00	0,21	1,07	31,54	0,20	1474
4	38,00	0,21	1,10	32,41	0,19	1532
topstuk	40,42	0,21	1,11	32,79	0,19	1558
topbuis	41,99	0,21	1,12	33,02	0,19	1574

### 3.2 - Berekening eigenfrequentie mast en meewerkende massa

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. $\delta$ mm
1	1 -- 2	11		0,00	0,00	1,28E-02	246
2	2 -- 3	226	540	0,55	0,00	1,28E-02	245
3	3 -- 4	226		0,78	0,86	1,23E-02	229
4	4 -- 5	35	540	1,54	2,02	1,05E-02	214
5	5 -- 6	45	600	2,18	2,33	1,01E-02	212
6	6 -- 7	549		2,22	2,91	9,38E-03	209
7	7 -- 8	558	300	3,07	5,07	9,19E-03	201
8	8 -- 9	1480	600	4,23	6,71	9,18E-03	197
9	9 -- 10	1480	1980	7,69	13,17	9,13E-03	185
10	10 -- 11	569	600	9,77	24,13	9,04E-03	173
11	11 -- 12	456	300	10,64	29,16	8,98E-03	169
12	12 -- 13	127		11,10	33,51	8,94E-03	165
13	13 -- 14	1647	300	11,52	34,62	8,93E-03	164
14	14 -- 15	1647		13,17	50,67	8,79E-03	153
15	15 -- 16	633	300	15,12	68,86	8,60E-03	141
16	16 -- 17	633	300	16,05	76,58	8,51E-03	137
17	17 -- 18	2533	1185	17,87	84,76	8,41E-03	133
18	18 -- 19	380	1185	21,59	123,03	7,91E-03	116
19	19 -- 20	281		21,97	129,56	7,81E-03	114
20	20 -- 21	704	300	22,55	133,99	7,77E-03	112
21	21 -- 22	2111	375	23,63	145,44	7,66E-03	109
22	22 -- 23	5347	375	26,11	182,46	7,25E-03	97
23	23 -- 24	12707		31,46	291,84	5,78E-03	72
24	24 -- 25	13283		44,17	518,71	4,50E-03	41
25	25 -- 26	17017		57,45	823,55	2,91E-03	19
26	26 -- 27	17467		74,47	1219,29	1,56E-03	5
27				91,93	1718,48	0,00E+00	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:

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

$m_i$  : de geconcentreerde massa in kg.

$\delta_i$  : de verplaatsing van het punt ( i ) in meter

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

Vervolg berekening eigen frequentie

knoop nummer	staaf nummer	gewicht mast kg	gewicht ant. kg	verpl. $\delta$ m	$g \sum m_i \cdot \delta_i$	$\sum m_i \cdot \delta_i^2$
1	1 -- 2	1,1		0,246	2,72	0,068
2	2 -- 3	22,6	54,0	0,245	182,53	4,520
3	3 -- 4	22,6		0,229	49,09	1,108
4	4 -- 5	3,5	54,0	0,214	120,56	2,627
5	5 -- 6	4,5	60,0	0,212	134,01	2,892
6	6 -- 7	54,9		0,209	110,59	2,314
7	7 -- 8	55,8	30,0	0,201	168,16	3,425
8	8 -- 9	148,0	60,0	0,197	392,89	7,712
9	9 -- 10	148,0	198,0	0,185	618,91	11,505
10	10 -- 11	56,9	60,0	0,173	197,24	3,457
11	11 -- 12	45,6	30,0	0,169	124,11	2,118
12	12 -- 13	12,7		0,165	20,44	0,343
13	13 -- 14	164,7	30,0	0,164	303,96	4,933
14	14 -- 15	164,7		0,153	237,23	3,552
15	15 -- 16	63,3	30,0	0,141	127,96	1,823
16	16 -- 17	63,3	30,0	0,137	124,06	1,714
17	17 -- 18	253,3	118,5	0,133	463,71	6,015
18	18 -- 19	38,0	118,5	0,116	178,19	2,108
19	19 -- 20	28,1		0,114	31,25	0,361
20	20 -- 21	70,4	30,0	0,112	109,35	1,238
21	21 -- 22	211,1	37,5	0,109	253,16	2,680
22	22 -- 23	534,7	37,5	0,097	481,10	4,209
23	23 -- 24	1270,7		0,072	708,02	4,099
24	24 -- 25	1328,3		0,041	389,49	1,187
25	25 -- 26	1701,7		0,019	196,40	0,236
26	26 -- 27	1746,7		0,005	42,31	0,011
27				0,000	0,00	0,000
				Som	5767,44	76,25

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

$n_{x,1}$	=	1,38	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	$\phi_i$	s m	$\phi_i^2 * (s)$	$\phi_i^2 * (s) * m$	$\phi_i * (s)$
1 -- 2	18	0,998	0,065	0,06	1,15	0,06
2 -- 3	60	0,963	1,300	1,21	72,45	1,25
3 -- 4	18	0,899	1,300	1,05	18,64	1,17
4 -- 5	293	0,865	0,200	0,15	43,81	0,17
5 -- 6	253	0,855	0,260	0,19	48,12	0,22
6 -- 7	65	0,834	0,865	0,60	38,93	0,72
7 -- 8	178	0,808	0,490	0,32	57,17	0,40
8 -- 9	163	0,775	1,300	0,78	127,42	1,01
9 -- 10	271	0,727	1,300	0,69	186,43	0,95
10 -- 11	238	0,694	0,500	0,24	57,39	0,35
11 -- 12	193	0,677	0,400	0,18	35,34	0,27
12 -- 13	129	0,668	0,100	0,04	5,77	0,07
13 -- 14	153	0,643	1,300	0,54	82,06	0,84
14 -- 15	129	0,597	1,300	0,46	59,76	0,78
15 -- 16	190	0,565	0,500	0,16	30,37	0,28
16 -- 17	190	0,548	0,500	0,15	28,54	0,27
17 -- 18	190	0,506	2,000	0,51	97,01	1,01
18 -- 19	532	0,468	0,300	0,07	34,93	0,14
19 -- 20	143	0,460	0,200	0,04	6,07	0,09
20 -- 21	205	0,449	0,500	0,10	20,62	0,22
21 -- 22	169	0,418	1,500	0,26	44,35	0,63
22 -- 23	153	0,345	3,800	0,45	69,38	1,31
23 -- 24	216	0,231	6,000	0,32	68,97	1,38
24 -- 25	226	0,121	6,000	0,09	19,97	0,73
25 -- 26	289	0,048	6,000	0,01	3,96	0,29
26 -- 27	297	0,010	6,000	0,00	0,18	0,06
		<b>Σ</b>	43,98	8,69	1258,78	14,67

$$m_e = 1258,8 / 8,7 = 144,9 \text{ kg/m}$$

### 3.3 - Berekening bouwwerkfactor $c_s c_d$

Eurocode 1- 4 : 6.3.1 - Procedure volgens bijlage C van NEN-EN 1-4

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

$$n = n_{1,x} = 1,38 \quad \text{Hz}$$

$$b = 1,27 \quad \text{m}$$

#### Opmerking:

De "b" is beperkt tot breedte van de windvangende oppervlak i.p.v. de gemiddelde breedte van 2,010m.

$$h = 43,98 \quad \text{m}$$

$$z_s = h_0 + 0,6 * h = 26,39 \quad \text{m}$$

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

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

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

$$L(z) = L_t * (z / z_t)^\alpha = 90,90$$

$$B^2 = 1 / \{ 1 + 1,5 * [(b/L(z_s))^2 + (h/L(z_s))^2 + (b*h / L(z_s) * L(z_s))^2]^{0,5} \}$$

$$B^2 = 0,58$$

$$\delta_s = 0,03 \quad (\text{beboute vakwerkmast})$$

$$\delta_a = c_f * \rho * b * v_m(z_s) / (2 * n_1 * m_e) = 0,084$$

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

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d = 0,114$$

$$v_m(z_s) = 30,15 \quad \text{m/s} \quad (Z_s = 31,2 \text{ m})$$

$$v_m(z) = 33,31 \quad \text{m/s} \quad (Z = h = 52,0 \text{ m})$$

$$I_v(z_s) = 0,20$$

$$S_L(z,n) = 6,8 * f_L(z,n) / \{ 1 + 10,2 * f_L(z,n) \}^{5/3} = 0,06$$

$$f_L(z,n) = n * L(z) / v_m(z) = 3,78$$

$$c_y = c_z = 11,5$$

$$\phi_y = c_y * b * n / V_m(z_s) = 0,67$$

$$\phi_z = c_y * h * n / V_m(z_s) = 23,22$$

$$G_y = 0,5$$

$$G_z = 0,28$$

$$K_s(n) = 1 / \{ 1 + [(G_y * \phi_y)_2 + G_z * \phi_z]^2 + (2 * G_y * \phi_y * G_z * \phi_z / \pi)^2 \}^{0,5}$$

$$K_s(n) = 0,13$$

$$R^2 = 0,32$$

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

$$v = n_{1,x} * (R^2 / (B^2 + R^2))^{0,5} = 0,83 \quad \text{Hz}$$

$$k_p = \{ 2 * \ln(v * T) \}^{0,5} + 0,6 / \{ (2 * \ln(v * T))^{0,5} \} = 3,69$$

$$c_s c_d = 1,00$$

### 3.4 - Bepaling sub of supercritical vorm voor de cirkelvormige doorsnede

$$R_e = b * v(z_e) / \nu$$

$$v(z_e) = \{ 2 * q_p / \rho \}^{0.5}$$

b is de buisdiameter

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

Indien Reynoldgetal  $R_e < 4 \cdot 10^5$ , sub critical regime

Indien Reynoldgetal  $R_e > 4 \cdot 10^5$ , supercritical regime (ijs vrij doorsnede)

sectie nummer	$v(z_e)$ m/s	$R_e$ randst.	vorm randst.	$R_e$ diagon.	vorm diagon.	$R_e$ horiz.	vorm horiz.
1a	35,0	5,12E+05	Supercrit.	2,08E+05	Sub crit.	niet aanwezig	
1b	39,6	5,79E+05	Supercrit.	2,35E+05	Sub crit.	niet aanwezig	
2a	43,2	5,58E+05	Supercrit.	2,37E+05	Sub crit.	niet aanwezig	
2b	45,5	5,87E+05	Supercrit.	2,50E+05	Sub crit.	niet aanwezig	
3a	47,2	4,40E+05	Supercrit.	1,90E+05	Sub crit.	niet aanwezig	
3b	48,6	4,52E+05	Supercrit.	1,95E+05	Sub crit.	niet aanwezig	
4	49,5	3,77E+05	Sub crit.	1,59E+05	Sub crit.	niet aanwezig	
topstuk	35,0	2,08E+05	Sub crit.				
topbuis	39,6	2,35E+05	Sub crit.				

### 3.5 - Berekening gewicht per sectie.

#### A - Gewicht antennes

antennes	opstel hoogte m	aantal antennes	gewicht / antenne kg	gew. bev. per ant. kg	totaal gewicht kg
APXVERR26-C	41,25	3	28,3	7,7	108
DDTMA's- KRY112197/2	41,05	3	17,3	2,7	60
2*0,3 m dish	39,99	2	12,0	3	30
ATR4518R7	36,90	3	29,5	10,5	120
RRU 900/1800/2100	38,20	9	19,0	3	198
2*0,3 m dish	36,40	2	12,0	3	30
80010306V02	33,30	3	14,0	6	60
2*0,3 m dish	32,80	2	12,0	3	30
80010665V01	30,30	3	26,0	9	105
RRU FRMB/FRHB	31,30	6	19,0	3	132
2*0,3 m dish	29,80	2	12,0	3	30
ADU451716	27,80	3	17,0	8	75
$\Sigma F_{\text{gew.}}(\text{kg}) =$					978

#### B - Gewicht kabels

kabel	aantal	hoogte tot (m)	gewicht (kg/m)
Flexwell 1 1/4"	12 st.	41,25	15,60
RG 213u	2 st.	39,99	0,20
Fiberglas 7 mm	18 st.	36,90	1,21
Powerkabel 14 mm	9 st.	36,90	2,67
RG 213u	2 st.	36,40	0,20
Flexwell 7/8"	6 st.	33,30	5,40
RG 213u	2 st.	32,80	0,20
Fiberglas 7 mm	6 st.	30,30	0,40
Powerkabel 14 mm	6 st.	30,30	1,78
RG 213u	2 st.	29,80	0,20
Flexwell 7/8"	12 st.	27,80	10,80

#### C - Gewicht van het mastlichaam

sectie nummer	gewicht randen in N.	gewicht diagonalen in N.	gewicht flenzen in N.	gewicht schetspl. in N.	gewicht ladder in N.	gewicht kabels in N.	totaal gewicht in N.
1a	9282	2614	1451	600	1200	2320	17467
1b	9282	2401	1214	600	1200	2320	17017
2a	6595	2031	538	600	1200	2320	13283
2b	6595	1848	145	600	1200	2320	12707
3a	2990	1256	164	750	1200	2082	8442
3b	2990	1112	164	750	1200	1383	7599
4	1613	549	0	600	798	984	4544
topstuk	264					135	399
topbuis	663					31	694
$\Sigma F_{\text{vert}} =$	40273	11810	3677	4500	7998	13894	82152

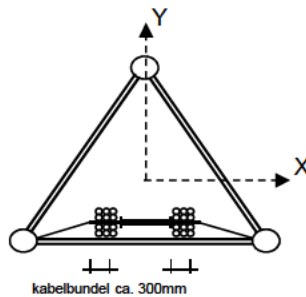
Opmerking:

Gewicht van de ladder inclusief bevestigingen, kabelstripen en vanglijn is 20 kg/m'.



### 3.6 - Berekening windoppervlak en windlast per sectie.

$$F_{\text{wind}} = q_p(z) * c_s c_d * \Sigma A_{\text{wind,tot}}$$



Toelichting op berekening windoppervlakken en vormfactoren

Conform EN 1993-3-1:

$$A_{\text{wind,tot}} = \Sigma A * \Sigma c_f$$

$$\Sigma A = A_s + A_A$$

$$\Sigma c_f = c_{f,s} + c_{f,A}$$

$A_s$  = windoppervlak van het mastlichaam

$A_A$  = windoppervlak van de ladder en kabels

$c_{f,s}$  = coëfficiënt van de windbelasting voor het mastlichaam

$c_{f,A}$  = coëfficiënt van de windbelasting voor ladder en kabels

#### Mastlichaam

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

Voor driezijdige mast:

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

$A_f$  = Area of flat-sided section members

$A_c$  = Area of circular section members in sub critical regimes

$A_{c,\text{sup}}$  = Area of circular section members in supercritical regimes

$$\left. \begin{array}{l} C_1 = 1,9 \\ C_2 = 1,4 \end{array} \right\} \text{Voor driezijdige mast:}$$

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

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

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

$$\varphi = \text{volheidsgraad} = (A_S + A_A) / A$$

A = de oppervlakte omsloten door de randen van het vlak, loodrecht geprojecteerd op het vlak

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

#### Ancillaries (ladder en bekabeling)

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

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

$$c_{f,A,0} = 1,20$$

$$K_A = 0,8$$

Ladder : 0,25 m<sup>2</sup>/m' (incl. vormfactor)

Bekabeling : Maximaal 0,60 en minimaal 0,15 m<sup>2</sup> / m'

**wind in "Y" - richting**

sectie nummer	$A_S$ in m <sup>2</sup> .	$A_A$ in m <sup>2</sup> .	$C_{f,S}$	$C_{f,A}$	$A_{wind,tot} =$ $\Sigma A * \Sigma c_f$ in m <sup>2</sup> .	$q_p(z)$ in N/m <sup>2</sup>	windlast in N
1a	3,750	5,097	0,504	0,553	9,353	767	7175
1b	3,652	5,097	0,490	0,559	9,181	981	9006
2a	3,194	5,097	0,451	0,590	8,635	1165	10061
2b	3,110	5,097	0,438	0,596	8,486	1293	10975
3a	2,278	5,081	0,362	0,663	7,542	1392	10503
3b	2,204	4,225	0,394	0,631	6,588	1474	9711
4	1,205	2,092	0,529	0,609	3,753	1532	5750
topstuk	0,144	0,005	0,005	0,96	0,144	1558	225
topbuis	0,557		1,20		0,669	1574	1053
$\Sigma F_{mast} =$							64459

**wind in "X" - richting**

sectie nummer	$A_S$ in m <sup>2</sup> .	$A_A$ in m <sup>2</sup> .	$C_{f,S}$	$C_{f,A}$	$A_{wind,tot} =$ $\Sigma A * \Sigma c_f$ in m <sup>2</sup> .	$q_p(z)$ in N/m <sup>2</sup>	windlast in N
1a	3,607	4,414	0,526	0,528	8,454	767	6486
1b	3,522	4,414	0,513	0,534	8,308	981	8150
2a	3,083	4,414	0,474	0,565	7,794	1165	9081
2b	3,010	4,414	0,462	0,571	7,669	1293	9918
3a	2,201	4,400	0,384	0,640	6,759	1392	9413
3b	2,137	3,659	0,418	0,606	5,938	1474	8752
4	1,168	1,812	0,553	0,584	3,386	1532	5189
topstuk	0,137	0,004	0,004	0,96	0,136	1558	212
topbuis	0,557		1,20		0,669	1574	1053
$\Sigma F_{mast} =$							58252

### 3.7 - Windlast antennes

#### **A - 3\* APXVERR26 op topbuis:**

$$F_{\text{tot}} = 1,0 * \{ (2/3) * 562 + 2 * ( 379 * \cos 60^\circ + 238 * \sin 60^\circ ) \} = 1166 \text{ N}$$

3\*DDTMA's (KRY112197/2) onder antennes

$$F_{\text{ant}} = ((2/3) * 165 + 2 * ( 165 * \cos 60^\circ + 54 * \sin 60^\circ )) * 1,0 = 369 \text{ N}$$

#### **B - 3\*ATR4518R7 :**

$$F_{\text{ant}} = ((2/3) * 955 + 2 * ( 920 * \cos 60^\circ + 305 * \sin 60^\circ )) * 1,0 = 2085 \text{ N}$$

Uithouder : 60,3 \*4 en 2,2m

$$F_{\text{uith}} = 3 * 1,2 * 0,0603 * 2,8 * 1085 * 0,5 = 330 \text{ N}$$

(belasting uithouders worden met 50% gereduceerd)

$$F_{\text{w,tot}} = 2415 \text{ N}$$

9\*RRU's voor ATR4518R4 antennes

Voor gemiddelde RRU 3220 (400\*240\*160)

$$F_{\text{RRU}} = 3 * ((2/3) * 240 + 2 * ( 240 * \cos 60^\circ + 107 * \sin 60^\circ )) * 0,75 = 1317 \text{ N}$$

(RRU's staan achter antennes en worden met 25% gereduceerd)

#### **C - 3\*80010306V2 :**

Per antenne :  $F_{\text{max}} = 980 \text{ N}$  ( nieuwe uitgave Kathrein)

$$F_{\text{ant}} = ( (2/3) * 980 + 2 * 980 ) * 1,0 = 2613 \text{ N}$$

Uithouder : 60,3 \*4 en 2,8m

$$F_{\text{uith}} = 3 * 1,2 * 0,0603 * 2,8 * 1085 * 0,5 = 330 \text{ N}$$

$$F_{\text{w,tot}} = 2943 \text{ N}$$

#### **D - 3\*80010665V1 :**

Per antenne :  $F_{\text{max}} = 620 \text{ N}$  ( nieuwe uitgave Kathrein)

$$F_{\text{ant}} = ( (2/3) * 980 + 2 * 980 ) * 1,0 = 2613 \text{ N}$$

Uithouder : 60,3 \*4 en 2,8m

$$F_{\text{uith}} = 3 * 1,2 * 0,0603 * 2,2 * 1085 * 0,5 = 259 \text{ N}$$

$$F_{\text{w,tot}} = 1912 \text{ N}$$

6\*RRU's voor 80010665 antennes

RRU's FRMB - FRHB ( 514\*326\*148)

$$F_{\text{RRU}} = 2 * ((2/3) * 218 + 2 * ( 218 * \cos 60^\circ + 99 * \sin 60^\circ )) * 0,75 = 803 \text{ N}$$

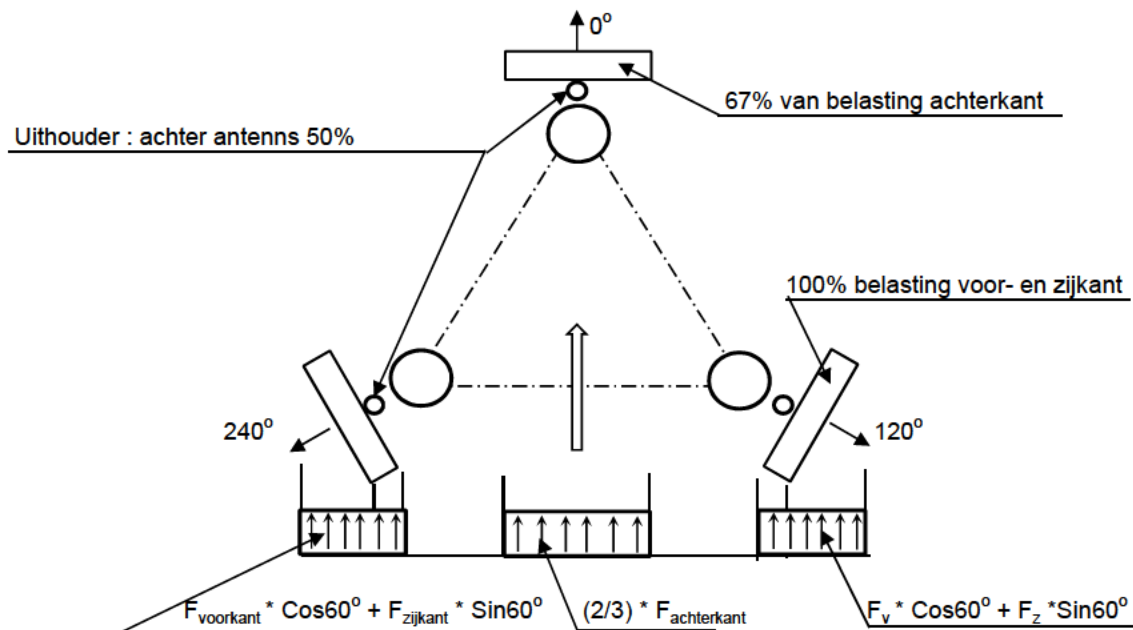
#### **E - 3\*ADU451716 :**

$$F_{\text{ant}} = ((2/3) * 595 + 2 * ( 375 * \cos 60^\circ + 170 * \sin 60^\circ )) * 1,0 = 2085 \text{ N}$$

Uithouder : 60,3 \*4 en 2,2m

$$F_{\text{uith}} = 3 * 1,2 * 0,0603 * 1,7 * 1085 * 0,5 = 200 \text{ N}$$

$$F_{\text{w,tot}} = 1266 \text{ N}$$



#### E - 0,3 m schotel antennes.

Voor enkele antenne is windbelasting bij windsnelheid 55 m/s (198 km/uur)

$$F_{w,\text{voorkant}} = 194 \text{ N}$$

$$F_{w,\text{zijkant}} = 472 \text{ N}$$

Omdat de schotel antennes in de verschillende richtingen staan, wordt voor de berekening de gemiddelde belasting aangehouden.

$$F_{w,\text{max.}} = 1,1 * (472 + 194) / 2 = 366 \text{ N}$$

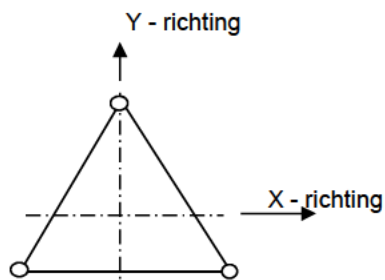
$$F_{\text{wind;ant}} = (F_{\text{ant}} * q_p(z) / q_{w,150/162/198}) * c_r c_s$$

$$q_{w,150} = (150/3,6)^2 / 1,6 = 1085 \text{ N/m}^2$$

$$q_{w,198} = (198/3,6)^2 / 1,6 = 1891 \text{ N/m}^2$$

type	berekend aantal antennes	opgave p <sub>ant.</sub> in N	bij wind- snelheid km/uur	opstel- hoogte in m	stuwdruk q <sub>p</sub> (z) in N/m <sup>2</sup>	windlast in N.
APXVERR26-C	1	1166	150	42,55	1579	1697
DDTMA's- KRY112197/2	1	369	150	41,05	1564	532
2*0,3 m dish	2	366	198	39,99	1553	602
ATR4518R7	1	2415	150	38,20	1534	3415
RRU 900/1800/2100	1	1317	150	38,20	1534	1862
2*0,3 m dish	2	366	198	36,40	1514	587
80010306V02	1	2943	150	34,60	1493	4051
2*0,3 m dish	2	366	198	32,80	1471	570
80010665V01	1	1912	150	31,30	1452	2560
RRU FRMB/FRHB	1	803	150	31,30	1452	1074
2*0,3 m dish	2	366	198	29,80	1432	555
ADU451716	1	1266	150	28,55	1415	1651
$\Sigma F_{\text{ant}} =$						19157

### 3.8 - Samenvatting belastingen



knoop nummer	staaf i - j	benaming staven	Wind in "Y" - rich.		Wind in "X" - rich.	
			windbel. mast in kN/m'	windbel. antennes in kN	windbel. mast in kN/m'	windbel. antennes in kN
1	1 -- 2	Topbuis				
2	2 -- 3	Topbuis	0,264	0,849	0,264	0,849
3	3 -- 4	Topbuis	0,264		0,264	
4	4 -- 5	Topbuis	0,264	0,849	0,264	0,849
5	5 -- 6	Topbuis	0,264	0,532	0,264	0,532
6	6 -- 7	Topstuk	0,524		0,509	
7	7 -- 8	sectie 4	1,441	0,602	1,300	0,602
8	8 -- 9	sectie 4	1,441	1,707	1,300	1,707
9	9 -- 10	sectie 4	1,441	1,862	1,300	1,862
10	10 -- 11	sectie 4	1,441	1,707	1,300	1,707
11	11 -- 12	sectie 4	1,441	0,587	1,300	0,587
12	12 -- 13	sectie 3b	1,618		1,459	
13	13 -- 14	sectie 3b	1,618	2,025	1,459	2,025
14	14 -- 15	sectie 3b	1,618		1,459	
15	15 -- 16	sectie 3b	1,618	2,025	1,459	2,025
16	16 -- 17	sectie 3b	1,618	0,570	1,459	0,570
17	17 -- 18	sectie 3b	1,618	1,817	1,459	1,817
18	18 -- 19	sectie 3b	1,618	1,817	1,459	1,817
19	19 -- 20	sectie 3a	1,750		1,569	
20	20 -- 21	sectie 3a	1,750	0,555	1,569	0,555
21	21 -- 22	sectie 3a	1,750	0,826	1,569	0,826
22	22 -- 23	sectie 3a	1,750	0,826	1,569	0,826
23	23 -- 24	sectie 2b	1,829		1,653	
24	24 -- 25	sectie 2a	1,677		1,513	
25	25 -- 26	sectie 1b	1,501		1,358	
26	26 -- 27	sectie 1a	1,196		1,081	
27						

#### 4.0 - Resultaat computerberekening

##### 4.1 - Staafkrachten, hoekverdraaiingen en verplaatsingen

1 - Wind in "Y" rich. - 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	hoekverd. rad.	verpl. $\delta$ mm
1	1 -- 2	0,00	0,00	0,00	1,86E-02	338
2	2 -- 3	0,55	0,87	0,00	1,86E-02	337
3	3 -- 4	0,78	1,21	1,35	1,77E-02	313
4	4 -- 5	1,54	2,40	3,14	1,49E-02	292
5	5 -- 6	2,18	2,99	3,63	1,42E-02	289
6	6 -- 7	2,22	3,05	4,41	1,32E-02	285
7	7 -- 8	3,07	4,11	7,25	1,29E-02	274
8	8 -- 9	4,23	6,52	9,44	1,29E-02	268
9	9 -- 10	7,69	10,26	19,14	1,28E-02	251
10	10 -- 11	9,77	13,84	33,69	1,27E-02	234
11	11 -- 12	10,64	15,15	40,79	1,26E-02	228
12	12 -- 13	11,10	15,72	46,96	1,26E-02	223
13	13 -- 14	11,52	17,91	48,54	1,25E-02	222
14	14 -- 15	13,17	20,01	73,20	1,24E-02	206
15	15 -- 16	15,12	24,14	100,58	1,21E-02	190
16	16 -- 17	16,05	25,52	112,86	1,19E-02	184
17	17 -- 18	17,87	28,15	125,82	1,18E-02	178
18	18 -- 19	21,59	33,20	185,36	1,10E-02	155
19	19 -- 20	21,97	33,69	195,39	1,09E-02	152
20	20 -- 21	22,55	34,59	202,16	1,08E-02	149
21	21 -- 22	23,63	36,30	219,68	1,07E-02	144
22	22 -- 23	26,11	39,75	276,09	1,00E-02	129
23	23 -- 24	31,46	46,40	439,77	7,82E-03	94
24	24 -- 25	44,17	57,37	751,08	5,94E-03	52
25	25 -- 26	57,45	67,43	1125,51	3,69E-03	23
26	26 -- 27	74,47	76,44	1557,13	1,91E-03	6
27		91,93	83,62	2037,30	0,00E+00	0

2 - Wind in "Y" rich. - In uiterste grenstoestand (ULS) -  $\gamma_g = 1,1$  en  $\gamma_q = 1,4$  (CC2)

knoop nummer	staaf i--j	normaal kr. kN	dwars kr. kN	moment kNm	hoekverd. rad.	verpl. $\delta$ m
1	1 -- 2	0,00	0,00	0,00	2,60E-02	474
2	2 -- 3	0,66	1,21	0,00	2,60E-02	472
3	3 -- 4	0,93	1,69	1,89	2,48E-02	439
4	4 -- 5	1,85	3,36	4,40	2,09E-02	409
5	5 -- 6	2,61	4,18	5,08	1,99E-02	405
6	6 -- 7	2,67	4,28	6,18	1,85E-02	400
7	7 -- 8	3,69	5,75	10,15	1,81E-02	384
8	8 -- 9	5,08	9,13	13,21	1,81E-02	375
9	9 -- 10	9,23	14,36	26,79	1,80E-02	351
10	10 -- 11	11,73	19,38	47,17	1,78E-02	328
11	11 -- 12	12,77	21,21	57,11	1,77E-02	319
12	12 -- 13	13,32	22,01	65,75	1,76E-02	312
13	13 -- 14	13,83	25,07	67,96	1,76E-02	311
14	14 -- 15	15,80	28,02	102,48	1,73E-02	288
15	15 -- 16	18,14	33,80	140,82	1,69E-02	266
16	16 -- 17	19,26	35,73	158,00	1,67E-02	257
17	17 -- 18	21,44	39,41	176,15	1,65E-02	249
18	18 -- 19	25,90	46,49	259,50	1,55E-02	217
19	19 -- 20	26,36	47,16	273,55	1,53E-02	212
20	20 -- 21	27,06	48,43	283,03	1,52E-02	209
21	21 -- 22	28,35	50,81	307,55	1,49E-02	202
22	22 -- 23	31,33	55,65	386,53	1,41E-02	180
23	23 -- 24	37,75	64,96	615,68	1,10E-02	132
24	24 -- 25	53,00	80,32	1051,52	8,31E-03	73
25	25 -- 26	68,94	94,41	1575,71	5,17E-03	32
26	26 -- 27	89,36	107,02	2179,99	2,68E-03	8
27		110,32	117,06	2852,23	0,00E+00	0



3 - Wind in "X" rich. - 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	hoekverd. rad.	verpl. $\delta$ m
1	1 -- 2	0,00	0,00	0,00	1,79E-02	321
2	2 -- 3	0,55	0,87	0,00	1,79E-02	320
3	3 -- 4	0,78	1,21	1,35	1,71E-02	297
4	4 -- 5	1,54	2,40	3,14	1,43E-02	276
5	5 -- 6	2,18	2,99	3,63	1,36E-02	273
6	6 -- 7	2,22	3,05	4,41	1,26E-02	270
7	7 -- 8	3,07	4,10	7,25	1,23E-02	259
8	8 -- 9	4,23	6,44	9,41	1,23E-02	253
9	9 -- 10	7,69	9,99	18,88	1,22E-02	237
10	10 -- 11	9,77	13,39	32,97	1,21E-02	222
11	11 -- 12	10,64	14,63	39,83	1,20E-02	216
12	12 -- 13	11,10	15,15	45,79	1,19E-02	211
13	13 -- 14	11,52	17,32	47,31	1,19E-02	210
14	14 -- 15	13,17	19,22	71,06	1,17E-02	194
15	15 -- 16	15,12	23,14	97,27	1,15E-02	179
16	16 -- 17	16,05	24,44	109,03	1,13E-02	173
17	17 -- 18	17,87	26,98	121,43	1,12E-02	168
18	18 -- 19	21,59	31,72	178,31	1,05E-02	146
19	19 -- 20	21,97	32,16	187,89	1,03E-02	143
20	20 -- 21	22,55	33,02	194,36	1,03E-02	141
21	21 -- 22	23,63	34,63	211,06	1,01E-02	136
22	22 -- 23	26,11	37,81	264,78	9,51E-03	121
23	23 -- 24	31,46	43,78	419,80	7,39E-03	89
24	24 -- 25	44,17	53,69	712,20	5,59E-03	49
25	25 -- 26	57,45	62,77	1061,61	3,47E-03	22
26	26 -- 27	74,47	70,92	1462,70	1,79E-03	6
27		91,93	77,41	1907,70	0,00E+00	0

4 - Wind in "X" rich. - In uiterste grenstoestand (ULS) -  $\gamma_g = 1,1$  en  $\gamma_q = 1,4$  (CC2)

knoop nummer	staaf i--j	normaal kr. kN	dwars kr. kN	moment kNm	hoekverd. rad.	verpl. $\delta$ m
1	1 -- 2	0,00	0,00	0,00	2,51E-02	449
2	2 -- 3	0,66	1,21	0,00	2,51E-02	448
3	3 -- 4	0,93	1,69	1,89	2,40E-02	416
4	4 -- 5	1,85	3,36	4,40	2,00E-02	387
5	5 -- 6	2,61	4,18	5,08	1,90E-02	383
6	6 -- 7	2,67	4,28	6,18	1,76E-02	378
7	7 -- 8	3,69	5,74	10,15	1,72E-02	363
8	8 -- 9	5,08	9,02	13,17	1,72E-02	355
9	9 -- 10	9,23	13,99	26,44	1,71E-02	332
10	10 -- 11	11,73	18,75	46,16	1,69E-02	310
11	11 -- 12	12,77	20,48	55,77	1,68E-02	302
12	12 -- 13	13,32	21,21	64,10	1,67E-02	295
13	13 -- 14	13,83	24,25	66,23	1,67E-02	293
14	14 -- 15	15,80	26,90	99,48	1,64E-02	272
15	15 -- 16	18,14	32,39	136,18	1,61E-02	251
16	16 -- 17	19,26	34,21	152,64	1,59E-02	243
17	17 -- 18	21,44	37,78	170,00	1,57E-02	235
18	18 -- 19	25,90	44,41	249,64	1,47E-02	205
19	19 -- 20	26,36	45,02	263,05	1,45E-02	200
20	20 -- 21	27,06	46,23	272,10	1,44E-02	197
21	21 -- 22	28,35	48,49	295,49	1,41E-02	190
22	22 -- 23	31,33	52,94	370,69	1,33E-02	170
23	23 -- 24	37,75	61,29	587,72	1,03E-02	124
24	24 -- 25	53,00	75,17	997,09	7,83E-03	69
25	25 -- 26	68,94	87,88	1486,25	4,86E-03	30
26	26 -- 27	89,36	99,29	2047,78	2,51E-03	8
27		110,32	108,37	2670,78	0,00E+00	0

#### 4.2 - Controle uitbuigingen en hoekverdraaiingen

Wind in "Y" richting (maatgevend)

antennes	hoogte meter	verpl. $\delta$ meter	$\phi$ bij max. stuwdruk		$\phi$ bij $\psi_t = 0,75$	
			rad,	graad	rad,	graad
top van de mast	43,98	0,338	1,42E-02	0,82	1,07E-02	0,61
APXVERR26-C	42,55	0,313	1,77E-02	1,02	1,33E-02	0,76
2*0,3 m dish	39,99	0,274	1,29E-02	0,74	9,68E-03	0,55
ATR4518R7	38,20	0,251	1,28E-02	0,73	9,61E-03	0,55
2*0,3 m dish	36,40	0,228	1,26E-02	0,72	9,46E-03	0,54
80010306V02	34,60	0,206	1,24E-02	0,71	9,26E-03	0,53
2*0,3 m dish	32,80	0,184	1,19E-02	0,68	8,95E-03	0,51
80010665V01	31,30	0,166	1,14E-02	0,65	8,56E-03	0,49
2*0,3 m dish	29,80	0,149	1,08E-02	0,62	8,12E-03	0,47
ADU451716	28,55	0,136	1,04E-02	0,59	7,76E-03	0,44

#### Controle hoekverdraaiingen

referentieperiode: 1 jaar

Windgebied I

K = 0,2

n = 0,5

p = 0,6321

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

Voor GSM / minilink antennes ( voor referentieperiode 1 jaar -  $C_{red.} = 0,75$ )

Max. hoekverdr.  $\phi = 0,76$  gr. voldoet , max hoekverdr. < 1 gr.

#### Controle verplaatsingen

$$\delta_h = 338 \text{ mm} \rightarrow \delta_h * 100 / 43980$$

Percentage uitbuig. = 0,77 % 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 23 : Hoogte = 24000 mm

$\delta_{knoop x} = 94$  mm

$$\delta_{rel} = 90 \text{ mm} \rightarrow \delta_h * 100 / 43980$$

Percentage uitbuig. = 0,21 % voldoet , max verpl. < 1 %

De maximale verplaatsing voldoet aan stijfheidseisen volgen NEN -EN 50341-3 (november 2013) .

#### 4.3 - Controle knikstabiliteit mastlichaam

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

##### A - Randstaven

Wind in " Y " richting

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

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

Waarin :  $M_{x,Ed}$  = moment t.g.v rekenbel. uit computer

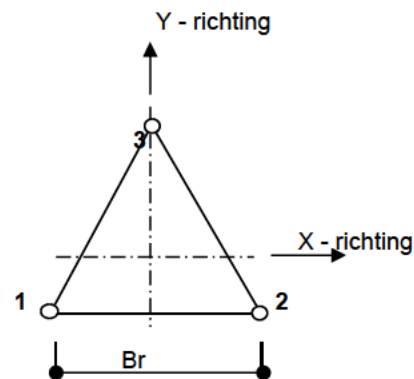
$\sum N$  = normale kracht t.g.v rekenbel. uit computer

Br. = voetbreedte

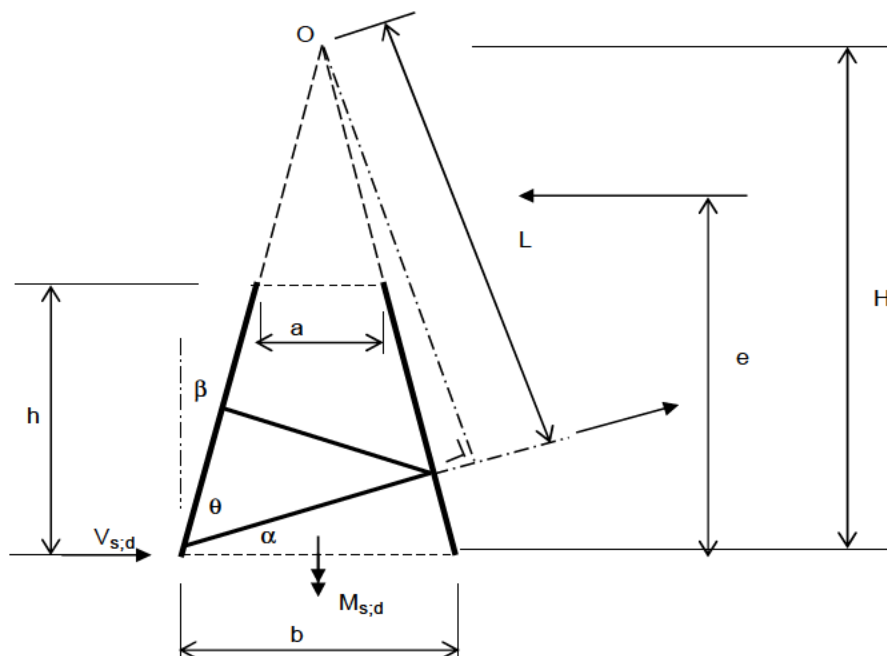
Wind in " X " richting

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

$$\text{Trekkracht } N_{Ed} = (M_{y,Ed} / Br.) - \sum N / 3$$



##### B - Diagonalen



Wind in " Y " richting

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

Waarin :

$V_{y,Ed}$  = dwarskracht t.g.v rekenbel. uit computer

$\alpha$  = hoek tussen diagonalen en horizontale vlak

$\beta$  = hoek tussen randstaaf en verticale vlak

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

Wind in " X " richting

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

**Toetsing regel:**

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} \leq 1$$

$N_{Ed}$  is de rekenwaarde van de drukkracht ten gevolge van de belasting.

$N_{b,Rd}$  is de rekenwaarde van de knikweerstand van de op druk belaste staaf

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_y / \gamma_{M1} \quad \text{voor doorsnede klasse 1, 2 en 3}$$

$$N_{b,Rd} = \chi * A_{eff} * f_y / \gamma_{M1} \quad \text{voor doorsnede klasse 4}$$

waarin:

$\gamma_{M1}$  = veiligheidsfactor voor knikstabiliteit ,  $\gamma_{M1} = 1,0$

$f_y$  = vloeigrens van het materiaal

A is brutodwarsdoorsnede .

$\chi$  is dimensieloze reductiefactor voor de van toepassing zijnde knikvorm

$$\chi = 1 / \{ \phi + (\phi^2 - \bar{\lambda}^2)^{0,5} \} ; \quad \chi \leq 1,0$$

$$\phi = 0,5 * \{ 1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \}$$

$\alpha$  is imperfectie factor voor instabiliteitskromme a , b, c en d.

Imperfectie factoren				
Instabiliteitskromme	a	b	c	d
factor $\alpha$	0,21	0,34	0,49	0,76

$\bar{\lambda}$  is relatieve slankheid en is gelijk aan:

$$\bar{\lambda} = [A * f_y / N_{cr}]^{0,5} = [L_{cr} / i * \lambda_1] - \text{voor doorsnede klasse 1, 2 en 3}$$

$$\bar{\lambda} = [A_{eff} * f_y / N_{cr}]^{0,5} = [L_{cr} * (A_{eff}/A)^{0,5} / i * \lambda_1] - \text{voor doorsnede klasse 4}$$

$N_{cr}$  is de kritieke elastische kracht voor de van toepassing zijnde knikvorm

$$N_{cr} = \pi^2 * EI / L_{cr}^2$$

$L_{cr}$  is de kniklengte in het beschoude knikvlak

$i$  is de traagheidsstraal om het beschoude as.

$\lambda_1$  is de slankheid van staaf waarbij de knikspanning volgens Euler gelijk is aan vloeigrens  $f_y$ .

$$\lambda_1 = \pi * (E / f_y)^{0,5} ; E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

Doorsnedeklasse :

klasse 1 als  $d/t \leq 50 \epsilon^2$

klasse 2 als  $d/t \leq 70 \epsilon^2$

klasse 3 als  $d/t \leq 90 \epsilon^2$

$$\epsilon = [235 / f_y]^{0,5}$$

sectie	Wind in "Y" richting			Wind in "X" richting		
	$N_{s;d}$ kN	$V_{y;s;d}$ kN	$M_{x;s;d}$ kNm	$N_{s;d}$ kN	$V_{x;s;d}$ kN	$M_{y;s;d}$ kNm
4	13,32	22,01	65,75	13,32	21,21	64,10
3b	26,36	47,16	273,55	26,36	45,02	263,05
3a	37,75	64,96	615,68	37,75	61,29	587,72
2b	53,00	80,32	1051,52	53,00	75,17	997,09
2a	68,94	94,41	1575,71	68,94	87,88	1486,25
1b	89,36	107,02	2179,99	89,36	99,29	2047,78
1a	110,32	117,06	2852,23	110,32	108,37	2670,78
topstuk	2,67	4,28	6,18	2,67	4,28	6,18
topbuis	3,69	5,75	10,15	3,69	5,74	10,15

sectie nummer	hoek $\theta$ graden	hoek $\alpha$ graden	hoek $\beta$ graden	H mm	L mm	wind "Y" e (mm)	wind "X" e (mm)
1a	61,7	26,85	1,43	60000	52852	24365	24644
1b	59,2	29,40	1,43	54000	46385	20370	20624
2a	56,2	32,41	1,43	48000	39879	16690	16912
2b	52,5	36,03	1,43	42000	33349	13091	13264
3a	54,4	34,14	1,43	36000	29292	9478	9590
3b	49,3	39,23	1,43	30000	22766	5800	5843
4	50,3	39,74	0,00	5,E+13	4,E+13	2987	3022

**Controle randstaven ( materiaal kw. S355 )**

sectie nummer	profiel D (mm)	profiel t (mm)	N <sub>Ed</sub> N	kniklengte l <sub>cr</sub> (mm)	reductiefac. $\chi$	N <sub>b,Rd</sub> N	toetsing- regel
wind in "Y"-richting							
1a	219,1	10,0	1.134.595	3000	0,826	1.925.760	0,59
1b	219,1	10,0	962.094	3000	0,826	1.925.760	0,50
2a	193,7	8,0	781.093	3000	0,787	1.303.751	0,60
2b	193,7	8,0	595.851	3000	0,787	1.303.751	0,46
3a	139,7	5,0	407.539	2400	0,750	563.225	0,72
3b	139,7	5,0	219.364	2400	0,750	563.225	0,39
4	114,3	5,0	067.707	1995	0,740	451.107	0,15
wind in "X"-richting							
1a	219,1	10,0	927.031	3000	0,826	1.925.760	0,48
1b	219,1	10,0	788.222	3000	0,826	1.925.760	0,41
2a	193,7	8,0	642.249	3000	0,787	1.303.751	0,49
2b	193,7	8,0	492.469	3000	0,787	1.303.751	0,38
3a	139,7	5,0	339.094	2400	0,750	563.225	0,60
3b	139,7	5,0	184.154	2400	0,750	563.225	0,33
4	114,3	5,0	057.858	1995	0,740	451.107	0,13

Kniklengte  $L_{cr} = 2 * L_{sys}$

factor  $\alpha$  volgens instabiliteitskromme "c" voor koudgeformde ronde buizen (EN 10219).

Materiaal kwaliteit randstaven: S355-J2H-  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

**Controle diagonalen ( materiaal kw. S235 )**

sectie nummer	profiel D (mm)	profiel t (mm)	N <sub>Ed</sub> N	kniklengte l <sub>cr</sub> (mm)	reductiefac. $\chi$	N <sub>b,Rd</sub> N	toetsing- regel
wind in "Y"-richting							
1a	88,9	3,2	45.626	3321	0,450	091.158	0,50
1b	88,9	3,2	44.870	3056	0,499	100.966	0,44
2a	82,5	3,2	42.895	2798	0,505	094.581	0,45
2b	82,5	3,2	40.348	2550	0,559	104.696	0,39
3a	60,3	2,9	34.200	2138	0,473	058.178	0,59
3b	60,3	2,9	29.505	1898	0,543	066.755	0,44
4	48,3	2,6	16.527	1560	0,525	046.018	0,36
wind in "X"-richting							
1a	88,9	3,2	48.394	3321	0,450	091.158	0,53
1b	88,9	3,2	47.714	3056	0,499	100.966	0,47
2a	82,5	3,2	45.787	2798	0,505	094.581	0,48
2b	82,5	3,2	43.346	2550	0,559	104.696	0,41
3a	60,3	2,9	37.108	2138	0,473	058.178	0,64
3b	60,3	2,9	32.467	1898	0,543	066.755	0,49
4	48,3	2,6	18.387	1560	0,525	046.018	0,40

Sectie 1 t/m 7 : kniklengte  $L_{cr} = L_{sys}$  (geboute diagonalen)

factor  $\alpha$  volgens instabiliteitskromme "c" voor koudgeformde ronde buizen (EN 10219).

Materiaal kwaliteit diagonaal staven: S235-JRH -  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

### Controle buigspanning topbuis

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 komputer uitvoer

$\delta_{rel}$  = relatieve horizontale verplaatsing

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

Staal kwaliteit : S 235

staaf nummer	profiel D/t (mm)	$M_{1,E,d}$ kNm	$N_{E,d}$ kN	rel.verpl. ( $\delta$ ) mm	$M_{E,d}$ kNm	$M_{c,Rd}$ kNm	toetsings- regel
5	139,7/5	6,18	4,28	53	6,41	16,17	0,40

### topstuk

Randen:

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

$$F_{z,E,d} = 10,13 / (1,20 * \cos 30^\circ) = 9,77 \text{ kN}$$

$$N_{E,d} = F_{z,E,d} / \cos \alpha ; \alpha = 37,6^\circ \rightarrow N_{E,d} = 12,52 \text{ kN}$$

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

$$\text{Profiel topstuk } \phi 48,3 * 2,6 \text{ mm - S235 : } A = 373 \text{ mm}^2 ; i_y = 16,2 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0,21 \quad N_{cr} = 164978 \text{ N}$$

$$\lambda = 0,729 \quad \Phi = 0,821$$

$$\chi = 0,834$$

$$N_{b,Rd} = 73 \text{ kN}$$

$$N_{E,d} / N_{b,Rd} = 12,52 / 73 = 0,17 < 1 ; \text{Voldoet}$$

Horizontale staven:

$$N_{E,d} = M_{E,d} / 0,9 = 11,74 \text{ kN}$$

$$L_{cr} = 2 * 1200 * \cos 30^\circ / 3 = 693 \text{ mm}$$

$$\text{Profiel } \phi 48,3 * 2,6 \text{ mm - S235 : } A = 373 \text{ mm}^2 ; i_y = 16,2 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0,21 \quad N_{cr} = 422146 \text{ N}$$

$$\lambda = 0,456 \quad \Phi = 0,631$$

$$\chi = 0,937$$

$$N_{b,Rd} = 82 \text{ kN}$$

$$N_{E,d} / N_{b,Rd} = 11,74 / 82 = 0,14 < 1 ; \text{Voldoet}$$

**Lassen topstuk:** Alle lassen koeklas a = 4 mm rondom



#### 4.4 - Controle ankers en flensverbindingen

Afschuifweerstand per afschuifvlak:

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

$\alpha_v = 0,6$  - voor boutklassen 4.6, 5.6 en 8.8

$\alpha_v = 0,5$  - voor boutklassen 4.8, 5.8, 6.8 en 10.9

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

Trekweerstand :

$$F_{t,Rd} = k_2 * f_{ub} * A_s / \gamma_{M2}$$

$k_2 = 0,63$  voor bouten met verzonken kop , anders  $k_2 = 0,9$

Ponsweerstand :

$$F_{p,Rd} = 0,6 * \pi * d_m * t_p * f_u / \gamma_{M2}$$

uitgangspunt: gerolde draad

bouten	$A_s$ in mm <sup>2</sup>	$f_{ub}$ in N/mm <sup>2</sup>	$F_{t,Rd}$ in kN	$F_{v,Rd}$ in kN
M30 - 8,8	561	800	323,1	215,4
M30 - 10,9	561	1000	403,9	224,4
M27 - 8,8	459	800	264,4	176,3
M27 - 10,9	459	1000	330,5	220,3
M24 - 8,8	353	800	203,3	135,6
M24 - 10,9	353	1000	254,2	141,2
M20 - 8,8	245	800	141,1	94,1
M20 - 10,9	245	1000	176,4	117,6
M16 - 8,8	157	800	90,4	60,3
M16 - 10,9	157	1000	113,0	75,4

Overzicht bouten en flenzen

flenzen	$D_{uitw}$ mm	$D_{inw}$ mm	St.c mm	t mm	Staalkw. flenzen	bouten	aantal
sectie 1 (o)	430,0	223,4	330,0	30,0	S355	M24 - 8,8	12
sectie 1 (b)	420,0	223,4	310,0	30,0	S355	M27 - 8,8	8
sectie 2 (o)	420,0	197,8	310,0	30,0	S355		
sectie 2 (b)	370,0	197,8	274,0	25,0	S355	M24 - 8,8	8
sectie 3 (o)	370,0	143,3	274,0	25,0	S355		
sectie 3 (b)	270,0	143,3	211,0	15,0	S355	M16 - 8,8	8
sectie 4 (o)	270,0	117,0	211,0	15,0	S355		
4 /top	270,0	117,0	211,0	15,0	S355	M16 - 8,8	6

## A - verbinding randstaven

### Controle bouten en flenzen

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: J.Wardenier, Y.Kurobane, J.A. Packer, D. Dutta, N. Yeomans

Flensdikte:

$$t_f \geq \{ 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot \gamma_m / (f_{yp} \cdot \pi \cdot f_3) \}^{0,5}$$

Aantal bouten:

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

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

$$\gamma_m = 1,1$$

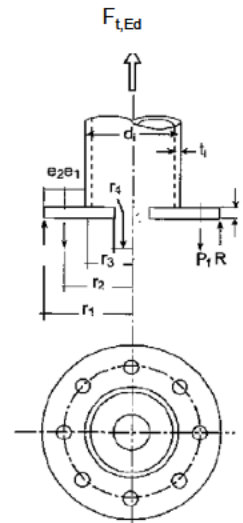
$$f_3 = \{ k_3 + (k_3^2 - 4 \cdot k_1 \cdot (1 + k_1 \cdot k_2))^{0,5} \} / 2 \cdot k_1$$

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

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

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

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



flenzen	Stc. mm	d <sub>i</sub> mm	t <sub>f</sub> mm	r <sub>2</sub> mm	r <sub>3</sub> mm	r <sub>4</sub> mm	k <sub>1</sub>
sectie 1 (o)	330,00	219,1	10,0	165,00	104,6	99,6	0,46
sectie 1 (b)	310,00	219,1	10,0	155,00	104,6	99,6	0,39
sectie 2 (o)	310,00	193,7	8,0	155,00	92,9	88,9	0,51
sectie 2 (b)	274,00	193,7	8,0	137,00	92,9	88,9	0,39
sectie 3 (o)	274,00	139,7	5,0	137,00	67,4	64,9	0,71
sectie 3 (b)	211,00	139,7	5,0	105,50	67,4	64,9	0,45
sectie 4 (o)	211,00	114,3	5,0	105,50	54,7	52,2	0,66
4 /top	211,00	114,3	5,0	105,50	54,7	52,2	0,66

flenzen	$k_2$	$k_3$	$f_3$	$\beta$ prying force	$F_{t,Ed}$ N	$F_{t,Rd,b}$ N	$n_{bout} \geq$
sectie 1 (o)	0,95	1,9	3,3	2,03	1067736	203328	10,65
sectie 1 (b)	0,95	1,8	3,7	1,86	739313	264384	5,20
sectie 2 (o)	0,96	2,0	3,0	1,86	739313	264384	5,20
sectie 2 (b)	0,96	1,8	3,7	1,97	384661	203328	3,73
sectie 3 (o)	0,96	2,4	2,5	1,97	384661	203328	3,73
sectie 3 (b)	0,96	1,9	3,3	2,26	59637	90432	1,49
sectie 4 (o)	0,95	2,3	2,6	2,26	59637	90432	1,49
4 /top	0,95	2,3	2,6	2,40	8764	90432	0,23

flenzen	toegepaste $n_{bout}$	UC bouten		$f_{y,p}$ N/mm <sup>2</sup>	$t_{fl} \geq$ mm	toegepaste $t_{fl} / \text{mm}$	UC flensdikte
sectie 1 (o)	12	0,89		355	25,3	30	0,71
sectie 1 (b)	8	0,65		355	20,0	30	0,44
sectie 2 (o)	8	0,65		355	21,9	30	0,53
sectie 2 (b)	8	0,47		355	14,4	25	0,33
sectie 3 (o)	8	0,47		355	17,6	25	0,49
sectie 3 (b)	8	0,19		355	6,0	15	0,16
sectie 4 (o)	8	0,19		355	6,7	15	0,20
4 /top	6	0,04		355	2,6	15	0,03

## B - verbinding diagonalen

### Sectie 1a t/m 1b (1 \* 12 m sectie) - verbinding met één bout M24-8,8 - enkelsnedig

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

$$e_1 = e_2 = 45 \text{ mm} ; d_0 = 26 \text{ mm}$$

$$k_1 \text{ kleinste waarde van } 2,8 * e_2 / d_0 - 1,7 \text{ of } 2,5 = 2,50$$

$$\alpha_b \text{ kleinste waarde van } \alpha_d ; f_{ub} / f_u \text{ of } 1,0 = 0,58$$

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

Schetsplaat 1 \* 12 mm aan diagonalen en 1 \* 12 mm aan randstaven

$$F_{b,Rd} = \{ 2,50 * 0,58 * 360 * 24 * 12 / 1,25 \} * 10^{-3} = 119,6 \text{ kN}$$

### Sectie 2a t/m 3b (2 \* 12 m ) - verbinding met één bout M20-8,8 - enkelsnedig

$$e_1 = e_2 = 45 \text{ mm} ; d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$k_1 \text{ kleinste waarde van } 2,8 * e_2 / d_0 - 1,7 \text{ of } 2,5 = 2,50$$

$$\alpha_b \text{ kleinste waarde van } \alpha_d ; f_{ub} / f_u \text{ of } 1,0 = 0,68$$

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

Schetsplaat 1 \* 12 mm aan diagonalen en 1 \* 12 mm aan randstaven

$$F_{b,Rd} = \{ 2,50 * 0,68 * 360 * 20 * 12 / 1,25 \} * 10^{-3} = 117,8 \text{ kN}$$

### Sectie 4 (1\*4m parallelle sectie) - verbinding met één bout M16-8,8 - enkelsnedig

$$e_1 = e_2 = 45 \text{ mm} ; d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$k_1 \text{ kleinste waarde van } 2,8 * e_2 / d_0 - 1,7 \text{ of } 2,5 = 2,50$$

$$\alpha_b \text{ kleinste waarde van } \alpha_d ; f_{ub} / f_u \text{ of } 1,0 = 0,83$$

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

Schetsplaat 1 \* 10 mm aan diagonalen en 1 \* 10 mm aan randstaven

$$F_{b,Rd} = \{ 2,50 * 0,83 * 360 * 16 * 10 / 1,25 \} * 10^{-3} = 96,0 \text{ kN}$$

sectie	bouten	aantal bouten	$F_{v,Ed}$ in kN	$F_{v,Rd}$ in kN	$F_{b,Rd}$ in kN	$F_{v,Ed}/$ $F_{v,Rd}$	$F_{v,Ed}/$ $F_{b,Rd}$
1	M24 - 8,8	1	48,4	135,6	119,6	0,36	0,40
2	M24 - 8,8	1	47,7	135,6	119,6	0,35	0,40
3	M20 - 8,8	1	45,8	94,1	117,8	0,49	0,39
4	M20 - 8,8	1	43,3	94,1	117,8	0,46	0,37
5	M20 - 8,8	1	37,1	94,1	117,8	0,39	0,31
6	M20 - 8,8	1	32,5	94,1	117,8	0,35	0,28
7	M16 - 8,8	1	18,4	60,3	96,0	0,30	0,19

### C - Berekening lasverbindingen :

#### Lassen randstaven met flenzen

Max. las spanning :

$$\sigma_{\perp} = \sigma_1 ; \tau_{\perp} = \tau_1 \text{ en } \tau_{\parallel} = \tau_2$$

$$\sigma_1 = \tau_1 = F_{Ed} / \{ (a_1 + a_2) * L_{las} * \text{wortel}(2) \} ; \tau_2 \text{ te verwaarlozen}$$

$F_{Ed}$  = max. druk / trek kracht in de randstaaf of diagonaal staaf

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

$d_{randst/diag.}$  = diameter van de randstaaf / diagonaal staaf

$$\sigma_{Ed} = \{ \sigma_1^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_2^2) \}^{0,5}$$

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

Toetsing regel :

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

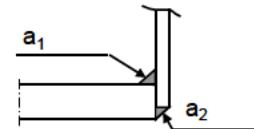
$$f_{w,u,d} = f_{td} / ( \beta * \gamma_M * \text{wortel}(3) )$$

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

Materiaal S 355 ---->  $f_u = 510 \text{ N/mm}^2$  en  $\beta_w = 0,9$

$$f_u / ( \beta_w * \gamma_{M2} ) = 453 \text{ N/mm}^2$$

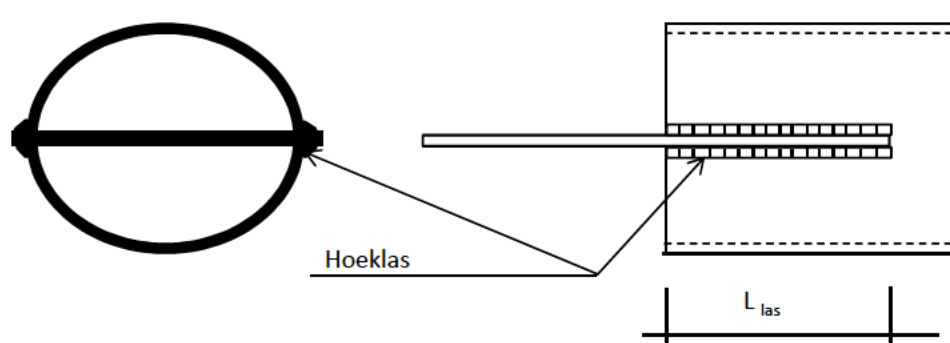
$$0,9 * f_u / \gamma_{M2} = 367 \text{ N/mm}^2$$



#### Randstaven

sectie	$d_{randst.}$ mm	$F_{Ed}$ kN	$a_1$ - boven mm	$a_2$ - onder mm	$\tau_1$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{Ed}$ N/mm <sup>2</sup>	toetsing regel
sectie 1 (o)	219,1	1134,60	7	7	83	167	0,37
sectie 1 (b)	219,1	781,09	7	7	57	115	0,25
sectie 2 (o)	193,7	781,09	6	6	76	151	0,33
sectie 2 (b)	193,7	407,54	6	6	39	79	0,17
sectie 3 (o)	139,7	407,54	6	4	66	131	0,29
sectie 3 (b)	139,7	67,71	6	4	11	22	0,05
sectie 4 (o)	114,3	67,71	6	4	13	27	0,06
4 /top	114,3	12,52	6	4	2	5	0,01

**Lassen schetsplaat aan diagonalen ( sectie 1 t/m 3 - 1 \* schetsplaten):**



$$\tau_2 = F_{E,d} / n * a * L_{las} ; n \text{ is aantal lassen} = 1 * 4 = 4$$

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

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

$$F_{E,d} = 48,4 \text{ kN ( max. optredende kracht)}$$

$$\tau_2 = 50,4 \text{ N/mm}^2 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} = \{ \sigma_1^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_2^2) \}^{0,5} = 87,3 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 87,3 / 360 = 0,24 < 1 ; \text{Voldoet}$$

**Lassen schetsplaat aan diagonalen ( sectie 4 - 1 \* schetsplaten):**

$$\tau_2 = F_{E,d} / n * a * L_{las} ; n \text{ is aantal lassen} = 1 * 4 = 4$$

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

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

$$F_{E,d} = 18,4 \text{ kN ( max. optredende kracht)}$$

$$\tau_2 = 28,0 \text{ N/mm}^2 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} = \{ \sigma_1^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_2^2) \}^{0,5} = 48,5 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 48,5 / 360 = 0,13 < 1 ; \text{Voldoet}$$

**Lassen schetsplaat aan randstaven**

Om praktische redenen : alle lassen hoeklas a = 4 mm rondom

#### 4.5 - Voorspanning bouten van de randstaven

per aansluiting dient voorspankracht:

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

en per bout ;

$$F_{p;d} > F_{t;SLS} / n_{bouten}$$

$$F_{p;c} = 0,7 * f_{ub} * A_s / \gamma_{M7}; \quad \gamma_{M7} = 1,10$$

waarin:

$F_{p;d}$  is de rekenwaarde van de voorspankracht

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

$\beta$  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 ir. L.P. Bouwman - Staalbouwk. Gnootsch.)

$$M_a = k \cdot d \cdot F$$

waarin:

$k$  - een coëfficiënt, afhankelijk van draadwrijving, spiegelwrijving en spoed schroefdraad (voor termisch verzinkte bouten zonder smeermiddel,  $k$  is ca' 0,16 )

$d$  - de boutdiameter

$F$  - de boutkracht ( voorspankracht)

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

sectie	bouten	$F_{t;SLS}$ in kN	$\beta * F_{t;SLS/bout}$ in kN	$F_{p;c, max}$ in kN	$F_{p;d} / bout$ in kN	percent. v.d voersp.	aandraai- mom. ( Nm)
1 (ankers)	M24 - 8,8	653	110,3	179,7	130	72	500
1 en 2	M27 - 8,8	453	105,3	233,7	151	64	650
2 en 3	M24 - 8,8	235	57,9	179,7	130	72	500
3 en 4	M16 - 8,8	36	10,0	79,9	47	58	120
4 en top	M16 - 8,8	5	2,0	79,9	47	58	120

Bij toepassing van de "Nordlockringen"

bouten	$F_{p;d} / bout$ in kN	percent. v.d voersp.	aandraai- mom. ( Nm)
M27-8,8	182	78	786
M24-8,8	140	78	538
M20-8,8	97	78	310
M16- 8,8	62	78	159

Voor aandraaimoment is ervan uitgegaan van verzinkte bouten zonder smeermiddel,  $k = 0,16$ .

#### 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 <sup>2</sup>

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

$$F_{t,Ed} = 2,03 * 1067,7 = 2165 \text{ kN}$$

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

$$\sigma_{beton} = 13,9 \text{ N/mm}^2$$

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

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

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

$$M_{Ed} = 28524 \text{ Nmm/mm}'; \quad V_{z,Ed} = 1044 \text{ N/mm}'$$

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

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

$$M_{s,d} / M_{u,d} = 28524 / 36718,8 = 0,78 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_b = 182,6 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{s,d} / V_{u,d} = 1044 / 3392 = 0,31 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

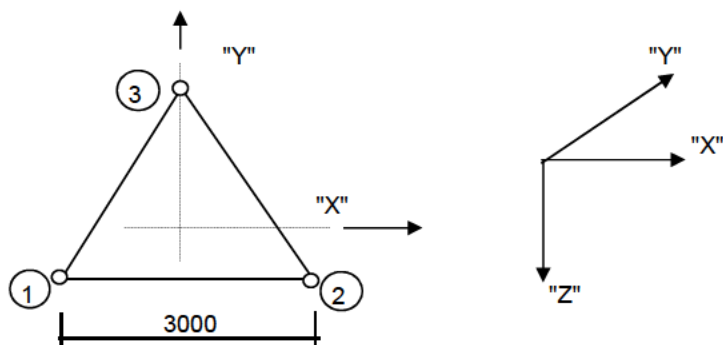
$$\tau_z = 41,8 \text{ N/mm}^2$$

Vergelijkingsspanning :

$$\sigma_{vlg} = 196 \text{ N/mm}^2 < 235 \text{ MPa -- Voldoet}$$



**4.7 - Steunpuntreacties 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	0,77	0,44	-30,64
2	-0,77	0,44	-30,64
3	0,00	-0,88	-30,64
som reacties	0,00	0,00	-91,93
som lasten	0,00	0,00	91,93

**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	-9,80	-5,66	392,08
2	23,37	-31,82	392,08
3	-13,57	-46,14	-784,16
som reacties	0,00	-83,62	0,00
som lasten	0,00	83,62	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	-44,68	-9,18	635,90
2	-23,09	21,64	-635,90
3	-9,63	-12,46	0,00
som reacties	-77,41	0,00	0,00
som lasten	77,41	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	-9,04	-5,22	361,44	-12,88	-7,44	515,20
2	22,60	-31,38	361,44	31,88	-44,06	515,20
3	-13,57	-47,02	-814,80	-19,00	-65,57	-1131,53
som reacties	0,00	-83,62	-91,93	0,00	-117,06	-101,12
som lasten	0,00	83,62	91,93	0,00	117,06	101,12

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	-43,92	-8,74	605,26	-61,71	-12,36	856,55
2	-23,86	22,08	-666,54	-33,17	30,79	-923,97
3	-9,63	-13,35	-30,64	-13,49	-18,42	-33,71
som reacties	-77,41	0,00	-91,93	-108,37	0,00	-101,12
som lasten	77,41	0,00	91,93	108,37	0,00	101,12

## 4.8 - Samenvatting fundatie belastingen

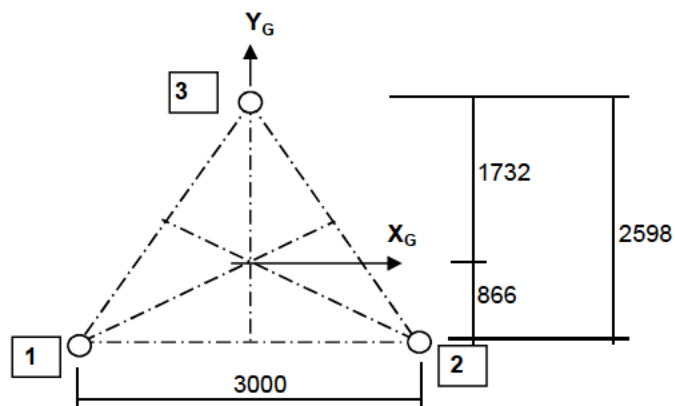
wind in "Y"-richting

	B.C. 1 $\gamma_g=1.0$ , $\gamma_q=1.0$	B.C. 2 $\gamma_g=1.1$ , $\gamma_q=1.4$ $\gamma_g=0.9$ , $\gamma_q=1.4$
Voetmoment	2037 kNm	2852 kNm
Dwarskracht	84 kN	117 kN
Gewicht	92 kN	101 kN
Max. gedrukte voet	-815 kN	-1132 kN
Max. getrokken voet	754 kN	1070 kN

wind in "X"-richting

	B.C. 3 $\gamma_g=1.0$ , $\gamma_q=1.0$	B.C. 4 $\gamma_g=1.1$ , $\gamma_q=1.4$ $\gamma_g=0.9$ , $\gamma_q=1.4$
Voetmoment	1908 kNm	2671 kNm
Dwarskracht	77 kN	108 kN
Gewicht	92 kN	101 kN
Max. gedrukte voet	-667 kN	-924 kN
Max. getrokken voet	605 kN	863 kN

#### 4.9 - Fundatie belastingen in de windgebied I, II en III onbebouwd



Geldigheidsgebied : windgebied I - onbebouwd

Wind in Y - rich.	B.C. 1 $\gamma_g=1.0$ , $\gamma_q=1.0$	B.C. 2 $\gamma_g=1.1$ , $\gamma_q=1.4$	B.C. 3 $\gamma_g=0.9$ , $\gamma_q=1.4$
Voetmoment	2037 kNm	2852 kNm	2852 kNm
Dwarskracht	84 kN	117 kN	117 kN
Gewicht mast	92 kN	101 kN	83 kN
Max. gedrukte voet	815 kN	1132 kN	1125 kN
Max. getrokken voet	754 kN	1064 kN	1070 kN

Wind in X - rich.	B.C. 1 $\gamma_g=1.0$ , $\gamma_q=1.0$	B.C. 2 $\gamma_g=1.1$ , $\gamma_q=1.4$	B.C. 3 $\gamma_g=0.9$ , $\gamma_q=1.4$
Voetmoment	1908 kNm	2671 kNm	2671 kNm
Dwarskracht	77 kN	108 kN	108 kN
Gewicht mast	92 kN	101 kN	83 kN
Max. gedrukte voet	667 kN	924 kN	918 kN
Max. getrokken voet	605 kN	857 kN	863 kN

**Geldigheidsgebied : windgebied II - onbebouwd**

Wind in Y - rich.	B.C. 1 $\gamma_g=1.0$ , $\gamma_q=1.0$	B.C. 2 $\gamma_g=1.1$ , $\gamma_q=1.4$	B.C. 3 $\gamma_g=0,9$ , $\gamma_q=1.4$
Voetmoment	1706 kNm	2389 kNm	2389 kNm
Dwarskracht	70 kN	98 kN	98 kN
Gewicht mast	92 kN	101 kN	83 kN
Max. gedrukte voet	687 kN	953 kN	947 kN
Max. getrokken voet	626 kN	886 kN	892 kN

Wind in X - rich.	B.C. 1 $\gamma_g=1.0$ , $\gamma_q=1.0$	B.C. 2 $\gamma_g=1.1$ , $\gamma_q=1.4$	B.C. 3 $\gamma_g=0,9$ , $\gamma_q=1.4$
Voetmoment	1588 kNm	2223 kNm	2223 kNm
Dwarskracht	64 kN	90 kN	90 kN
Gewicht mast	92 kN	101 kN	83 kN
Max. gedrukte voet	560 kN	775 kN	768 kN
Max. getrokken voet	499 kN	707 kN	713 kN

**Geldigheidsgebied : windgebied III - onbebouwd**

Wind in Y - rich.	B.C. 1 $\gamma_g=1.0$ , $\gamma_q=1.0$	B.C. 2 $\gamma_g=1.1$ , $\gamma_q=1.4$	B.C. 3 $\gamma_g=0,9$ , $\gamma_q=1.4$
Voetmoment	1443 kNm	2020 kNm	2020 kNm
Dwarskracht	59 kN	83 kN	83 kN
Gewicht mast	92 kN	101 kN	83 kN
Max. gedrukte voet	586 kN	811 kN	805 kN
Max. getrokken voet	525 kN	744 kN	750 kN

Wind in X - rich.	B.C. 1 $\gamma_g=1.0$ , $\gamma_q=1.0$	B.C. 2 $\gamma_g=1.1$ , $\gamma_q=1.4$	B.C. 3 $\gamma_g=0,9$ , $\gamma_q=1.4$
Voetmoment	1342 kNm	1878 kNm	1878 kNm
Dwarskracht	54 kN	76 kN	76 kN
Gewicht mast	92 kN	101 kN	83 kN
Max. gedrukte voet	478 kN	660 kN	654 kN
Max. getrokken voet	417 kN	592 kN	598 kN