

Rapport berekening BW80 15-30m ashoogte windturbinemasten

EZDL

[REDACTED]

Eikenlaan 40,

3828 BZ Hoogland

[REDACTED]

[REDACTED]

Datum: 24-11-2022



Behoort bij besluit van
Gemeente Barneveld

Kenmerk: 2025W1324

Datum: 07-05-2026



EZDL	Rapport berekening BW80 15-30m ashoogte windturbinemasten	pagina 2 van 51
-------------	--	-----------------

1 Inhoudsopgave

1	Inhoudsopgave	2
2	Inleiding.....	3
3	Uitgangspunten voor de berekeningen.....	3
4	Uitgevoerde berekeningen.....	4
5	Bijlage Rekenblad mast 30 m IEC klasse 2.....	6
6	Bijlage Rekenblad mast 25 m IEC klasse 2.....	9
7	Bijlage Rekenblad mast 20 m IEC klasse 2.....	12
8	Bijlage Rekenblad mast 15 m IEC klasse 2.....	15
9	Bijlage Tabel Funderingsbelastingen 15m - 30m.....	18
10	Bijlage Olsen 750 rotorblad.....	19
11	Bijlage SIMOTICS Asynchrone Generator.....	25
12	Bijlage FLENDER 85 kW Parallelas tandwielkast	26
13	Bijlage 90kW full power converter.....	27
14	Bijlage Tabel met optimale P-n curve voor 80 kW	29
15	Bijlage Voorbeeld tekening BW80Mast compleet 25mtr-rev1-1.....	29
16	Bijlage Berekening vermoeiingsbelasting volgens NEN 61400-2	32
17	Bijlage Berekening flensverbinding kruilager – topflens mast.....	36
17.1	Data kruilager uit Rothe Erde catalogus	36
17.2	Bijlage Berekening flensverbinding - gondelbodem – lager	37
17.3	Bijlage Berekening flensverbinding lager – topflens mast.....	39
18	Bijlage Berekening flensverbinding voetflens mast - funderingsbuis	40
18.1	Belastingen voetflens voor mast 30 m ashoogte	40
18.2	Berekening voetflens voor 30 m ashoogte	41
19	Petersen Flange Calculation	43
20	Bijlage Berekening slip-joints	48
21	Bijlage Massa's en Traagheidsmoment Gondel en Rotor	51

EZDL	Rapport berekening BW80 15-30m ashoogte windturbinemasten	pagina 3 van 51
-------------	--	-----------------

2 Inleiding

Het bedrijf BestWatt te Barneveld bouwt en verkoopt kleine windturbines voor toepassing bij bedrijven en particulieren.

Dit verslag rapporteert de werkzaamheden uitgevoerd ter bepaling van de mastbelastingen van de BestWatt 80 15-30m, een nieuw windturbineontwerp met een rotordiameter van 16 m en een geïnstalleerd vermogen van 80 kW. De vermogensregeling is gebaseerd op overtrek (stall). De turbine kan geleverd worden met de hier besproken mastontwerpen voor 15 t/m 30m ashoogte.

3 Uitgangspunten voor de berekeningen

1. Een 3 blads rotor gebaseerd op een Olsen 750 rotorblad voor een fixed pitch overtrekturbine met een diameter van 16 m (zie 10 bijlage Olsen windrotor). De rotor is uitgerust met uitsluitend voor beveiligingsdoeleinden toe te passen hydraulisch geactiveerde remtappen. Daarmee wordt de rotor bij $V_{uit} = 25$ m/s tot idling speed gebracht. Zodra de windsnelheid nog verder aanwakkert tot windkracht 10 à 12 wordt de rotor ofwel geblokkeerd ofwel actief uit de wind gekruid ofwel beide.
2. Een gondel met een via een Flender parallels twk aangedreven 90 kW asynchrone generator volgens bijlage SIMOTICS asynchrone generator. Als optie kan de generator uitgevoerd worden met een electromechanisch gelichte rem. Daarmee kan de rotor in extreme storm geblokkeerd worden. Als deze niet toegepast wordt dan moet de rotor actief of passief kruiend uit de wind gehouden worden. Een actief kruisysteem dient daarbij ook te functioneren bij netuitval (bijv. dmv een UPS).
3. Een 90 kW full power converter waarmee de turbine in variabel toerenbedrijf bedreven kan worden en energie aan het 400 V 50/60 Hz AC net kan leveren. Als maximum generatortoerental tijdens bedrijf wordt een waarde geprogrammeerd die overeenkomt met een rotortoerental van 67 rpm (zie 4 Uitgevoerde berekeningen). Dit toerental bepaalt het maximale overtrekvermogen van de rotor (plm. 90 kW mechanisch). Een lager toerental levert een lager overtrekvermogen (bijv. 50 a 60 kW mechanisch bij 55 rpm). Het maximumrendement van de omvormer wordt geschat op 95% (zie 13 bijlage Full power converter).
4. Het totaalrendement van de drive train is zodoende maximaal $\eta_{twk} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{omvormer} = 0.94 \cdot 0.955 \cdot 0.95 = 0.85$. Deze waarde is gebruikt in de berekening van de P-n kromme (zie 14 bijlage P-n kromme voor 80 kW).
5. Een 15-30 m conische 12-zijdige toren van het fabrikaat MITAS De hoofdafmetingen van de toren worden in dit rapport bepaald (6 Bijlage Rekenblad mast 25 m en 15 Bijlage Voorbeeld tekening BW80Mast compleet 25mtr-rev1-1).

4 Uitgevoerde berekeningen

Door Olsen is een datablad met performancegegevens geleverd voor een rotor met 200 m² bestreken oppervlak. Uit fig. 1 van deze data volgt dat de rotor op $TSR = 7$ tot 8 op maximum $C_P = 0.45$ draait. Uit Fig. 2 kan vervolgens geconcludeerd worden dat de rotor daarop draait met tipsnelheid 55 m/s (de grijze curve).

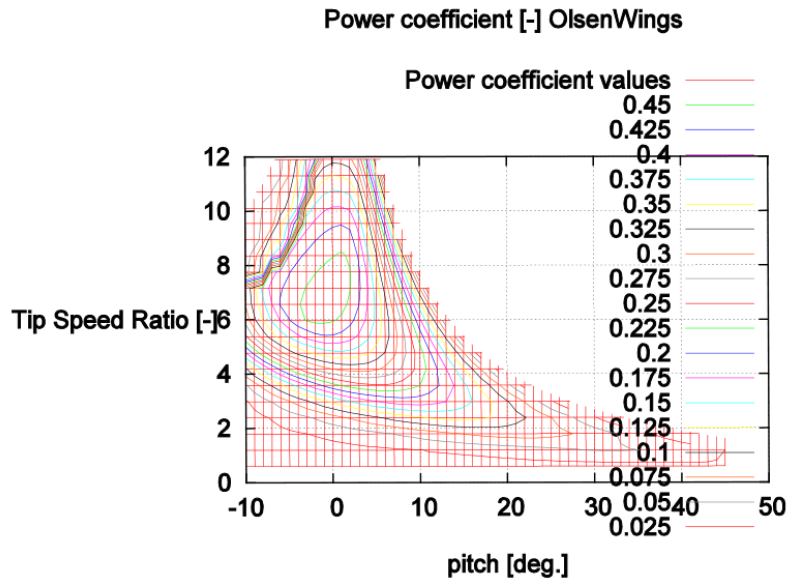


Figure 1 Contour plot of the mechanical power coefficient as a function of both tip speed ratio and pitch setting.

1.

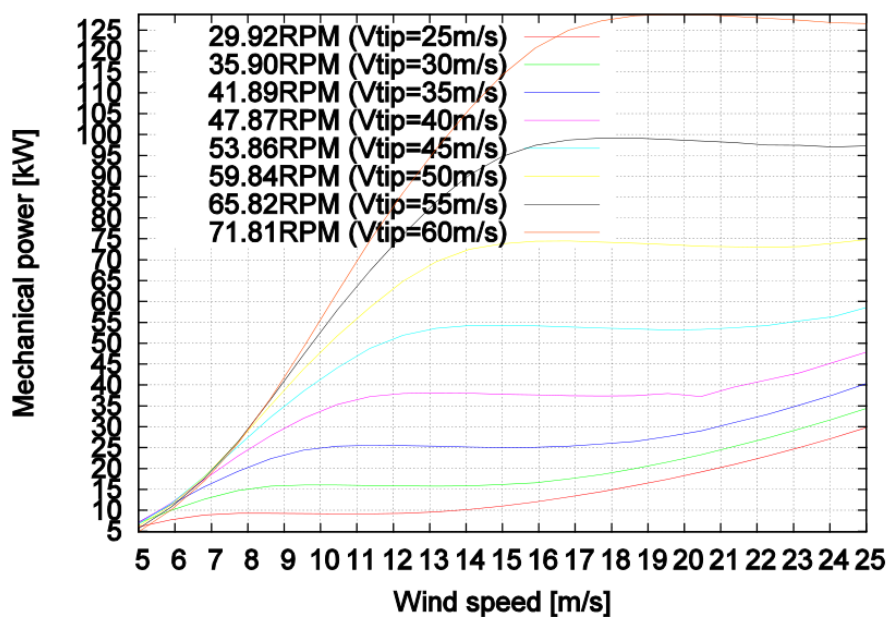
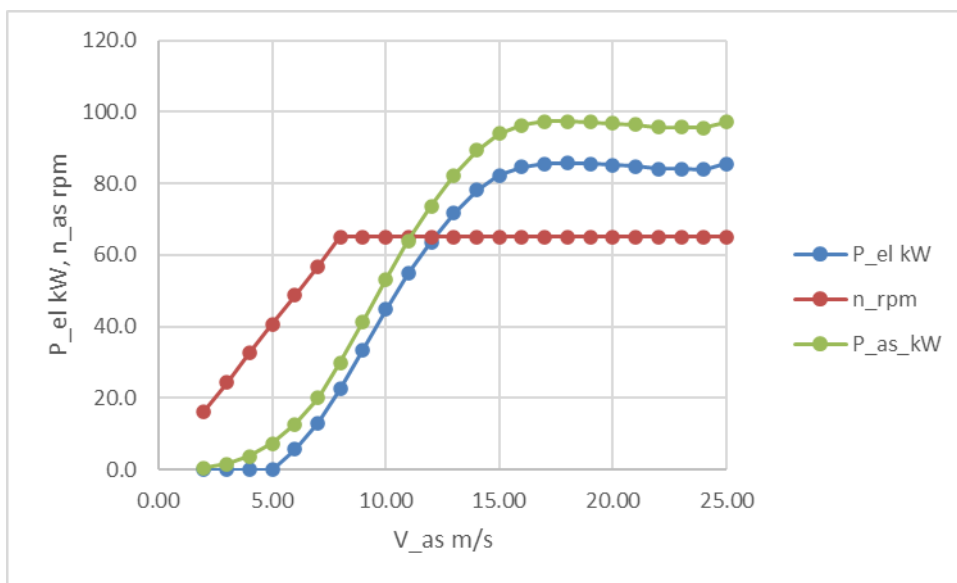


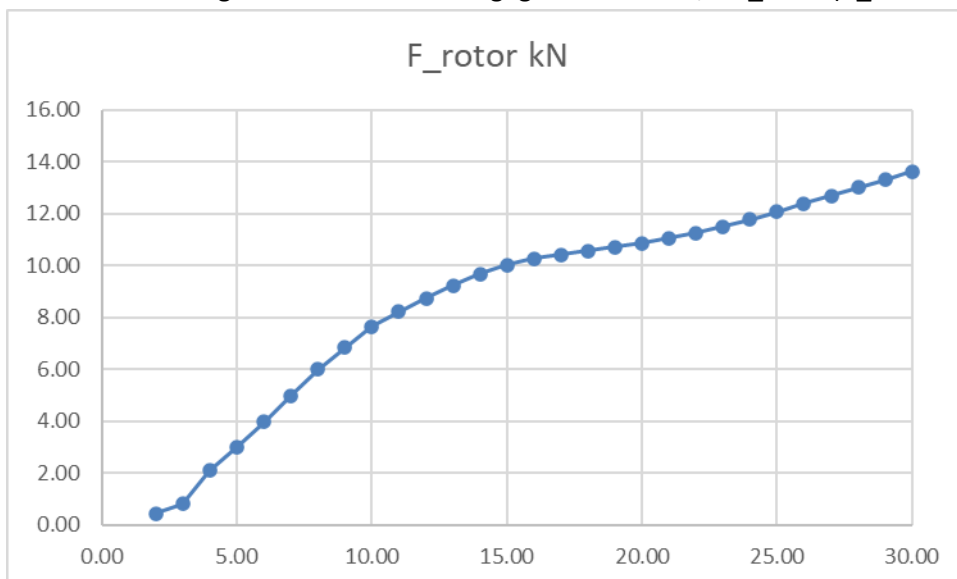
Figure 2 Power as a function of wind speed for different rotational speeds

De tipradius is 7.979 m en met de tipsnelheid 55 m/s volgt het rotortoerental 65.8 rpm. Met een overbrengverhouding van de tandwielkast van 22.271 wordt als generatortoerental 1466 rpm gevonden. Dat kan met een 4 polige (synchroon toerental 1500 rpm aan het 50 Hz net) bedreven worden. In de 11 bijlage SIMOTICS Asynchrone generator is een datablad van dit generatortype toegevoegd.

De 65 rpm Olsen PV curves met pitchhoek 0 graden zijn gebruikt om de 85 kW PV curve te berekenen dmv. extrapolatie. Tevens is het toerenverloop weergegeven. Op 8 m/s wordt het nominaal toerental bereikt. Tot 8 m/s is het toerental evenredig met de windsnelheid, waardoor de rotor draait op maximaal aërodynamisch rendement $CP = 0.45$ met $TSR = 7.8$.



De axiale kracht op de rotor bij het uitschakelen van de turbine als $V_{uit} > 25$ m/s is tevens uit de Olsen data verkregen en hieronder weergegeven tot 30 m/s. F_{rotor} ($V_{hub} = 30$ m/s) = 13.6 kN.



Tevens is de axiale rotorkracht bij stilstaande rotor berekend onder de extreme omstandigheden van het belastinggeval Parkeren bij Extreme Storm volgens IEC klasse 2 en 3, zie bijlage 9.

Met deze gegevens zijn berekeningen gedaan aan de turbine op de mast met een speciaal rekenblad waarmee het voermoment van de mast berekend is voor ashoogtes 15, 20, 25 en 30 m. Deze zijn samengevat in een tabel fundatiebelastingen (9 Bijlage Tabel Funderingsbelastingen 15m - 30m), waarin ook de torentopbelastingen staan (alles met en zonder belastingfactor).

5 Bijlage Rekenblad mast 30 m IEC klasse 2

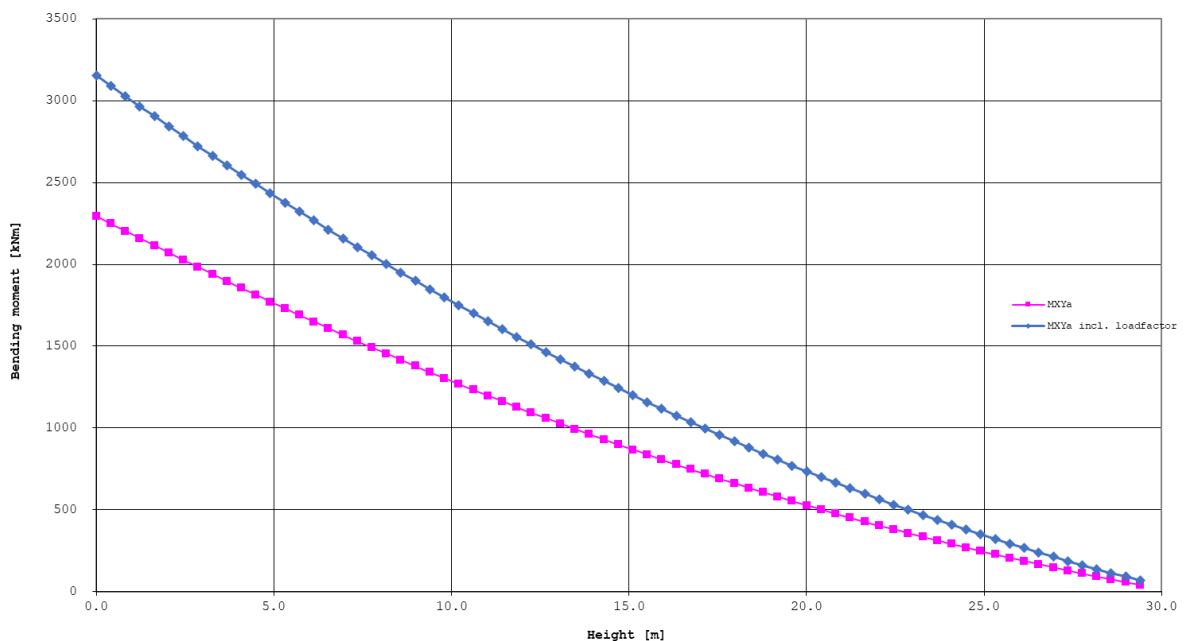
Extreme Loads Calculation Tower

General inputs

Date: 23-08-22

Wind turbine	BW80-30m HubHeight tower		Wind regime	61400-2(ed1.0) Sa
Load case	Extreme tower bending moment			small wind turbin
Filename:	T30m-BW80-R2.xls		NEN	1
Consequence of failure or Dynamic Ampl. Fac	1.00		IEC_class	2
Load factor wind gFa	1.35 (NVN/IEC)			
Load factor gravity	1.10 force	0.9 moment (IEC)		
Material factor gM	1.10 (IEC/NVN)		GL	0
Re_16	355 MPa	S355JR	DiBt	1
Re_40	340 MPa	S355JR		
dH_torentop	0.604 ashelling is 5 graden	2nd mode		
Inputs for extreme loads calculat:f_v/a	1 achter/voor (+1/-) routine			
MXYa_H	24.91 FXYaHtemp	41.26 MYGHtemp	26.97	
V_Hub	59.5 m/s	A_hub+nac	0.95 m2 (r_hub=0.485)	
H_hub	30.0 m	CD_hub+nac	1.4 -	1.4
FXYa_H	41.26 kN	G_nac	18.20 kN	(pos) 0
FZR_H	-26.39 kN	L_nac	0.67 m	
MXYa_H	24.91 kNm	G_rot	8.19 kN	
H_high	29.40 m	L_rot	1.80 m	tower top moment 51.88 [kNm] 29.4 [m]
H_low	0.00 m	MYG_H	26.97 kNm	tower half moment 909.89 [kNm] 14.7 [m]
D_high	0.849 m	A_blades	11.54 m2	tower foot moment 2306.02 [kNm] 0.0 [m]
D_low	1.470 m	CD_blades	1.50 bij stilstand	Polynom const1: 1.245 1.50
M0	0.0221 m/m	CD_tower	1.20 met Reynolds < 1	Polynom const2: -113.29 1.20
M1	0.0221 m/m	rho_Fe	9025 kg/m3	Polynom const3: 2306
M2	0.0221 m/m	z_0	0.03 m	
step	0.408 m			

BW80-30m extreme tower bending moment



Extreme loads calculation (stresses include load factor but no material factor)

[m]	[m]	[m]	[m]	[m^2]	[m^3]	[m/s]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[--]
H	D_u	D_m	t	A	W	V	FXa	FZg	MXy_a	MYx_a	R_E	S_b	S_t	SRF
29.40	0.849	0.828	0.006	0.016	0.003	59.4	41.26	-26.39	52	52	355	22.19	-1.86	13.42
28.99	0.858	0.837	0.006	0.016	0.003	59.3	42.15	-26.96	69	68	355	28.82	-1.88	10.51
28.58	0.867	0.846	0.006	0.016	0.003	59.2	43.06	-27.54	86	85	355	35.02	-1.90	8.74
28.17	0.876	0.855	0.006	0.016	0.003	59.1	43.97	-28.12	104	103	355	41.28	-1.92	7.47
27.76	0.885	0.864	0.006	0.016	0.003	59.0	44.89	-28.71	122	121	355	47.44	-1.94	6.54
27.35	0.894	0.873	0.006	0.016	0.004	58.9	45.81	-29.30	140	139	355	53.50	-1.96	5.82
26.95	0.903	0.882	0.006	0.017	0.004	58.8	46.74	-29.90	159	158	355	59.46	-1.98	5.25
26.54	0.912	0.890	0.006	0.017	0.004	58.7	47.68	-30.51	178	177	355	65.33	-2.00	4.79
26.13	0.921	0.899	0.006	0.017	0.004	58.6	48.62	-31.12	198	196	355	71.11	-2.02	4.41
25.72	0.930	0.908	0.006	0.017	0.004	58.5	49.57	-31.74	218	216	355	76.80	-2.04	4.09
25.31	0.939	0.917	0.006	0.017	0.004	58.4	50.52	-32.37	238	236	355	82.40	-2.06	3.82
24.91	0.948	0.926	0.006	0.017	0.004	58.3	51.48	-33.00	259	257	355	87.91	-2.08	3.59
24.50	0.957	0.935	0.006	0.018	0.004	58.2	52.45	-33.63	280	278	355	93.34	-2.10	3.38
24.09	0.966	0.944	0.006	0.018	0.004	58.1	53.42	-34.28	302	300	355	98.69	-2.12	3.20
23.68	0.975	0.953	0.006	0.018	0.004	58.0	54.40	-34.93	324	322	355	103.96	-2.14	3.04
23.27	0.984	0.961	0.006	0.018	0.004	57.9	55.38	-35.58	346	344	355	109.15	-2.16	2.90
22.86	0.993	0.970	0.006	0.018	0.004	57.7	56.37	-36.24	369	367	355	114.26	-2.18	2.77
22.46	1.002	0.979	0.006	0.018	0.004	57.6	57.36	-36.91	392	390	355	119.29	-2.20	2.66
22.05	1.011	0.988	0.006	0.019	0.004	57.5	58.36	-37.58	415	414	355	124.25	-2.22	2.55
21.64	1.020	0.997	0.006	0.019	0.005	57.4	59.37	-38.26	439	438	355	129.14	-2.24	2.46
21.23	1.029	1.006	0.006	0.019	0.005	57.3	60.37	-38.95	464	462	355	133.95	-2.26	2.37
20.82	1.038	1.015	0.006	0.019	0.005	57.2	61.39	-39.64	488	487	355	138.70	-2.28	2.29
20.41	1.047	1.023	0.006	0.019	0.005	57.0	62.40	-40.33	513	512	355	143.38	-2.30	2.22
20.01	1.056	1.024	0.014	0.045	0.011	56.9	63.42	-41.96	539	538	355	147.92	-2.32	2.16
19.60	1.065	1.033	0.014	0.045	0.011	56.8	64.44	-43.61	565	564	355	152.33	-2.34	2.10
19.19	1.074	1.042	0.014	0.046	0.012	56.6	65.46	-45.26	591	591	355	156.60	-2.36	2.04
18.78	1.083	1.051	0.014	0.046	0.012	56.5	66.49	-46.93	618	618	355	160.83	-2.38	1.98
18.37	1.092	1.060	0.014	0.047	0.012	56.4	67.52	-48.62	646	645	355	165.03	-2.40	1.92
17.96	1.089	1.057	0.014	0.046	0.012	56.2	68.54	-50.30	673	673	355	169.19	-2.42	1.86
17.56	1.098	1.072	0.008	0.027	0.007	56.1	69.57	-51.97	701	701	355	173.31	-2.44	1.80
17.15	1.107	1.081	0.008	0.027	0.007	55.9	70.61	-52.25	730	730	355	177.39	-2.46	1.74
16.74	1.116	1.089	0.008	0.027	0.007	55.8	71.64	-53.24	759	759	355	181.43	-2.48	1.68
16.33	1.125	1.098	0.008	0.028	0.007	55.7	72.68	-54.24	788	788	355	185.43	-2.50	1.62
15.92	1.134	1.107	0.008	0.028	0.008	55.5	73.73	-55.25	818	818	355	189.39	-2.52	1.56
15.51	1.143	1.116	0.008	0.028	0.008	55.3	74.77	-56.26	848	848	355	193.31	-2.54	1.50
15.11	1.152	1.125	0.008	0.028	0.008	55.2	75.82	-57.28	879	879	355	197.19	-2.56	1.44
14.70	1.162	1.134	0.008	0.028	0.008	55.0	76.87	-58.31	910	910	355	201.03	-2.58	1.38
14.29	1.171	1.143	0.008	0.029	0.008	54.8	77.92	-59.35	941	941	355	204.83	-2.60	1.32
13.88	1.180	1.151	0.008	0.029	0.008	54.7	78.97	-60.40	973	973	355	208.59	-2.62	1.26
13.47	1.189	1.160	0.008	0.029	0.008	54.5	80.03	-61.45	1006	1006	355	212.31	-2.64	1.20
13.07	1.198	1.169	0.008	0.029	0.008	54.3	81.08	-62.51	1038	1038	355	216.00	-2.66	1.14
12.66	1.207	1.178	0.008	0.030	0.009	54.1	82.14	-63.58	1072	1072	355	219.66	-2.68	1.08
12.25	1.216	1.187	0.008	0.030	0.009	53.9	83.19	-64.66	1105	1105	355	223.29	-2.70	1.02
11.84	1.225	1.196	0.008	0.030	0.009	53.7	84.25	-65.75	1139	1139	355	226.89	-2.72	0.96
11.43	1.234	1.193	0.020	0.075	0.022	53.5	85.30	-66.84	1174	1174	340	230.46	-2.74	0.90
11.02	1.243	1.201	0.020	0.075	0.022	53.3	86.35	-67.91	1209	1208	340	234.00	-2.76	0.84
10.62	1.252	1.210	0.020	0.076	0.022	53.1	87.39	-69.00	1244	1244	340	237.51	-2.78	0.78
10.21	1.261	1.219	0.020	0.077	0.023	52.8	88.44	-70.10	1280	1279	340	241.00	-2.80	0.72
9.80	1.270	1.228	0.020	0.077	0.023	52.6	89.48	-71.21	1316	1315	340	244.46	-2.82	0.66
9.39	1.279	1.237	0.020	0.078	0.023	52.4	90.52	-72.33	1353	1352	340	247.89	-2.84	0.60
8.98	1.272	1.238	0.012	0.047	0.014	52.1	91.55	-73.46	1390	1389	355	251.29	-2.86	0.54
8.57	1.281	1.247	0.012	0.047	0.014	51.8	92.58	-74.60	1427	1426	355	254.66	-2.88	0.48
8.17	1.290	1.256	0.012	0.047	0.014	51.6	93.60	-75.74	1465	1464	355	258.00	-2.90	0.42
7.76	1.299	1.265	0.012	0.048	0.015	51.3	94.62	-76.89	1504	1502	355	261.31	-2.92	0.36
7.35	1.308	1.274	0.012	0.048	0.015	51.0	95.64	-78.06	1542	1541	355	264.59	-2.94	0.30
6.94	1.317	1.282	0.012	0.048	0.015	50.7	96.65	-79.21	1581	1580	355	267.84	-2.96	0.24
6.53	1.326	1.291	0.012	0.049	0.015	50.3	97.65	-80.37	1621	1619	355	271.07	-2.98	0.18
6.12	1.335	1.300	0.012	0.049	0.016	50.0	98.65	-81.54	1661	1659	355	274.27	-3.00	0.12
5.72	1.344	1.309	0.012	0.049	0.016	49.6	99.64	-82.72	1701	1699	355	277.44	-3.02	0.06
5.31	1.353	1.318	0.012	0.050	0.016	49.2	100.62	-83.91	1742	1740	355	280.59	-3.04	0.00
4.90	1.362	1.327	0.012	0.050	0.016	48.7	101.59	-85.11	1783	1781	355	283.72	-3.06	-0.06
4.49	1.371	1.336	0.012	0.050	0.016	48.3	102.55	-86.33	1825	1822	355	286.83	-3.08	-0.12
4.08	1.380	1.344	0.012	0.051	0.017	47.8	103.50	-87.56	1867	1864	355	289.92	-3.10	-0.18
3.67	1.389	1.353	0.012	0.051	0.017	47.2	104.43	-88.80	1909	1907	355	293.00	-3.12	-0.24
3.27	1.398	1.362	0.012	0.051	0.017	46.6	105.34	-90.05	1952	1949	355	296.07	-3.14	-0.30
2.86	1.407	1.371	0.012	0.052	0.017	45.9	106.24	-91.31	1995	1992	355	299.13	-3.16	-0.36
2.45	1.416	1.380	0.012	0.052	0.017	45.2	107.12	-92.58	2038	2036	355	302.18	-3.18	-0.42
2.04	1.425	1.389	0.012	0.052	0.018	44.3	107.96	-93.86	2082	2080	355	305.22	-3.20	-0.48
1.63	1.434	1.398	0.012	0.053	0.018	43.2	108.78	-95.16	2126	2124	355	308.25	-3.22	-0.54
1.22	1.443	1.406	0.012	0.053	0.018	41.9	109.56	-96.47	2171	2169	355	311.27	-3.24	-0.60
0.82	1.452	1.415	0.012	0.053	0.018	40.0	110.28	-97.79	2216	2214	355	314.28	-3.26	-0.66
0.41	1.461	1.424	0.012	0.054	0.019	37.1	110.93	-99.12	2261	2260	355	317.28	-3.28	-0.72
0.00	1.470	1.433	0.012	0.054	0.019	37.1	111.53	-100.46	2306	2306	355	320.27	-3.30	-0.78

SRF	H	t	SCF(h)	SRF_cor	Beschrijving	SCF
1.76	2.45	0.012	1.60	1.10	mastopening schouder bovenaan	
1.75	2.04	0.012	1.35	1.29	voetflens tgv mastopening strip	
1.73	1.63	0.012	1.25	1.38	mastopening strip	
1.71	1.22	0.012	1.15	1.49	mastopening strip	
1.70	0.82	0.012	1.05	1.62	mastopening strip	
1.68	0.41	0.012	1.10	1.53	golving tgv afstand tot ankerbout	
1.67	0.00	0.012	1.30	1.28	golving tgv afstand tot ankerbout plus mastopening	

Alle SRF's zijn groter dan 1, de 30 m ashoogte mast voldoet voor IEC klasse 2.

m_hub	400	kg	Toerental
mr2_blade	886.5	kgm2	passage f_2nd
J_rotor	3318.1	kgm2	41
K_2nd	5.84E+07	Nm/rad	rpm 2nd mode
f_2nd	2.04	Hz	afstand (>10%)
J_total	354428.5	kgm2	0.63
m_nac	1855	kg	
m_rot	835	kg	65 rpm OK
E	2.10E+11	Pa	
f_drop	10	%	Toerental
m_twr_tot	10313.4	kg	passage f_1st
CR	4.00E+08	Nm/rad	59
CR_rec	7.76E+08	Nm/rad	rpm 1st mode
m_twr_eq	984	kg	(flew>afstand (>10%)
	17.1	%	(flew> 0.90
f_stiff	1.181	Hz	
u_stiff	4.94E-06	m	65 rpm OK
f_flex	0.979	Hz	
u_flex	7.19E-06	m	

Frequentieanalyse

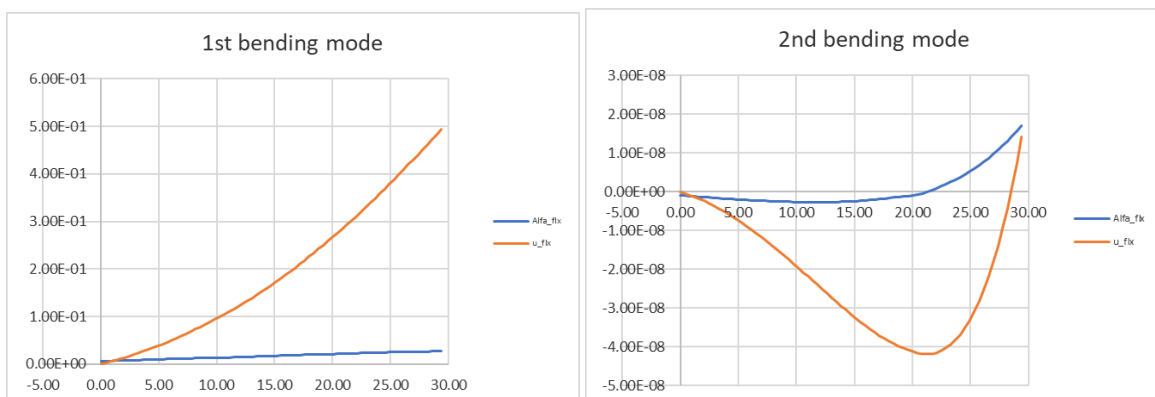
De eerste buigfrequentie ontstaat door de buigbalk die de mast is met de gondelmassa inclusief de rotor er bovenop volgens het principe $w_0 = \sqrt{K/m}$ rad/s met K de stijfheid van een veer in N/m en m de trillende massa aan het eind van de veer in kg. De tweede buigfrequentie ontstaat door de rotatie van het massa traagheidsmoment J in kgm2 van de gondel met de rotor om het zwpt.

De 1P aanstootfrequentie van de rotor (onbalans) passeert bij 59 rpm (het resonantietoerental) de eerste buigfrequentie $f_{flex} = 0.979$ Hz van de mast. Bij het ontwerp toerental van 65 rpm is de afstand tot het resonantietoerental voldoende groot ($59/65=0.90$ ofwel 10%).

De 3P aanstootfrequentie van de rotor (bladpassage en windshear) passeert bij 41 rpm de tweede buigfrequentie van de mast. Bij het ontwerp toerental van 65 rpm is de afstand tot het resonantietoerental $41/65=0.63$ ofwel 37%.

Wel is het mogelijk dat er trillingen optreden als de turbine lang op 41 rpm blijft draaien tgv een constante lage windsnelheid. In dat geval wordt aangeraden de P-n curve te modificeren met een knik waardoor het resonantietoerental zowel bij toenemende als bij afnemende wind snel gepasseerd wordt.

Variatie in de funderingsstijfheid kan ook aanleiding geven tot trillingsproblemen maar iha. zijn deze te vermijden met fine-tuning van het rotortoerental.



6 Bijlage Rekenblad mast 25 m IEC klasse 2

Extreme Loads Calculation Tower

General inputs

Wind turbine

toren

ref.

Load case

Filename:

Consequence of failure or Dynamic Ampl. Fac

Load factor wind gFa

Load factor gravity

Material factor gM

Re_16

Re_40

dH_torento 0.604 ashelling is 5 graden

Inputs for extreme loads calculat:f_a/v 1

MXYa_Htemp 24.91 FXYaHtemp 41.26

V_Hub 59.5 m/s A_hub+nac 0.95 m2 (r_hub=0.410)

H_hub 25.0 m Cd_hub+nac 1.4 - 1.4

FXYa_H 41.26 kN G_nac 18.20 kN (pos)

FZR_H -26.39 kN L_nac 0.67 m

MXYa_H 24.91 kNm G_rot 8.19 kN (pos)

H_high 24.40 m L_rot 1.80 m tower top moment 24.91 [kNm] 24.4 [m]

H_low 0.00 m MYG_H 0.00 kNm tower half moment 701.97 [kNm] 12.2 [m]

D_high 0.849 m A_blades 11.54 m2 tower foot moment 1753.99 [kNm] 0.0 [m]

D_low 1.470 m CD_blades 1.50 bij stilstand Polynom const1: 1.260 1.50

M0 0.0274 m/m CD_tower 1.20 met Reynolds < 1 Polynom const2: -101.61 1.20

M1 0.0274 m/m rho_Fe 9025 kg/m3 Polynom const3: 1754

M2 0.0274 m/m z_0 0.03 m

step 0.339 m 1.57 89.21

BW80

BW80 25m HubHeight tower

ontwerp van BestWatt volgens tek. 35640-rev.3

Extreme tower bending moment

T25m-BW80.xls

1.00

1.35 (NVN/IEC)

1.10 force

1.10 (IEC/NVN)

355 MPa S355JR

340 MPa S355JR

Date: 03-06-22

Wind regime

61400-2[ed1.0] Safe

small wind turbines

NEW

IEC_class

1

2

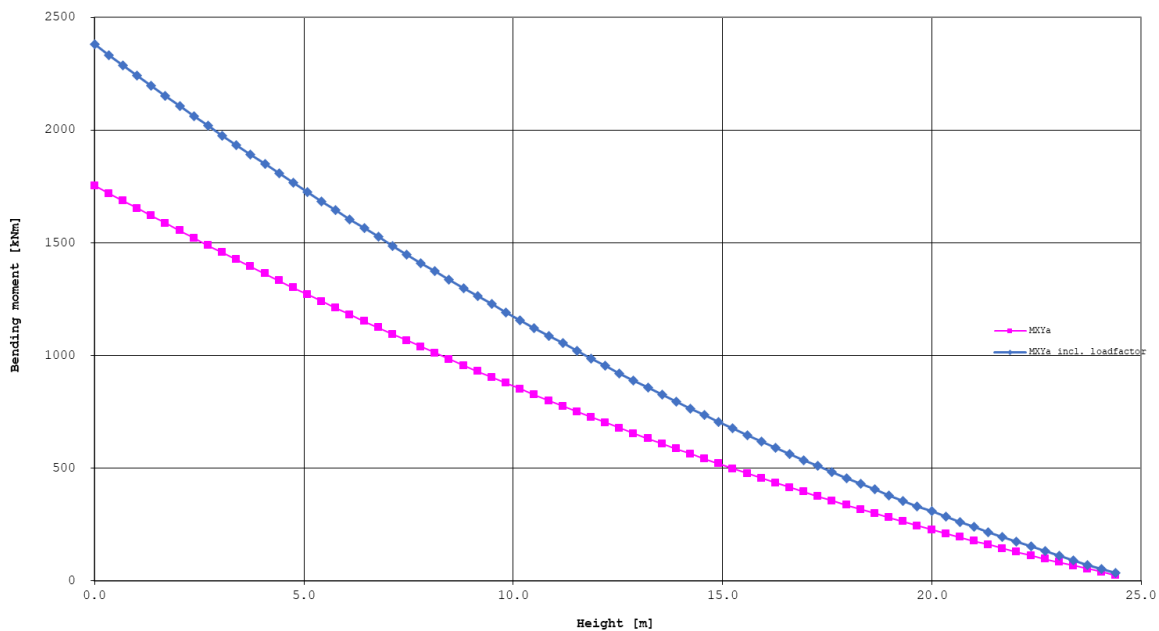
GL

DiBt

0

1

BW80-25m extreme tower bending moment



Extreme loads calculation (stresses include load factor but no material factor)

[m] H	[m] D_u	[m] D_m	[m] t	[m^2] A	[m^3] W	[m/s] V	[kN] FXa	[kN] FZg	[kNm] MXY_a	[kNm] MXY_a	[MPa] R_E	[MPa] S_b	[MPa] S_t	[--] SRF
24.40	0.849	0.828	0.006	0.016	0.003	59.3	41.26	-26.39	25	25	355	10.65	-1.86	25.79
24.06	0.858	0.838	0.006	0.016	0.003	59.2	42.00	-26.86	39	39	355	16.30	-1.87	17.76
23.72	0.867	0.847	0.006	0.016	0.003	59.2	42.75	-27.34	53	53	355	21.57	-1.88	13.76
23.38	0.877	0.856	0.006	0.016	0.003	59.1	43.51	-27.83	68	67	355	26.85	-1.90	11.23
23.04	0.886	0.865	0.006	0.016	0.003	59.0	44.27	-28.31	83	82	355	32.01	-1.91	9.51
22.70	0.895	0.874	0.006	0.016	0.004	58.9	45.04	-28.81	98	97	355	37.07	-1.92	8.28
22.36	0.905	0.883	0.006	0.017	0.004	58.8	45.81	-29.31	113	112	355	42.02	-1.94	7.34
22.02	0.914	0.892	0.006	0.017	0.004	58.7	46.59	-29.81	129	127	355	46.86	-1.95	6.61
21.69	0.923	0.902	0.006	0.017	0.004	58.6	47.37	-30.32	144	143	355	51.61	-1.96	6.02
21.35	0.933	0.911	0.006	0.017	0.004	58.5	48.16	-30.84	161	159	355	56.25	-1.98	5.54
21.01	0.942	0.920	0.006	0.017	0.004	58.4	48.95	-31.36	177	175	355	60.81	-1.99	5.14
20.67	0.951	0.929	0.006	0.018	0.004	58.3	49.75	-31.88	194	192	355	65.27	-2.00	4.80
20.33	0.960	0.938	0.006	0.018	0.004	58.2	50.56	-32.41	211	209	355	69.64	-2.02	4.50
19.99	0.970	0.947	0.006	0.018	0.004	58.1	51.36	-32.95	228	226	355	73.93	-2.03	4.25
19.65	0.979	0.956	0.006	0.018	0.004	57.9	52.18	-33.49	245	244	355	78.13	-2.04	4.03
19.31	0.988	0.965	0.006	0.018	0.004	57.8	53.00	-34.04	263	261	355	82.25	-2.06	3.83
18.97	0.998	0.975	0.006	0.018	0.004	57.7	53.82	-34.59	281	280	355	86.30	-2.07	3.65
18.64	1.007	0.984	0.006	0.019	0.004	57.6	54.65	-35.14	299	298	355	90.26	-2.08	3.49
18.30	1.016	0.993	0.006	0.019	0.005	57.5	55.48	-35.70	318	317	355	94.15	-2.10	3.35
17.96	1.025	1.002	0.006	0.019	0.005	57.4	56.31	-36.27	337	336	355	97.97	-2.11	3.22
17.62	1.035	1.011	0.006	0.019	0.005	57.3	57.16	-36.84	356	355	355	101.72	-2.13	3.11
17.28	1.044	1.020	0.006	0.019	0.005	57.1	58.00	-37.42	375	374	355	105.41	-2.14	3.00
16.94	1.053	1.029	0.006	0.019	0.005	57.0	58.85	-38.00	395	394	355	109.02	-2.15	2.90
16.60	1.063	1.039	0.006	0.020	0.005	56.9	59.70	-38.59	415	414	355	112.57	-2.17	2.81
16.26	1.072	1.048	0.006	0.020	0.005	56.8	60.56	-39.18	435	435	355	116.06	-2.18	2.73
15.93	1.081	1.057	0.006	0.020	0.005	56.6	61.41	-39.78	456	455	355	119.48	-2.20	2.65
15.59	1.091	1.066	0.006	0.020	0.005	56.5	62.28	-40.38	477	476	355	122.85	-2.21	2.58
15.25	1.100	1.067	0.014	0.047	0.012	56.4	63.14	-41.79	498	498	355	55.29	-0.98	5.74
14.91	1.109	1.076	0.014	0.047	0.012	56.2	64.00	-43.21	520	519	355	56.71	-1.00	5.59
14.57	1.118	1.085	0.014	0.048	0.013	56.1	64.87	-44.64	541	541	355	58.09	-1.03	5.46
14.23	1.128	1.095	0.014	0.048	0.013	55.9	65.74	-46.09	563	563	355	59.46	-1.05	5.33
13.89	1.137	1.104	0.014	0.049	0.013	55.8	66.61	-47.54	586	586	355	60.80	-1.08	5.22
13.55	1.146	1.113	0.014	0.049	0.013	55.6	67.48	-49.01	608	608	355	62.12	-1.10	5.10
13.21	1.144	1.116	0.008	0.028	0.008	55.5	68.36	-49.85	631	631	355	111.55	-1.95	2.84
12.88	1.153	1.125	0.008	0.028	0.008	55.3	69.23	-50.70	655	655	355	113.79	-1.97	2.79
12.54	1.162	1.134	0.008	0.029	0.008	55.1	70.11	-51.56	678	678	355	115.99	-1.99	2.74
12.20	1.172	1.144	0.008	0.029	0.008	55.0	70.98	-52.42	702	702	355	118.16	-2.01	2.69
11.86	1.181	1.153	0.008	0.029	0.008	54.8	71.86	-53.29	726	726	355	120.29	-2.02	2.64
11.52	1.190	1.162	0.008	0.029	0.008	54.6	72.74	-54.16	751	751	355	122.38	-2.04	2.59
11.18	1.199	1.171	0.008	0.029	0.008	54.5	73.63	-55.05	775	775	355	124.45	-2.06	2.55
10.84	1.209	1.180	0.008	0.030	0.009	54.3	74.51	-55.94	800	800	355	126.47	-2.07	2.51
10.50	1.218	1.189	0.008	0.030	0.009	54.1	75.39	-56.83	826	826	355	128.47	-2.09	2.47
10.17	1.227	1.198	0.008	0.030	0.009	53.9	76.28	-57.74	851	851	355	130.44	-2.11	2.43
9.83	1.237	1.207	0.008	0.030	0.009	53.7	77.16	-58.65	877	877	355	132.37	-2.13	2.40
9.49	1.246	1.217	0.008	0.031	0.009	53.5	78.05	-59.56	903	903	355	134.28	-2.14	2.37
9.15	1.255	1.226	0.008	0.031	0.009	53.3	78.93	-60.49	930	930	355	136.15	-2.16	2.33
8.81	1.264	1.235	0.008	0.031	0.009	53.1	79.81	-61.42	957	957	355	138.00	-2.18	2.30
8.47	1.274	1.244	0.008	0.031	0.009	52.8	80.70	-62.36	984	984	355	139.82	-2.19	2.27
8.13	1.283	1.253	0.008	0.031	0.010	52.6	81.58	-63.30	1011	1011	355	141.61	-2.21	2.24
7.79	1.292	1.262	0.008	0.032	0.010	52.3	82.46	-64.25	1039	1039	355	143.38	-2.23	2.22
7.45	1.302	1.271	0.008	0.032	0.010	52.1	83.33	-65.21	1067	1067	355	145.12	-2.24	2.19
7.12	1.311	1.281	0.008	0.032	0.010	51.8	84.21	-66.18	1095	1095	355	146.83	-2.26	2.16
6.78	1.320	1.290	0.008	0.032	0.010	51.5	85.08	-67.15	1124	1123	355	148.52	-2.28	2.14
6.44	1.330	1.299	0.008	0.033	0.010	51.3	85.95	-68.13	1153	1152	355	150.19	-2.30	2.12
6.10	1.339	1.298	0.018	0.073	0.023	50.9	86.81	-70.33	1182	1181	355	69.05	-1.05	4.60
5.76	1.348	1.307	0.018	0.074	0.023	50.6	87.67	-72.55	1211	1210	340	69.77	-1.08	4.36
5.42	1.357	1.316	0.018	0.074	0.024	50.3	88.52	-74.78	1241	1240	340	70.49	-1.11	4.32
5.08	1.367	1.325	0.018	0.075	0.024	49.9	89.36	-77.03	1271	1270	340	71.19	-1.13	4.27
4.74	1.376	1.335	0.018	0.075	0.024	49.6	90.19	-79.29	1302	1300	340	71.89	-1.16	4.23
4.40	1.385	1.344	0.018	0.076	0.025	49.2	91.02	-81.57	1332	1331	340	72.57	-1.18	4.19
4.07	1.395	1.353	0.018	0.076	0.025	48.7	91.84	-83.87	1363	1362	340	73.24	-1.21	4.15
3.73	1.388	1.354	0.010	0.043	0.014	48.3	92.65	-85.14	1394	1393	340	133.78	-2.20	2.27
3.39	1.397	1.363	0.010	0.043	0.014	47.8	93.45	-86.43	1426	1424	355	134.96	-2.22	2.35
3.05	1.406	1.372	0.010	0.043	0.014	47.2	94.23	-87.72	1457	1456	355	136.13	-2.24	2.33
2.71	1.416	1.382	0.010	0.043	0.015	46.6	95.00	-89.02	1489	1488	355	137.28	-2.26	2.31
2.37	1.425	1.391	0.010	0.044	0.015	45.9	95.76	-90.34	1522	1520	355	138.41	-2.27	2.29
2.03	1.434	1.400	0.010	0.044	0.015	45.1	96.49	-91.65	1554	1553	355	139.53	-2.29	2.28
1.69	1.444	1.409	0.010	0.044	0.015	44.3	97.20	-92.98	1587	1585	355	140.63	-2.31	2.26
1.36	1.453	1.418	0.010	0.045	0.015	43.2	97.89	-94.32	1620	1619	355	141.72	-2.33	2.24
1.02	1.462	1.427	0.010	0.045	0.016	41.8	98.54	-95.66	1653	1652	355	142.80	-2.35	2.22
0.68	1.472	1.436	0.010	0.045	0.016	40.0	99.15	-97.02	1687	1686	355	143.86	-2.36	2.21
0.34	1.481	1.446	0.010	0.045	0.016	37.1	99.70	-98.38	1720	1720	355	144.90	-2.38	2.19
0.00	1.490	1.455	0.010	0.046	0.016	37.1	100.21	-99.75	1754	1754	355	145.93	-2.40	2.18

SRF	H	t	SCF(h)	SRF_cor:Beschrijving	SCF
1.92	2.03	0.010	1.60	1.20 mastopening schouder bovenaan	
1.90	1.69	0.010	1.50	1.27 voetflens tgv mastopening strip	
1.88	1.36	0.010	1.40	1.34 mastopening strip	
1.87	1.02	0.010	1.30	1.44 mastopening strip	
1.85	0.68	0.010	1.20	1.54 mastopening strip	
1.83	0.34	0.010	1.30	1.41 golving tgv afstand tot ankerbout	
1.82	0.00	0.010	1.40	1.30 golving tgv afstand tot ankerbout plus mastopening	

Alle SRF's zijn groter dan 1, de 25 m ashoogte mast met t=6, 8, 10 mm voldoet voor IEC windklasse 2.

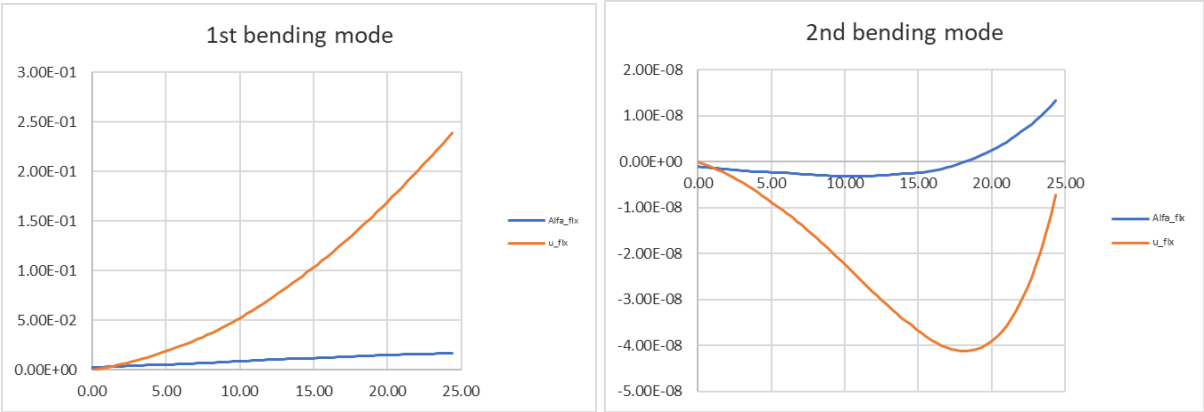
	m_hub	400	kg	Toerental
	mr2_blade	886.5	kgm2	passage f_2nc
	J_rotor	3318.1	kgm2	60
	K_2nd	7.60E+07	Nm/rad	rpm 2nd mode
	f_2nd	2.98	Hz	afstand (>10%
	J_total	216691.0	kgm2	0.92
	m_nac	1855.0	kg	
	m_rot	835	kg	65 rpm OK
	E	2.10E+11	Pa	
	f_drop	10	%	Toerental
	m_twr_tot	7478.4	kg	passage f_1st
	CR	8.46E+08	Nm/rad	82
	CR_rec	8.46E+08	Nm/rad	rpm 1st mode
	m_twr_eq	760	kg	(flex)afstand (>10%
		10.0	%	(flex) 1.27
	f_stiff	1.526	Hz	
	u_stiff	3.15E-06	m	65 rpm OK
	f_flex	1.374	Hz	
	u_flex	3.89E-06	m	

Frequentieanalyse

De eerste buigfrequentie ontstaat door de buigbalk die de mast is met de gondelmassa inclusief de rotor er bovenop volgens het principe $w_0 = \sqrt{K/m}$ rad/s met K de stijfheid van een veer in N/m en m de trillende massa aan het eind van de veer in kg. De tweede buigfrequentie ontstaat door de rotatie van het massatraagheidsmoment J in kgm2 van de gondel met de rotor om het zwpt.

De 1P aanstootfrequentie van de rotor (onbalans) passeert bij 82 rpm (het resonantietoerental) de eerste buigfrequentie van de mast. Bij het ontwerp-toerental van 65 rpm is de afstand tot het resonantietoerental voldoende groot ($82/65=1.27$ ofwel 27%).

De 3P aanstootfrequentie van de rotor (mastpassage en windshear) passeert bij 60 rpm de tweede buigfrequentie van de mast. Bij het ontwerp-toerental van 65 rpm is de afstand tot het resonantietoerental minder dan 10% ($60/65=0.92$ ofwel 8%). Hier zou een verhoging van het toerental van 65 tot 66 rpm al voldoende zijn.



7 Bijlage Rekenblad mast 20 m IEC klasse 2

Extreme Loads Calculation Tower

General inputs

Wind turbine

BW80 25m HubHeight tower

ontwerp van BestWatt volgens tek. 35639

de lengte van de langste sectie is 11.7 m

Extreme tower bending moment

T20m-BW80.xls

Date: 23-08-22

Wind regime

61400-2(ed1.0) Safe

small wind turbines

NEN

1

IEC_class

2

Load case

Filename:

Consequence of failure or Dynamic Ampl. Fac

1.00

Load factor wind gFa

1.35 (NVN/IEC)

Load factor gravity

1.10

0.9 moment (IEC)

Material factor gM

1.10 (IEC/NVN)

Re_16

355

MPa

S355JR

GL

0

Re_40

340

MPa

S355JR

DIBt

1

dH_toronto: 0.604 ashelling is 5 graden

Inputs for extreme loads calculat:f_a/v

MXYa_Htemp 24.91 FXYaHtemp 41.26

1 achter/voor (+1/-1)

MYGHtemp 26.97

V_Hub 59.5 m/s

A_hub+nac 0.95 m2 (r_hub=0.410)

H_hub 20.0 m

Cd_hub+nac

1.4

FXY_H 41.26 kN

G_nac

18.20 kN

FZR_H -26.39 kN

L_nac

0.67 m

MXYa_H 24.91 kNm

G_rot

8.19 kN

(pos)

H_high 19.40 m

L_rot

1.80 m

tower top moment 51.88 [kNm]

19.4 [m]

H_low 0.00 m

MYG_H

26.97 kNm

tower half moment 560.97 [kNm]

9.7 [m]

D_high 0.849 m

A_blades

11.54 m2

tower foot moment 1302.27 [kNm]

0.0 [m]

D_low 1.470 m

CD_blades

1.50 bij stilstand

Polynom const1: 1.234 1.50

M0 0.0326 m/m

CD_tower

1.20 met Reynolds < 1

Polynom const2: -88.41 1.20

M1 0.0326 m/m

rho_Fe

9025 kg/m3

Polynom const3: 1302

M2 0.0326 m/m

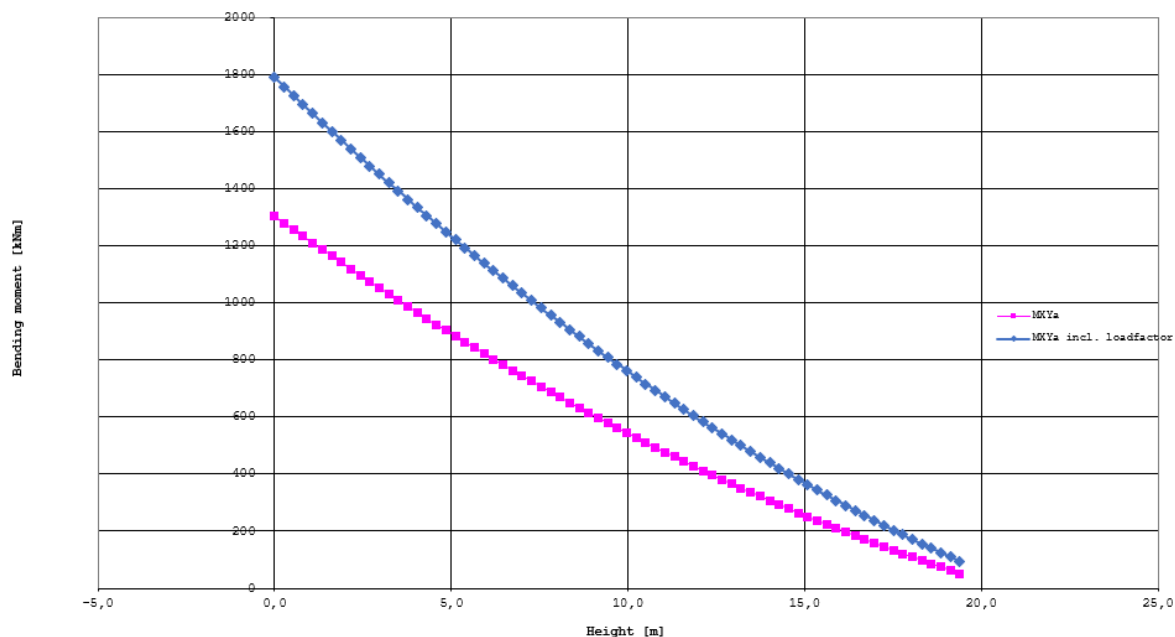
z_0

0.03 m

step 0.269 m

89.06

BW-80-20m extreme tower bending moment



Extreme loads calculation (stresses include load factor but no material factor)

[m] H	[m] D_u	[m] D_m	[m] t	[m^2] A	[m^3] W	[m/s] V	[kN] FXa	[kN] FZg	linear [kNm] MXY_a	polynom [kNm] MXY_a	[MPa] R_E	[MPa] S_b	[MPa] S_t	[--] SRF
19,40	0,849	0,828	0,006	0,016	0,003	59,3	41,26	-26,39	52	52	355	22,19	-1,86	13,42
19,13	0,858	0,837	0,006	0,016	0,003	59,2	41,85	-26,77	63	63	355	26,41	-1,87	11,42
18,86	0,866	0,846	0,006	0,016	0,003	59,1	42,44	-27,15	74	74	355	30,40	-1,87	10,00
18,59	0,875	0,854	0,006	0,016	0,003	59,0	43,04	-27,53	86	85	355	34,35	-1,88	8,91
18,32	0,884	0,863	0,006	0,016	0,003	58,9	43,65	-27,92	97	97	355	38,21	-1,89	8,05
18,05	0,893	0,872	0,006	0,016	0,003	58,8	44,25	-28,31	109	109	355	41,98	-1,90	7,36
17,78	0,902	0,880	0,006	0,017	0,004	58,7	44,86	-28,71	121	121	355	45,67	-1,90	6,78
17,51	0,910	0,889	0,006	0,017	0,004	58,6	45,48	-29,10	133	133	355	49,26	-1,91	6,31
17,24	0,919	0,898	0,006	0,017	0,004	58,5	46,10	-29,51	146	145	355	52,78	-1,92	5,90
16,97	0,928	0,906	0,006	0,017	0,004	58,4	46,72	-29,92	158	157	355	56,22	-1,93	5,55
16,70	0,937	0,915	0,006	0,017	0,004	58,3	47,35	-30,33	171	170	355	59,58	-1,93	5,25
16,43	0,946	0,924	0,006	0,017	0,004	58,2	47,98	-30,74	184	183	355	62,87	-1,94	4,98
16,16	0,954	0,932	0,006	0,018	0,004	58,1	48,62	-31,16	197	196	355	66,08	-1,95	4,74
15,89	0,963	0,941	0,006	0,018	0,004	58,0	49,25	-31,58	210	209	355	69,23	-1,96	4,53
15,62	0,972	0,949	0,006	0,018	0,004	57,9	49,90	-32,01	223	222	355	72,31	-1,97	4,34
15,36	0,981	0,958	0,006	0,018	0,004	57,8	50,54	-32,44	236	236	355	75,33	-1,98	4,17
15,09	0,990	0,967	0,006	0,018	0,004	57,7	51,19	-32,88	250	249	355	78,28	-1,98	4,02
14,82	0,998	0,975	0,006	0,018	0,004	57,6	51,84	-33,32	264	263	355	81,17	-1,99	3,88
14,55	1,007	0,984	0,006	0,019	0,004	57,5	52,49	-33,76	278	277	355	84,00	-2,00	3,75
14,28	1,016	0,993	0,006	0,019	0,005	57,3	53,15	-34,20	292	292	355	86,77	-2,01	3,64
14,01	1,025	1,001	0,006	0,019	0,005	57,2	53,81	-34,65	307	306	355	89,49	-2,02	3,53
13,74	1,034	1,010	0,006	0,019	0,005	57,1	54,48	-35,11	321	321	355	92,15	-2,03	3,43
13,47	1,042	1,019	0,006	0,019	0,005	57,0	55,14	-35,57	336	335	355	94,76	-2,04	3,33
13,20	1,051	1,027	0,006	0,019	0,005	56,8	55,81	-36,03	351	350	355	97,32	-2,05	3,25
12,93	1,060	1,036	0,006	0,020	0,005	56,7	56,48	-36,49	366	365	355	99,83	-2,06	3,17
12,66	1,069	1,045	0,006	0,020	0,005	56,6	57,16	-36,96	381	381	355	102,29	-2,07	3,09
12,39	1,078	1,053	0,006	0,020	0,005	56,4	57,84	-37,44	396	396	355	104,71	-2,07	3,02
12,12	1,086	1,062	0,006	0,020	0,005	56,3	58,51	-37,91	412	412	355	107,08	-2,08	2,96
11,85	1,095	1,070	0,006	0,020	0,005	56,2	59,20	-38,40	428	428	355	109,40	-2,09	2,89
11,58	1,104	1,071	0,014	0,047	0,012	56,0	59,88	-39,52	444	444	355	48,95	-0,92	6,47
11,31	1,113	1,080	0,014	0,047	0,012	55,9	60,56	-40,65	460	460	355	49,92	-0,94	6,35
11,05	1,122	1,088	0,014	0,048	0,013	55,7	61,24	-41,79	476	476	355	50,87	-0,96	6,23
10,78	1,130	1,097	0,014	0,048	0,013	55,6	61,92	-42,94	493	493	355	51,81	-0,98	6,11
10,51	1,127	1,094	0,014	0,048	0,013	55,4	62,61	-44,09	510	510	355	53,88	-1,01	5,88
10,24	1,136	1,103	0,014	0,048	0,013	55,3	63,29	-45,25	527	527	355	54,79	-1,03	5,78
9,97	1,133	1,105	0,008	0,028	0,007	55,1	63,97	-45,91	544	544	355	97,96	-1,82	3,23
9,70	1,142	1,114	0,008	0,028	0,008	54,9	64,64	-46,58	561	561	355	99,51	-1,83	3,18
9,43	1,150	1,123	0,008	0,028	0,008	54,8	65,32	-47,25	578	578	355	101,02	-1,84	3,14
9,16	1,159	1,131	0,008	0,028	0,008	54,6	66,01	-47,93	596	596	355	102,51	-1,85	3,09
8,89	1,168	1,140	0,008	0,029	0,008	54,4	66,69	-48,61	614	614	355	103,98	-1,87	3,05
8,62	1,177	1,149	0,008	0,029	0,008	54,2	67,37	-49,30	632	632	355	105,41	-1,88	3,01
8,35	1,185	1,157	0,008	0,029	0,008	54,1	68,05	-50,00	650	650	355	106,83	-1,89	2,97
8,08	1,194	1,166	0,008	0,029	0,008	53,9	68,74	-50,69	668	668	355	108,21	-1,90	2,93
7,81	1,203	1,175	0,008	0,030	0,008	53,7	69,42	-51,40	687	687	355	109,58	-1,92	2,89
7,54	1,212	1,183	0,008	0,030	0,009	53,4	70,10	-52,11	706	706	355	110,92	-1,93	2,86
7,27	1,221	1,192	0,008	0,030	0,009	53,2	70,78	-52,82	725	725	355	112,24	-1,94	2,83
7,00	1,229	1,200	0,008	0,030	0,009	53,0	71,47	-53,54	744	744	355	113,53	-1,95	2,79
6,73	1,238	1,209	0,008	0,030	0,009	52,8	72,15	-54,27	763	763	355	114,80	-1,96	2,76
6,47	1,247	1,218	0,008	0,031	0,009	52,5	72,83	-55,00	783	782	355	116,06	-1,98	2,73
6,20	1,256	1,226	0,008	0,031	0,009	52,3	73,51	-55,73	802	802	355	117,29	-1,99	2,71
5,93	1,265	1,235	0,008	0,031	0,009	52,0	74,18	-56,47	822	822	355	118,50	-2,00	2,68
5,66	1,273	1,244	0,008	0,031	0,009	51,8	74,86	-57,22	842	842	355	119,69	-2,01	2,65
5,39	1,282	1,252	0,008	0,031	0,010	51,5	75,53	-57,97	862	862	355	120,87	-2,03	2,63
5,12	1,291	1,261	0,008	0,032	0,010	51,2	76,20	-58,72	883	882	355	122,02	-2,04	2,60
4,85	1,300	1,270	0,008	0,032	0,010	50,9	76,87	-59,49	903	903	355	123,16	-2,05	2,58
4,58	1,309	1,278	0,008	0,032	0,010	50,6	77,53	-60,25	924	923	355	124,28	-2,06	2,55
4,31	1,317	1,287	0,008	0,032	0,010	50,3	78,19	-61,02	945	944	355	125,38	-2,08	2,53
4,04	1,326	1,296	0,008	0,033	0,010	49,9	78,84	-61,80	966	965	355	126,46	-2,09	2,51
3,77	1,335	1,304	0,008	0,033	0,010	49,5	79,49	-62,58	987	986	355	127,53	-2,10	2,49
3,50	1,344	1,313	0,008	0,033	0,011	49,1	80,14	-63,37	1009	1008	355	128,58	-2,11	2,47
3,23	1,353	1,322	0,008	0,033	0,011	48,7	80,77	-64,16	1030	1029	355	129,62	-2,12	2,45
2,96	1,361	1,330	0,008	0,033	0,011	48,2	81,40	-64,96	1052	1051	355	130,64	-2,14	2,43
2,69	1,370	1,339	0,008	0,034	0,011	47,7	82,02	-65,76	1074	1073	355	131,64	-2,15	2,41
2,42	1,379	1,347	0,008	0,034	0,011	47,2	82,63	-66,57	1096	1095	355	132,63	-2,16	2,39
2,16	1,388	1,356	0,008	0,034	0,011	46,6	83,23	-67,38	1119	1117	355	133,61	-2,17	2,38
1,89	1,397	1,365	0,008	0,034	0,011	45,9	83,82	-68,20	1141	1140	355	134,57	-2,19	2,36
1,62	1,405	1,373	0,008	0,035	0,012	45,1	84,39	-69,02	1164	1163	355	135,51	-2,20	2,34
1,35	1,414	1,382	0,008	0,035	0,012	44,2	84,95	-69,85	1186	1185	355	136,45	-2,21	2,33
1,08	1,423	1,391	0,008	0,035	0,012	43,1	85,48	-70,68	1209	1208	355	137,37	-2,22	2,31
0,81	1,432	1,399	0,008	0,035	0,012	41,8	85,99	-71,52	1232	1232	355	138,27	-2,24	2,30
0,54	1,441	1,408	0,008	0,035	0,012	40,0	86,47	-72,37	1256	1255	355	139,17	-2,25	2,28
0,27	1,449	1,417	0,008	0,036	0,012	37,0	86,89	-73,22	1279	1279	355	140,05	-2,26	2,27
0,00	1,458	1,425	0,008	0,036	0,012	37,0	87,28	-74,07	1302	1302	355	140,92	-2,27	2,25

De spanningsreserves inclusief spanningsconcentratiefactoren rond de deur en de voetflens:

SRF	H	t	SCF(h)	SRF_cor:Beschrijving	SCF
1.84	1.62	0.008	1.60	1.46 mastopening schouder bovenaan	
1.83	1.35	0.008	1.50	1.55 voetflens tgv mastopening strip	
1.81	1.08	0.008	1.40	1.65 mastopening strip	
1.80	0.81	0.008	1.30	1.77 mastopening strip	
1.78	0.54	0.008	1.20	1.90 mastopening strip	
1.77	0.27	0.008	1.30	1.74 golving tgv afstand tot ankerbout	
1.76	0.00	0.008	1.40	1.61 golving tgv afstand tot ankerbout plus mastopening	

Alle SRF's zijn groter dan 1, de 20 m ashoogte mast voldoet voor IEC klasse 2.

Frequentieanalyse

De eerste buigfrequentie ontstaat door de buigbalk die de mast is met de gondelmassa inclusief de rotor er bovenop volgens het principe $w_0 = \sqrt{K/m}$ rad/s met K de stijfheid van een veer in N/m en m de trillende massa aan het eind van de veer in kg. De tweede buigfrequentie ontstaat door de rotatie van het massa traagheidsmoment J in kgm2 van de gondel met de rotor om het zwpt.

m_hub400kg

mr2_blade886.5kgm2

J_rotor3318.1kgm2

K_2nd8.12E+07Nm/rad

f_2nd4.06Hz

J_total124514.7kgm2

m_nac1855kg

m_rot835kg

E2.10E+11Pa

f_drop10%

m_twr_tot4860.5kg

CR8.39E+08Nm/rad

CR_rec8.39E+08Nm/rad

m_twr_eq623kg

10.0% (flex)

f_stiff1.939Hz

u_stiff2.03E-06m

f_flex1.745Hz

u_flex2.51E-06m

passage f_2nd81

rpm 2nd mode

afstand (>10%)1.25

65 rpm OK

Toerental

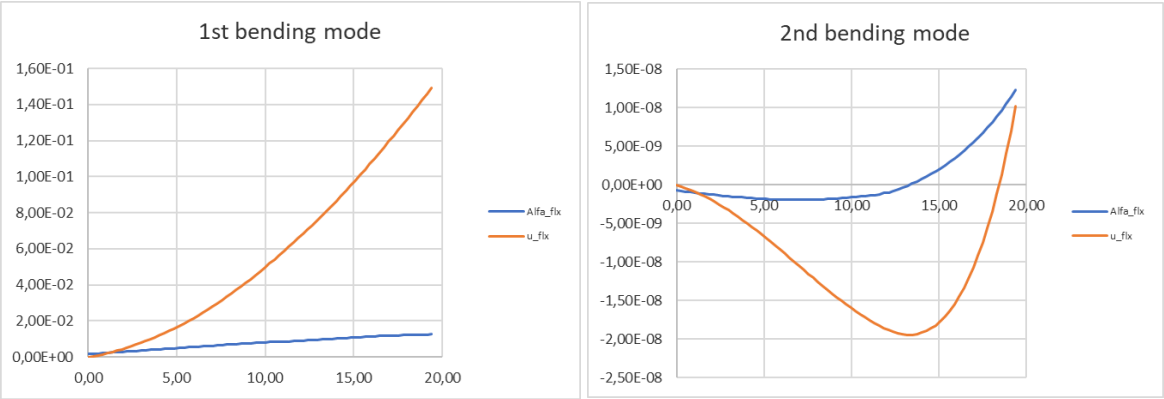
passage f_1st105

rpm 1st mode

afstand (>10%)1.61

65 rpm OK

Bij de 20 m ashoogte uitvoering liggen beide passagetoerentallen boven het werkgebied (25% of meer). Het ontwerp voldoet daarmee aan de vereisten te stellen aan het trillingsgedrag.



8 Bijlage Rekenblad mast 15 m IEC klasse 2

Extreme Loads Calculation Tower

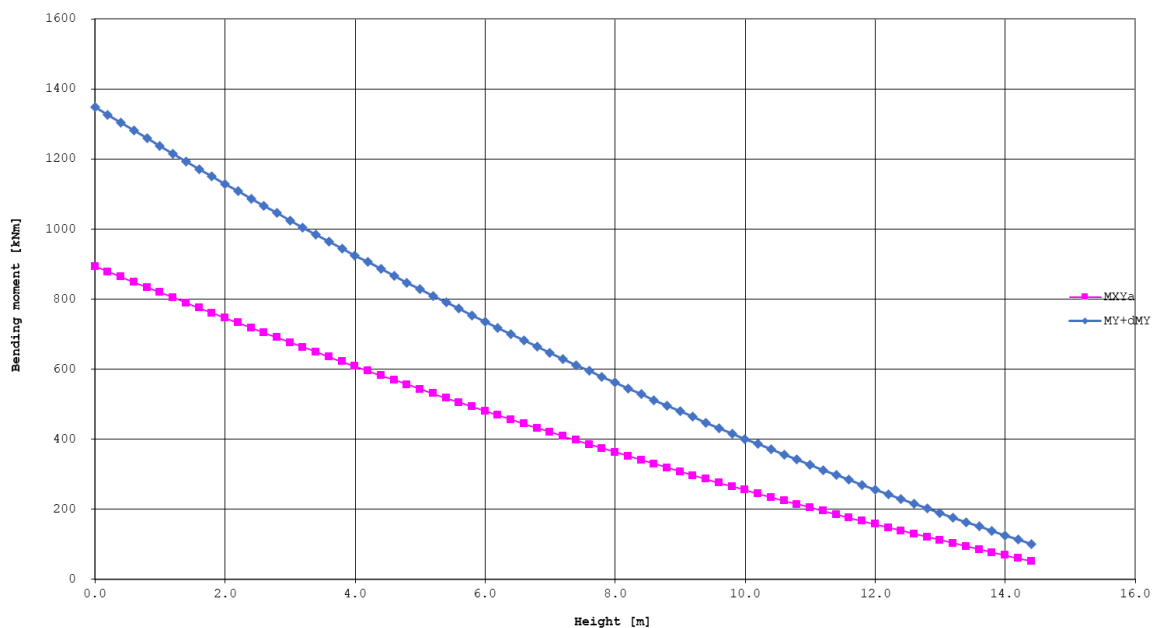
General inputs

Wind turbine BW 15/65 15m HubHeight tower
Load case Extreme tower bending moment
Filename: T25m-BW15.xls
Consequence of failure 1.10
Load factor wind gFa 1.35 (NVN/IEC)
Load factor gravity 1.10 force 0.9 moment (IEC)
Material factor gM 1.10 (IEC/NVN)
Re_16 355 MPa S355JR
Re_40 340 MPa S355JR
dR_toronto: 0.604
Inputs for extreme loads calculation
MXYa_H 24.92 FXYaHtemp 41.26 MYGHtemp 26.97
V_Hub 59.5 m/s A_hub+nac 0.95 m2 (r_hub=0.41)
H_hub 15.0 m Cd_hub+nac 1.4 - 1.4
FXy_H -41.26 kN G_nac 18.20 kN (pos)
FZR_H -26.39 kN L_nac 0.67 m
MXYa_H 24.919 kNm G_rot 8.19 kN (pos)
H_high 14.40 m L_rot 1.80 m tower top moment 51.89 [kNm] 14.4 [m]
H_low 0.00 m MYG_H 26.97 kNm tower half moment 408.66 [kNm] 7.2 [m]
D_high 0.849 m A_blades 11.54 m2 tower foot moment 893.73 [kNm] 0.0 [m]
D_low 1.470 m CD_blades 1.50 bij stilte: Polynom const1: 1.238 1.50
M0 0.0440 m/m CD_tower 1.20 met Reynold: Polynom const2: -76.30 1.20
M1 0.0440 m/m rho_Fe 9025 kg/m3 Polynom const3: 894
M2 0.0440 m/m z_0 0.03 m
step 0.200 m

Date: 23-08-22

Wind regime 61400-2(ed1.0) Safety of
small wind turbines.pdfNEN 1
IEC_class 2GL 0
DiBt 1

BW80-15m extreme tower bending moment



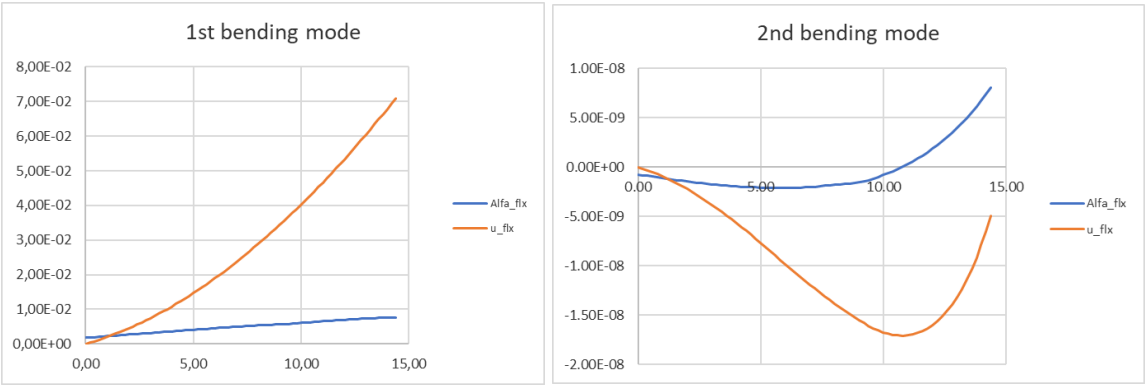
Extreme loads calculation (stresses include load factor but no material factor)

[m] H	[m] D_u	[m] D_m	[m] t	[m^2] A	[m^3] W	[m/s] V	[kN] FXa	[kN] FZg	polynom		[MPa] R_E	[MPa] S_b	[MPa] S_t	[-] SRF
									[kNm] MX_Y_a	[kNm] MX_Y_a				
14.40	0.849	0.828	0.006	0.016	0.003	59.2	41.26	-26.39	52	52	355	24.42	-1.86	12.28
14.20	0.858	0.837	0.006	0.016	0.003	59.1	41.69	-26.67	60	60	355	27.72	-1.86	10.91
14.00	0.866	0.846	0.006	0.016	0.003	59.0	42.14	-26.95	69	68	355	30.85	-1.86	9.87
13.80	0.875	0.854	0.006	0.016	0.003	59.0	42.58	-27.24	77	77	355	33.93	-1.86	9.02
13.60	0.884	0.863	0.006	0.016	0.003	58.9	43.03	-27.52	85	85	355	36.93	-1.86	8.32
13.40	0.893	0.872	0.006	0.016	0.003	58.8	43.48	-27.81	94	94	355	39.84	-1.86	7.74
13.20	0.902	0.880	0.006	0.017	0.004	58.7	43.93	-28.11	103	102	355	42.67	-1.86	7.25
13.00	0.910	0.889	0.006	0.017	0.004	58.6	44.38	-28.40	112	111	355	45.42	-1.86	6.82
12.80	0.919	0.898	0.006	0.017	0.004	58.5	44.84	-28.70	121	120	355	48.10	-1.87	6.46
12.60	0.928	0.906	0.006	0.017	0.004	58.4	45.30	-29.01	130	129	355	50.71	-1.87	6.14
12.40	0.937	0.915	0.006	0.017	0.004	58.3	45.77	-29.31	139	138	355	53.25	-1.87	5.85
12.20	0.946	0.924	0.006	0.017	0.004	58.2	46.24	-29.62	148	147	355	55.72	-1.87	5.60
12.00	0.954	0.932	0.006	0.018	0.004	58.1	46.71	-29.93	157	157	355	58.13	-1.87	5.38
11.80	0.963	0.941	0.006	0.018	0.004	57.9	47.18	-30.24	166	166	355	60.48	-1.88	5.18
11.60	0.972	0.949	0.006	0.018	0.004	57.8	47.65	-30.56	176	175	355	62.77	-1.88	4.99
11.40	0.981	0.958	0.006	0.018	0.004	57.7	48.13	-30.88	185	185	355	65.00	-1.88	4.83
11.20	0.990	0.967	0.006	0.018	0.004	57.6	48.61	-31.20	195	195	355	67.17	-1.88	4.67
11.00	0.998	0.975	0.006	0.018	0.004	57.5	49.09	-31.53	205	204	355	69.29	-1.89	4.53
10.80	1.007	0.984	0.006	0.019	0.004	57.4	49.58	-31.86	215	214	355	71.36	-1.89	4.41
10.60	1.016	0.993	0.006	0.019	0.005	57.3	50.07	-32.19	225	224	355	73.38	-1.89	4.29
10.40	1.025	1.001	0.006	0.019	0.005	57.1	50.55	-32.52	235	234	355	75.35	-1.90	4.18
10.20	1.034	1.010	0.006	0.019	0.005	57.0	51.05	-32.86	245	244	355	77.27	-1.90	4.08
10.00	1.042	1.019	0.006	0.019	0.005	56.9	51.54	-33.20	255	255	355	79.15	-1.90	3.98
9.80	1.051	1.027	0.006	0.019	0.005	56.8	52.04	-33.54	265	265	355	80.99	-1.91	3.89
9.60	1.060	1.036	0.006	0.020	0.005	56.6	52.53	-33.89	276	275	355	82.78	-1.91	3.81
9.40	1.069	1.045	0.006	0.020	0.005	56.5	53.03	-34.24	286	286	355	84.53	-1.91	3.73
9.20	1.078	1.053	0.006	0.020	0.005	56.4	53.53	-34.59	297	297	355	86.24	-1.92	3.66
9.00	1.086	1.054	0.014	0.046	0.012	56.2	54.03	-35.41	308	307	355	38.54	-0.84	8.20
8.80	1.095	1.062	0.014	0.047	0.012	56.1	54.54	-36.24	318	318	355	39.25	-0.85	8.05
8.60	1.104	1.071	0.014	0.047	0.012	56.0	55.04	-37.07	329	329	355	39.94	-0.87	7.91
8.40	1.113	1.080	0.014	0.047	0.012	55.8	55.54	-37.91	340	340	355	40.62	-0.88	7.78
8.20	1.122	1.088	0.014	0.048	0.013	55.7	56.05	-38.76	352	351	355	41.28	-0.89	7.65
8.00	1.130	1.097	0.014	0.048	0.013	55.5	56.55	-39.61	363	363	355	41.93	-0.90	7.53
7.80	1.127	1.100	0.008	0.028	0.007	55.4	57.06	-40.10	374	374	355	74.88	-1.60	4.22
7.60	1.136	1.109	0.008	0.028	0.008	55.2	57.57	-40.60	385	385	355	75.97	-1.60	4.16
7.40	1.145	1.117	0.008	0.028	0.008	55.0	58.07	-41.09	397	397	355	77.03	-1.61	4.10
7.20	1.154	1.126	0.008	0.028	0.008	54.9	58.58	-41.59	409	409	355	78.07	-1.62	4.05
7.00	1.162	1.134	0.008	0.029	0.008	54.7	59.09	-42.10	420	420	355	79.09	-1.62	4.00
6.80	1.171	1.143	0.008	0.029	0.008	54.5	59.60	-42.61	432	432	355	80.09	-1.63	3.95
6.60	1.180	1.152	0.008	0.029	0.008	54.4	60.11	-43.12	444	444	355	81.07	-1.64	3.90
6.40	1.189	1.160	0.008	0.029	0.008	54.2	60.62	-43.64	456	456	355	82.02	-1.65	3.86
6.20	1.197	1.169	0.008	0.029	0.008	54.0	61.13	-44.16	468	468	355	82.96	-1.65	3.81
6.00	1.206	1.178	0.008	0.030	0.009	53.8	61.64	-44.68	481	481	355	83.88	-1.66	3.77
5.80	1.215	1.186	0.008	0.030	0.009	53.6	62.15	-45.21	493	493	355	84.78	-1.67	3.73
5.60	1.224	1.195	0.008	0.030	0.009	53.4	62.66	-45.74	505	505	355	85.66	-1.68	3.70
5.40	1.233	1.204	0.008	0.030	0.009	53.2	63.17	-46.27	518	518	355	86.52	-1.68	3.66
5.20	1.241	1.212	0.008	0.030	0.009	53.0	63.68	-46.81	531	531	355	87.37	-1.69	3.62
5.00	1.250	1.221	0.008	0.031	0.009	52.7	64.19	-47.36	543	543	355	88.20	-1.70	3.59
4.80	1.259	1.230	0.008	0.031	0.009	52.5	64.70	-47.90	556	556	355	89.01	-1.71	3.56
4.60	1.268	1.238	0.008	0.031	0.009	52.2	65.21	-48.45	569	569	355	89.81	-1.71	3.53
4.40	1.277	1.247	0.008	0.031	0.010	52.0	65.72	-49.01	582	582	355	90.60	-1.72	3.50
4.20	1.285	1.256	0.008	0.032	0.010	51.7	66.22	-49.57	595	595	355	91.36	-1.73	3.47
4.00	1.294	1.264	0.008	0.032	0.010	51.4	66.72	-50.13	609	608	355	92.12	-1.74	3.44
3.80	1.303	1.273	0.008	0.032	0.010	51.2	67.22	-50.70	622	622	355	92.86	-1.74	3.41
3.60	1.312	1.281	0.008	0.032	0.010	50.9	67.72	-51.27	635	635	355	93.58	-1.75	3.39
3.40	1.321	1.290	0.008	0.032	0.010	50.5	68.22	-51.84	649	649	355	94.29	-1.76	3.36
3.20	1.329	1.299	0.008	0.033	0.010	50.2	68.71	-52.42	663	662	355	94.99	-1.77	3.34
3.00	1.338	1.307	0.008	0.033	0.010	49.8	69.20	-53.00	676	676	355	95.68	-1.77	3.31
2.80	1.347	1.316	0.008	0.033	0.011	49.5	69.68	-53.59	690	690	355	96.35	-1.78	3.29
2.60	1.356	1.325	0.008	0.033	0.011	49.1	70.16	-54.18	704	704	355	97.01	-1.79	3.27
2.40	1.365	1.333	0.008	0.034	0.011	48.6	70.64	-54.77	718	718	355	97.66	-1.80	3.24
2.20	1.373	1.342	0.008	0.034	0.011	48.2	71.11	-55.37	732	732	355	98.30	-1.81	3.22
2.00	1.382	1.351	0.008	0.034	0.011	47.7	71.57	-55.97	747	746	355	98.93	-1.81	3.20
1.80	1.391	1.359	0.008	0.034	0.011	47.1	72.03	-56.57	761	760	355	99.55	-1.82	3.18
1.60	1.400	1.368	0.008	0.034	0.011	46.5	72.48	-57.18	775	775	355	100.15	-1.83	3.16
1.40	1.409	1.377	0.008	0.035	0.012	45.8	72.92	-57.79	790	789	355	100.75	-1.84	3.15
1.20	1.417	1.385	0.008	0.035	0.012	45.1	73.35	-58.41	805	804	355	101.33	-1.85	3.13
1.00	1.426	1.394	0.008	0.035	0.012	44.2	73.76	-59.03	819	819	355	101.90	-1.85	3.11
0.80	1.435	1.402	0.008	0.035	0.012	43.1	74.16	-59.65	834	834	355	102.47	-1.86	3.09
0.60	1.444	1.411	0.008	0.035	0.012	41.8	74.54	-60.28	849	848	355	103.03	-1.87	3.08
0.40	1.453	1.420	0.008	0.036	0.012	39.9	74.89	-60.91	864	863	355	103.57	-1.88	3.06
0.20	1.461	1.428	0.008	0.036	0.013	37.0	75.21	-61.55	879	879	355	104.11	-1.89	3.04
0.00	1.470	1.437	0.008	0.036	0.013	37.0	75.50	-62.19	894	894	355	104.64	-1.89	3.03

SRF	H	t	SCF(h)	SRF_corr
2.38	1.20	0.008	1.60	1.49 mastopening schouder bovenaan
2.36	1.00	0.008	1.50	1.58 mastopening strip
2.35	0.80	0.008	1.40	1.68 mastopening strip
2.33	0.60	0.008	1.30	1.79 mastopening strip
2.31	0.40	0.008	1.20	1.93 mastopening strip
2.30	0.20	0.008	1.30	1.77 golving tgv afstand tot ankerbout
2.28	0.00	0.008	1.40	1.63 golving tgv afstand tot ankerbout plus mastopening

	m_hub	400	kg		
	mr2_blade	875.4	kgm2	passage f_2nd	
	J_rotor	3074.1	kgm2	144	
	K_2nd	1.20E+08	Nm/rad	rpm 2nd mode	
	f_2nd	7.22	Hz	afstand (>10%)	
	J_total	58501.8	kgm2	2.22	
	m_nac	1855	kg		
	m_rot	835	kg	65 rpm OK	
	E	2.10E+11	Pa		
Frequentieanalyse	f_drop	10	%	Toerental	
De eerste buigfrequentie ontstaat door de	m_twr_tot	3649.1	kg	passage f_1st	
buigbalk die de mast is met de gondelmassa	CR	5.00E+08	Nm/rad	149	
inclusief de rotor er bovenop volgens het	CR_rec	1.14E+09	Nm/rad	rpm 1st mode	
principe $w_0 = \sqrt{K/m}$ rad/s met K de	m_twr_eq	480	kg (flex>afstand (>10%))		
stijfheid van een veer in N/m en m de trillende		13.1	% (flex)	2.30	
massa aan het eind van de veer in kg.	f_stiff	2.904	Hz		
De tweede buigfrequentie ontstaat door de	u_stiff	8.42E-07	m		
rotatie van het massatraagheidsmoment J in	f_flex	2.487	Hz		
kgm2 van de gondel met de rotor om het zwpt	u_flex	1.29E-06	m		

Bij de 15 m ashoogte uitvoering liggen beide passagetoerentallen ver boven het werkgebied. Het ontwerp voldoet daarmee aan de vereisten te stellen aan het trillingsgedrag.



9 Bijlage Tabel Funderingsbelastingen 15m - 30m

De bovenste tabel is gemaakt tbv van FuboConsult voor het ontwerp van de buisvormige fundering.
De tabellen daaronder zijn tbv het overzicht toegevoegd.

Funderingsbelastingen BW80 15 - 30m

incl. bel.factoren	ashoogte 15 m			ashoogte 20 m			ashoogte 25 m			ashoogte 30 m		
Windklasse IEC	FX kN	FZ kN	MY kNm	FX kN	FZ kN	MY kNm	FX kN	FZ kN	MY kNm	FX kN	FZ kN	MY kNm
IEC class 2	101.9	-68.4	1206.5	117.8	-81.5	1788.7	135.3	-109.7	2380.2	150.6	-140.4	3156.6
IEC class 3	79.4	-68.4	947.6	91.7	-81.5	1406.1	105.2	-109.7	1915.0	117.3	-140.4	2457.4
IEC class 4	50.8	-68.4	619.5	58.7	-81.5	921.8	67.3	-109.7	1247.6	75.0	-140.4	1585.5

Bel. factoren	1.35	1.10	1.35	1.35	1.10	1.35	1.35	1.10	1.35	1.35	1.10	1.35
---------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

excl. bel.factoren	ashoogte 15 m			ashoogte 20 m			ashoogte 25 m			ashoogte 30 m		
Windklasse IEC	FX kN	FZ kN	MY kNm	FX kN	FZ kN	MY kNm	FX kN	FZ kN	MY kNm	FX kN	FZ kN	MY kNm
IEC class 2	75.5	-62.2	893.7	87.3	-74.1	1302.0	100.2	-99.8	1754.0	111.5	-127.6	2306.0
IEC class 3	58.8	-62.2	701.9	68.0	-74.1	1019.9	77.9	-99.8	1391.7	86.9	-127.6	1790.2
IEC class 4	37.6	-62.2	458.9	43.5	-74.1	662.4	49.9	-99.8	900.4	55.6	-127.6	1151.3

Wanddikteoverzicht

	ashoogte 15 m		ashoogte 20 m		ashoogte 25 m			ashoogte 30 m		
Windklasse IEC	h_top	h_bot	h_top	h_bot	h_top	h_mid	h_bot	h_top	h_mid	h_bot
IEC class 2	6.0	8.0	6.0	8.0	6.0	8.0	10.0	6.0	8.0	12.0
IEC class 3	6.0	8.0	6.0	8.0	6.0	6.0	8.0	6.0	8.0	10.0
IEC class 4	6.0	8.0	6.0	8.0	6.0	6.0	8.0	6.0	8.0	10.0

Topflensbelastingen (voor alle ashoogtes identiek)

Windklasse IEC 2	FX kN	FZ kN	MY kNm
excl. Loadfactor	41.3	-26.4	51.9
incl. Loadfactor	55.7	-29.0	70.0

Overzicht frequenties ashoogte

n_nom 65 rpm

windklasse IEC 2	f_1st Hz								f_2nd Hz							
h_hub m CR Nm/rad	f_0	n_1P	fractie	>10%?	n_3P	fractie	>10%?	f_0	n_1P	fractie	>10%?	n_3P	fractie	>10%?		
30 8.5E08	0.98	58.74	0.90	OK	19.58	0.30	OK	2.04	122.40	1.88	OK	40.80	0.63	OK		
25 8.5E08	1.37	82.44	1.27	OK	27.48	0.42	OK	2.98	178.80	2.75	OK	59.60	0.92	NOK		
20 8.4E08	1.75	104.70	1.61	OK	34.90	0.54	OK	4.06	243.60	3.75	OK	81.20	1.25	OK		
15 5.0E08	2.49	149.22	2.30	OK	49.74	0.77	OK	7.22	433.20	6.66	OK	144.40	2.22	OK		

10 Bijlage Olsen 750 rotorblad



General operational limits for rotor blade type: OLW 750Basic & OLW 750Tip-Brake

Rotor configuration:

Number of blades in rotor	:	2 or 3
Placement of rotor	:	upwind or downwind
Power regulation	:	stall or pitch
Yaw system	:	forced or free
Hub design	:	rigid or teeter

Operational limits: (max. values)

Rotor diameter	D	:	15,96 m	
Tip speed (operation)	Vtip	:	50,19 m/s	
Generator power	Pel	:	50-75 kW	1)
Yaw error (operation)	sw	:	20° 2)	
Cut out wind	Vo	:	25 m/s 1)	
Survival wind	Ve	:	70 m/s 3)	
Tip speed for release of tip spoiler	ne	:	1.1Vtip	
Brake torque (nominal on rotor shaft)	Mbr	:	x Nm	
Brake torque (emergency)	Mbr,e	:	x Nm	
Time for activation of tipspoiler	t	:	1<t sec 4)	

EZDL	Rapport berekening BW80 15-30m ashoogte windturbinemasten	pagina 20 van 51
------	--	------------------



Operation temperature	:	Min -20°C – max 55°C
OAT	:	(Outside Ambient Temperature)
	:	Otherwise ask Olsen Wings

Operation under icing conditions:	Under extreme climatic conditions where icing has added an unbalance, the operation must stop until a deicing has taken place.
-----------------------------------	--

All wind speeds stated are measured in hub height.

1) 10 min. mean values

2) At a max. Yaw error of 20° is understood.

The angle between the wind direction and the axis of the turbine systematically has a mean values greater than 20°

3) 2 sec. mean values.

4)

The tip brake release system must be dampened in order to prevent damage on the tip mechanism from inertia forces on the tip spoiler.

5) Blades balanced set wise to 10 grams at tip and 50 grams at root.

6) Aero dynamic tip-brake

Tip-brakes are **emergency** brakes, and can not be used as speed control.



Dimensions:

Blade length	1	:	7515 mm \pm 5 mm
Max. root chord	Croot	:	752 mm \pm 5 mm
Tip chord	Ctip	:	176 mm \pm 2 mm
Blade area	A	:	3,848 m ²
Twist		:	11.8° \pm 0,5°
Airfoil section		:	xxxx
Natural frequency flapwise		:	4,4 Hz
Natural frequency edgewise		:	6,9 Hz
Blade weight OLW 750Basic	m	:	135 kg \pm 3 kg
Blade weight OLW 750Tip-brake, Compress Spring System		:	148 kg \pm 3 kg
C of G distance from root base OLW750Basic	C.o.G.	:	2358mm \pm 10mm
C of G distance from root base OLW750Tip	C.o.G.	:	2770 mm \pm 10mm
Direction of rotation		:	Clockwise
Selfstarting		:	Yes

Installation dimensions:

Root flange outside diameter	Du	:	420 mm
Bolt Circle diameter	BCD	:	360 mm \pm 1 mm
Number of bolts	n	:	30
Bolt size	M	:	12 mm (8.8 grade)
Torque tightening		:	8.8 steel requirement
Tip to tower distance (min.)		:	1500 mm

GRP/steel connection:

Embedded steel bolts, with internal threads.

EZDL	Rapport berekening BW80 15-30m ashoogte windturbinemasten	pagina 22 van 51
-------------	--	------------------



Aerodynamic brake: : 6)

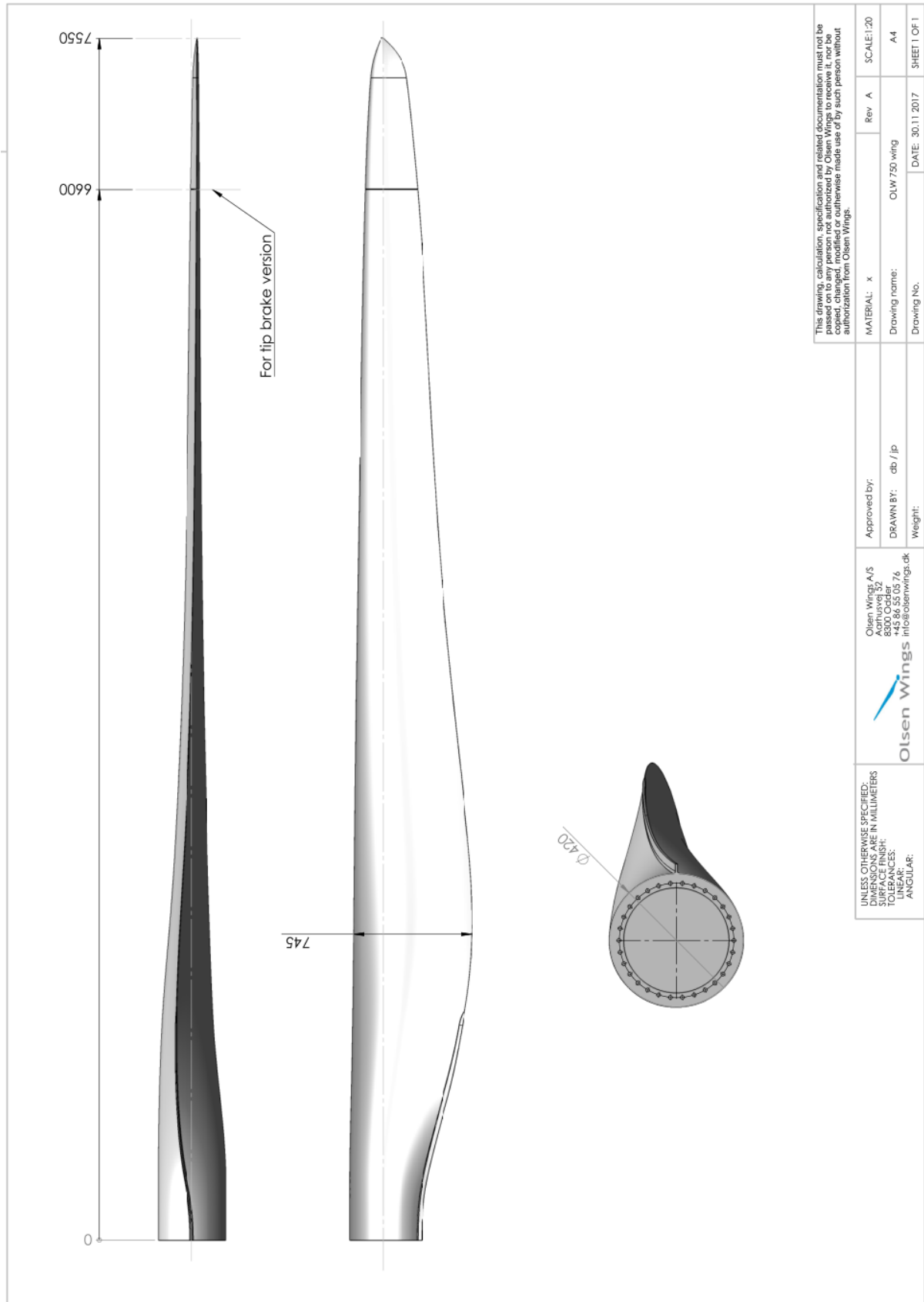
Type	: Tip spoiler
Length	: 915 mm \pm 5 mm
Movement approx.	: 90°
Activation	: Hydraulic and mechanical. (<i>Not included from factory</i>)
Deploy length	: 110 mm.
Tip shaft threads	: Internal M16
Weight	: 12,3 kg \pm 0.2 kg
Center of Gravity for tip weight	: 6560 mm \pm 5 mm measured from root base

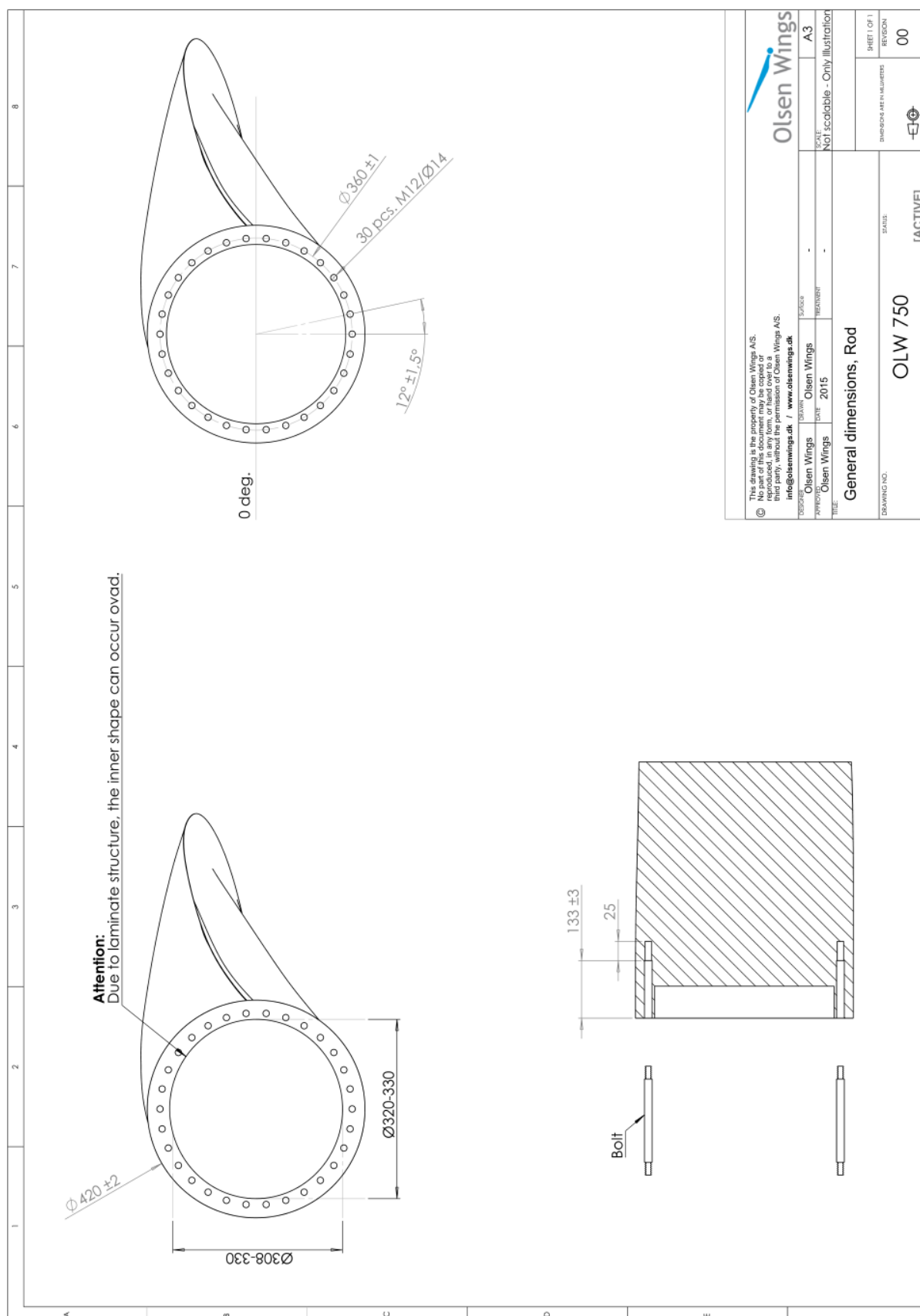
Materials used:

Shell, spar and root	: Fiber glass/polyester
Embedded nuts for mounting	: Steel 8.8
Spoiler mechanism	: Stainless steel

The Olsen Wings reserves the right to amend specifications without prior notice.

Rev no	Description	Init / Dato
R2_0	Blade weight compress spring	TE / 2017 05 23
R2,1	Weight blade	TE / 2020 06 20
R2,2	Weight blade	TE / 2020 09 01

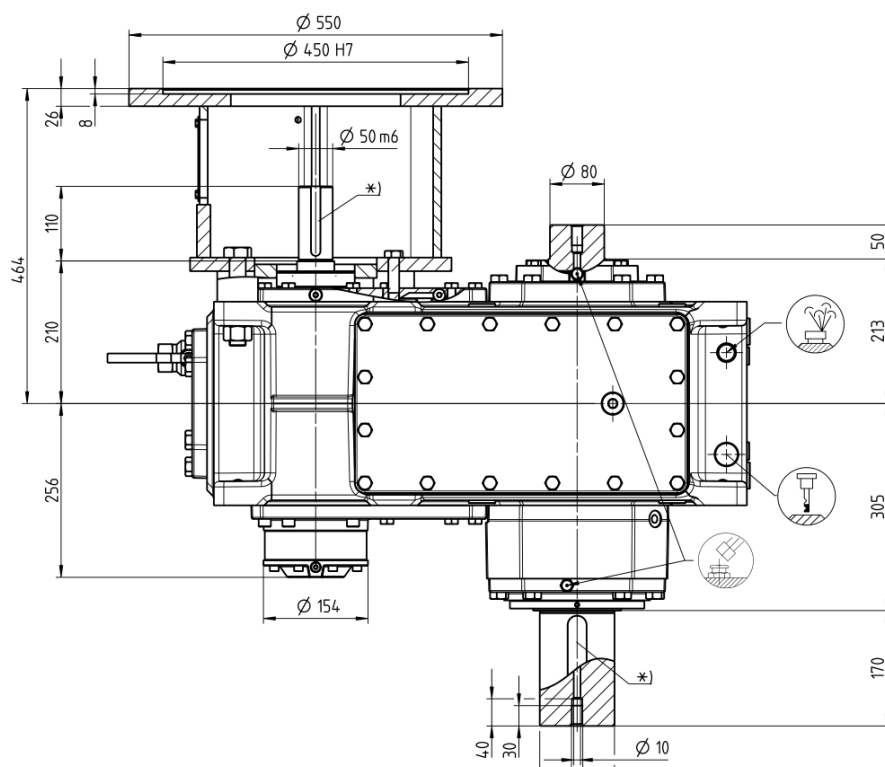




11 Bijlage SIMOTICS Asynchrone Generator

</

12 Bijlage FLENDER 85 kW Parallelas tandwielkast



FABRIK-NR.		46425830-110-1...10		Mass mom. of inertia		Scale	Unit	Tolerance: Tolerancing ISO 8015 / ISO 2768-mH General tol. for machining ±30 ±0.3		Material		Weight	1st Language	English
BAUART		H2SH		kgm²		1:5	MM					520 kg	2nd Language	German
GRÖÖE		7		From dwg				Author Seipelt, Martin		DIMENSIONAL DRAWING H2SH 07 H2SH07822.217+RSP+D2S+8ellag*LatSo				
AUSFÖHRUNG		B		Raw Part Drawing				Creator Seipelt, Martin						
LEISTUNG		P	85.0	kW		Other detail acc. to dwg		Approval 2021-05-07 Seipelt		MASSZCHNG H2SH 07 H2SH07822.217+RSP+D2S+8ellag*LatSo				
ANTRIEBSDREHZAHL		n ₁	67.6	1/min		Supersedes		Department FLE AP PNG OE VDS						
ABTRIEBSDREHZAHL		n ₂	1501.87	1/min		Product Definition Method Drawing		Change Order						
ÜBERSETZUNG		I ist	22.217	<div>FLENDER</div>		Doc State Released		Item No		Paper Size		A1		
ÖLMENGE		ca. 30 l				Doc No		F2E00743672A		RS		AA		
ÖL-VISKOSITÄT		ISO VG 320	PAO-OIL			Product ML/FB		TB / MB		Ref No		Sheet 1 of		
				©Flender Industrieantriebe GmbH 2021		Project No. 46425830								

Het rendement van de tandwielkast is niet gegeven. Algemeen geldt echter dat het maximumrendement voor oliegesmeerde schuin vertande parallelaskasten 0.98 per trap is. Het aantal trappen is drie zodat $\eta_{twk} = 0.98^3 = 0.94$.

13 Bijlage 90kW full power converter

Gegevens inverter BW80

Type ACS880-11-169A-3

I1 is stroom aan netzijde, I2 is uitgangsstroom, dus generator zijde.

Gaan uit van normaal gebruik.

IEC nominale waarden

Type ACS880 -11-	Frame -afm.	Nomi- nale waarde ingang	Max. stroom	Schijn- baar vermo- gen	Nominale waarden uitgang					
					Nominaal gebruik		Licht gebruik		Zwaar gebruik	
					I_2	P_N	I_{Ld}	P_{Ld}	I_{Hd}	P_{Hd}
		I_1	I_{max}	S_N						
		A	A	kVA	A	kW	A	kW	A	kW
3-fase $U_N = 400\text{ V}$										
09A4-3	R3	8	13,6	6,9	10,0	4,0	9,5	4,0	8,0	3,0
12A6-3	R3	10	17,0	8,9	12,9	5,5	12,0	5,5	10,0	4,0
017A-3	R3	14	21,9	12	17,0	7,5	16	7,5	12,9	5,4
025A-3	R3	20	28,8	17	25	11	24	11	17	7,5
032A-3	R6	27	42,5	22	32	15	30	15	25	11
038A-3	R6	33	54,4	26	38	18,5	36	18,5	32	15,0
045A-3	R6	40	64,6	31	45	22	43	22	38	18,5
061A-3	R6	51	76,5	42	61	30	58	30	45	22
072A-3	R6	63	103,7	50	72	37	68	37	61	30
087A-3	R6	76	122,4	60	87	45	83	45	72	37
105A-3	R8	88	148	73	105	55	100	55	87	45
145A-3	R8	120	178	100	145	75	138	75	105	55
169A-3	R8	144	247	117	169	90	161	90	145	75
206A-3	R8	176	287	143	206	110	196	110	169	90

Het rendement van de inverter, frame maat R8 = 97%.

Warmteverlies voor dit type is 3168Watt.

Dit klopt ongeveer bij 90kW aan netzijde is 117KVA generatorzijde.

Rendement

Rendement bij nominaal vermogensniveau:

Ongeveer 96% voor frame R3

Ongeveer 96,5% voor frame R6

Ongeveer 97% voor frame R8

Verliezen, koelgegevens en geluid

De stroomrichting is van beneden naar boven.

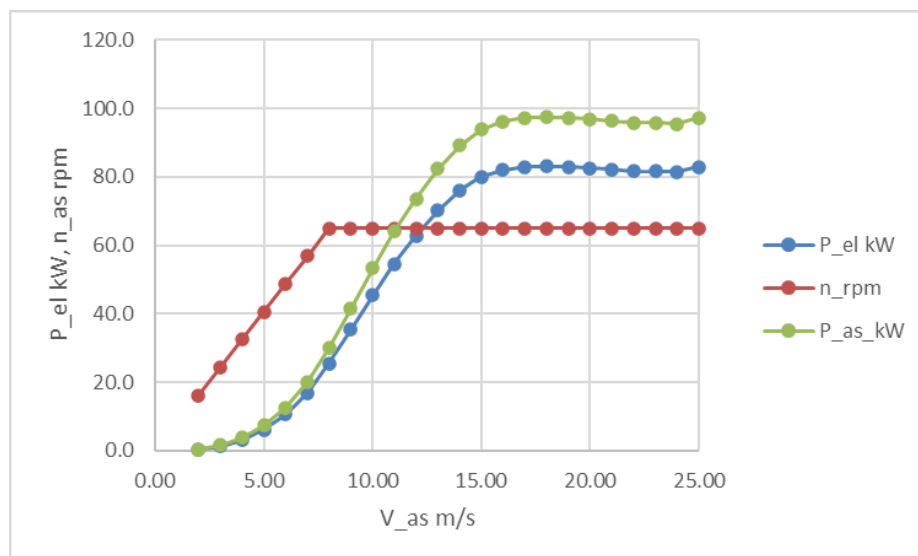
Deze tabel toont typische warmteverlies-waarden, vereiste luchtstroom en geluid bij de nominale waarden van de omvormer. De warmteverlies-waarden kunnen variëren, afhankelijk van spanning, kabelcondities, motorrendement en arbeidsfactor. Om nauwkeuriger waarden voor bepaalde condities te krijgen, kunt u ABB DriveSize tool gebruiken (<http://new.abb.com/drives/software-tools/drivesize>)

Type ACS880- 11	Warmteverlies	Luchtstroom		Geluid	Frame afm.
	W	m ³ /h	ft ³ / min	dB(A)	
3-fase $U_N = 400$ V					
09A4-3	226	361	212	57	R3
12A6-3	329	361	212	57	R3
017A-3	395	361	212	57	R3
025A-3	579	361	212	57	R3
032A-3	625	550	324	65	R6
038A-3	751	550	324	65	R6
045A-3	912	550	324	65	R6
061A-3	1088	550	324	65	R6
072A-3	1502	550	324	65	R6
087A-3	1904	550	324	65	R6
105A-3	1877	700	412	68	R8
145A-3	2963	700	412	68	R8
169A-3	3168	700	412	68	R8
206A-3	3990	805	412	68	R8

14 Bijlage Tabel met optimale P-n curve voor 80 kW

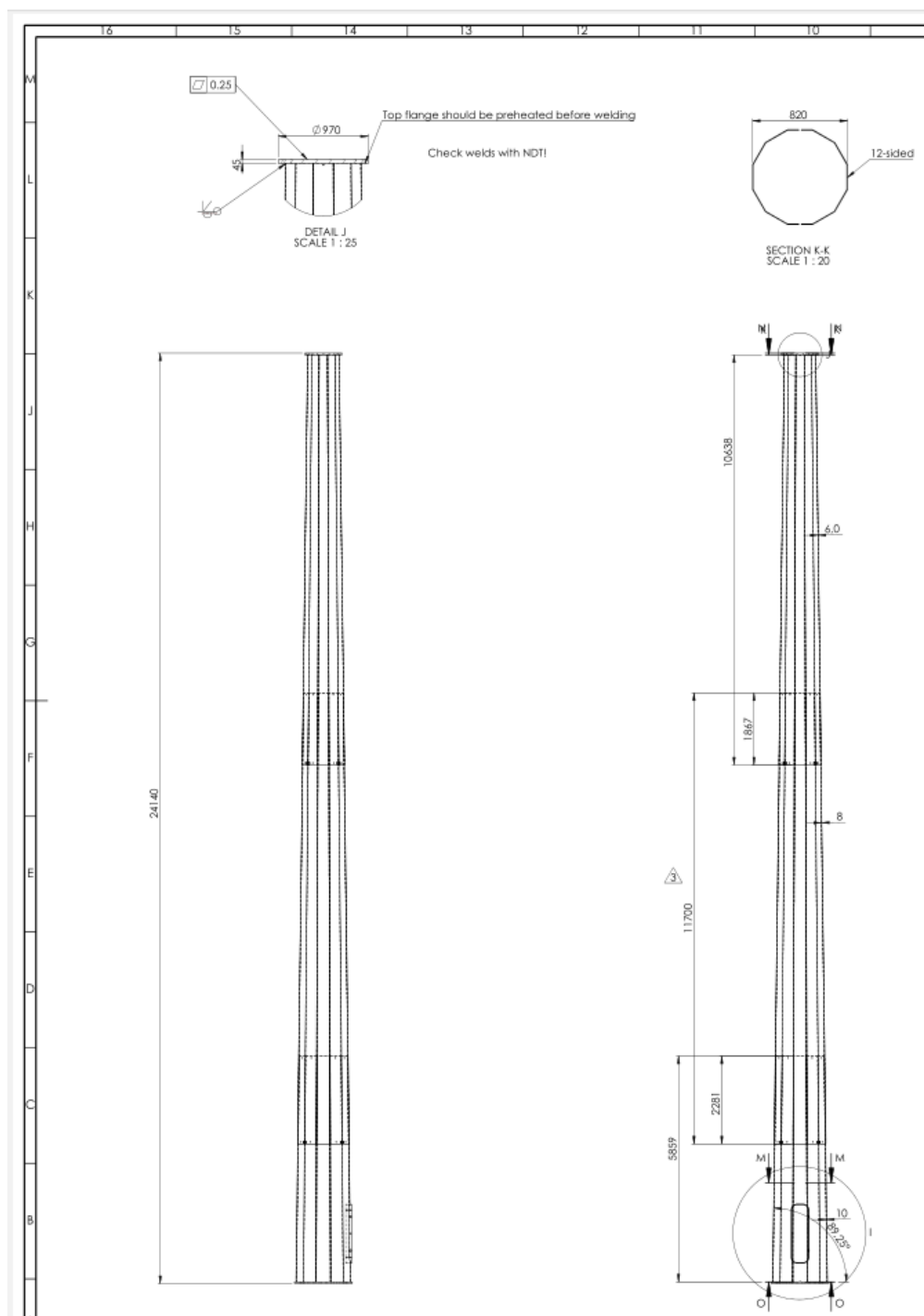
Het eerste deel is een kwadratische koppel-toeren kromme, het tweede deel is constant toeren.

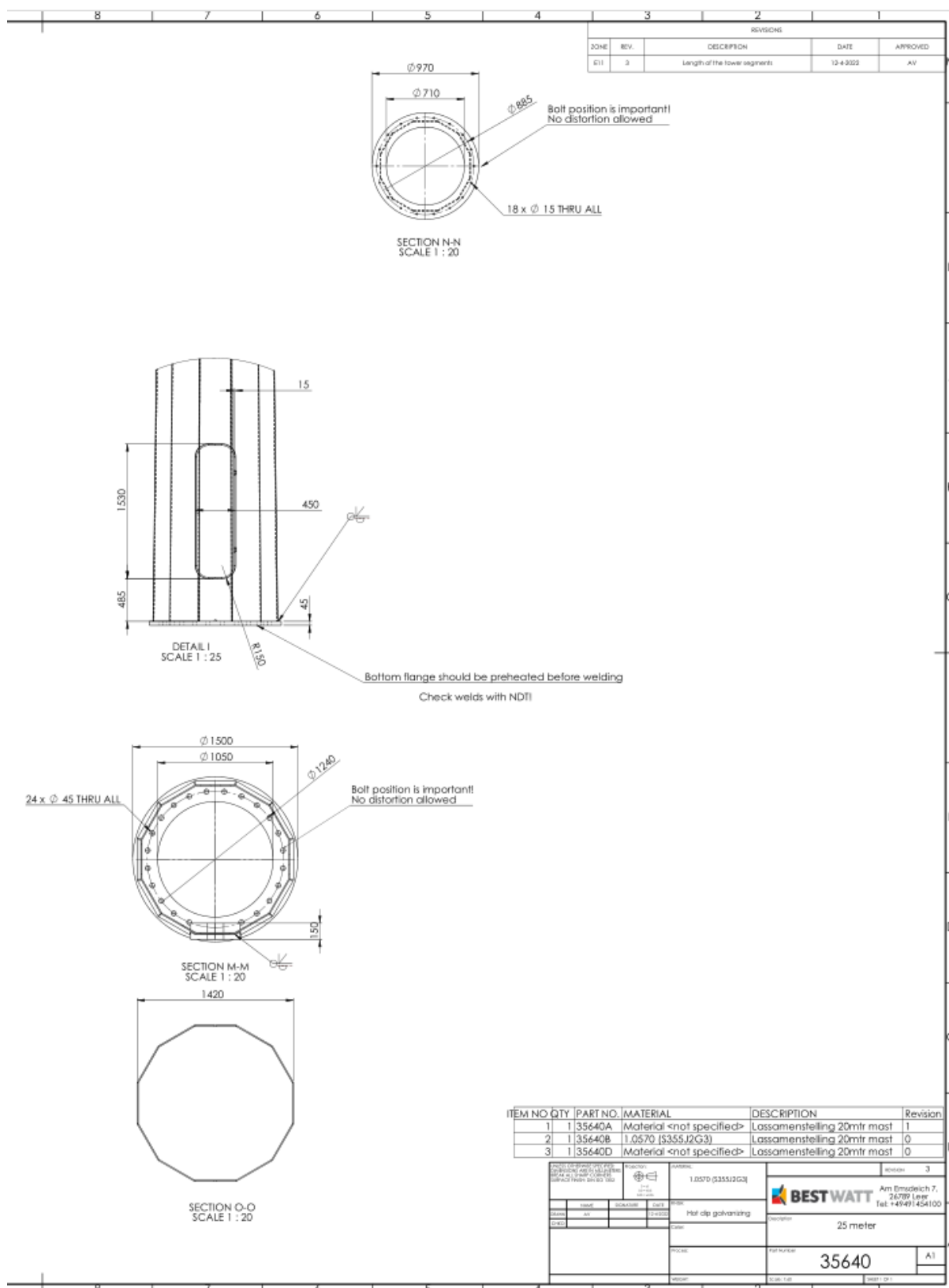
V_as	n_rpm
2.0	16.25
3.0	24.37
4.0	32.50
5.0	40.62
6.0	48.75
7.0	56.87
8.0	65.00
9.0	65.00
10.0	65.00
11.0	65.00
12.0	65.00
13.0	65.00
14.0	65.00
15.0	65.00
16.0	65.00
17.0	65.00
18.0	65.00



15 Bijlage Voorbeeld tekening BW80Mast compleet 25mtr-rev1-1

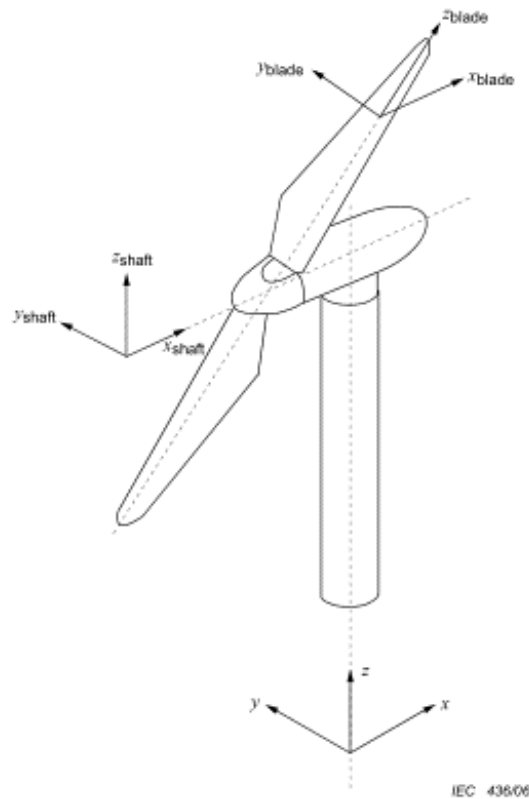
Getoond wordt de meest recente tekening van het BestWatt ontwerp voor een ashoogte van 25 m.





16 Bijlage Berekening vermoeiingsbelasting volgens NEN 61400-2

To define the directions of the loads of a horizontal axis wind turbine (HAWT), the system of axes shown in Figure 1 is used.



The following notes form part of the above figure:

Tower:

x is positive in the downwind direction, z is pointing up, y completes right hand coordinate system

the tower system is fixed

Shaft:

x_{shaft} is such that a positive moment about the x axis acts in the rotational direction

y_{shaft} and z_{shaft} are not used, only the combined moment is used

the shaft axis system rotates with the nacelle

Blade:

x_{blade} is such that a positive moment about the x-axis acts in the rotational direction

y_{blade} is such that a positive moment acts to bend the blade tip downwind

z_{blade} is positive towards blade tip

the blade coordinate system follows the right-hand convention for a rotor that spins clockwise and the left-hand convention for a rotor that spins counter clockwise when viewed from an upwind location.

the blade axis system rotates with the rotor

Figure 1 – Definition of the system of axes for HAWT

4.2 Symbols

A	cross section area	[m ²]
A_{proj}	the component area projected on to a plane perpendicular or parallel to the wind direction	[m ²]
a	slope parameter for turbulence standard deviation model	[-]
B	number of blades	[-]
C	scale parameter of the Weibull distribution function	[m/s]
C_d	drag coefficient	[-]
C_f	force coefficient	[-]
C_l	lift coefficient	[-]
C_T	thrust coefficient	[-]
Coh	coherency function	[-]
D	rotor diameter	[m]
e_r	distance from the centre of gravity of the rotor to the rotation axis	[m]
F	force	[N]
F_{zB}	force on the blade at the blade root in the spanwise direction	[N]
$F_{x\text{-shaft}}$	axial shaft load	[N]
f	frequency	[Hz]
f_k	characteristic value for material strength	[-]
G	ratio between rated torque and short circuit torque for a generator	[-]
g	acceleration due to gravity: 9,81	[m/s ²]
i	electrical current	[A]
I_B	mass moment of inertia of the blade about the blade root flap axis	[kgm ²]
I_{15}	characteristic value of hub-height turbulence intensity at a 10-min average wind speed of 15 m/s	[-]
K	modified Bessel function	[-]
k	shape parameter of the Weibull distribution function	[-]
L	isotropic turbulence integral scale parameter	[m]
L_{lt}	distance between the lifting point and the top of the tower	[m]
L_{rt}	distance between the rotor centre and the yaw axis	[m]
L_{rb}	distance between rotor centre and first bearing	[m]
L_c	coherency scale parameter	[m]
L_k	velocity component integral scale parameter	[m]
M_{xB}, M_{yB}	blade root bending moments	[Nm]
M_{brake}	torque on the low speed shaft caused by the brake	[Nm]
$M_{x\text{-shaft}}$	torsion moment on the rotor shaft at the first bearing	[Nm]
M_{shaft}	combined bending moment for the shaft at the first bearing (nearest to rotor)	[Nm]
M_{tower}	the bending moment in the tower at the lifting point attachment	[Nm]

Table 2 – Design load cases for the simplified load calculation method

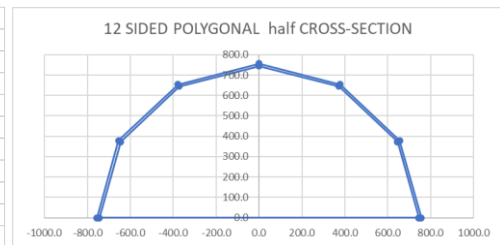
Design situation		Load cases	Wind inflow	Type of analysis	Remarks
Power production	A	Normal operation		F	
	B	Yawing	$V_{hub} = V_{design}$	U	
	C	Yaw error	$V_{hub} = V_{design}$	U	
	D	Maximum thrust	$V_{hub} = 2,5 V_{ave}$	U	Rotor spinning but could be furling or fluttering
Power production plus occurrence of fault	E	Maximum rotational speed		U	
	F	Short at load connection	$V_{hub} = V_{design}$	U	Maximum short-circuit generator torque
Shutdown	G	Shutdown (Braking)	$V_{hub} = V_{design}$	U	
Extreme wind Loading	H	Extreme wind loading	$V_{hub} = V_{e50}$	U	The turbine may be parked (idling or standstill) or governing. No manual intervention has occurred.
Parked and fault conditions	I	Parked wind loading, maximum exposure	$V_{hub} = V_{ref}$	U	Turbine is loaded with most unfavourable exposure
Transport, assembly, maintenance and repair	J	To be stated by manufacturer		U	
Key F analysis of fatigue loads U analysis of ultimate loads					

Other design load cases relevant for safety shall be considered, if required by the specific SWT design.

Blade loads:	see Olsen design documentation			Remark
Shaft loads:	ref. IEC 61400-2			
ontwerpvermogen (mechanisch)	P_nom	88888.9	W	Olsen Power curve
ontwerptoerental	n_design	65.0	rpm	Olsen Power curve
delta axiale asbelasting 61400-2	dFx-shaft	17302.0	N	17.3 kN
lambda_0	lambda_design	7.0	-	Olsen Power curve
ontwerpkoppel	Q_design	13058.9	Nm	
tip radius	R_	7.93	m	see 85062-rev5
askoppel 61400-2	dM_x-shaft	13715.0	Nm	
rotormassa	m_r	844.0	kg	Olsen 750 rotorblad
radius rotormassa tgv onbalans 61400-2	e_r	0.040	m	onbalansstraal rotormassa
bending moment bij hoofdlager 61400-2	dM_shaft	22853.0	Nm	

Tower loads	h_hub-h_tower	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	m	
ashoogte	h_hub	25.0	30.0	25.0	20.0	15.0	m	
tower length	h_tower	24.4	29.39	24.39	19.39	14.39	m	
voetmoment fatigue	dM_foot	432549.2	519059.1	432549.2	346039.4	259529.5	Nm	432.5 kNm
uitwendige diameter torenvoet	D_foot	1434.00	1434.00	1434.00	1434.00	1434.00	mm	
wanddikte torenvoet	t_foot	10.0	12.0	10.0	8.0	8.0	mm	D_m=1434
wanddikte torenmidden	t_mid	8.0	10.0	8.0	8.0	8.0	mm	
wanddikte torentop	t_top	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	mm	D_m=828
weerstandmoment tpv voetflens	W_foot	14269425	17051263	14269425	11463707	11463707	mm^3	factor zie Blad2
doormoment fatigue	dM_door	405635.1	492144.9	405635.1	319125.2	232615.4	Nm	
hoogte max spanning deurilas	h_door	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	m	opgemeten uit tek.
diameter toren tpv deurilas	D_door	1396.3	1402.6	1396.3	1386.9	1371.2	mm	
weerstandmoment tpv deurilas	W_door	13165638	13644483	10863823	10716371	10472857	mm^3	
spanningswisseling voetflens	dSig_b-foot	39.4	39.6	39.4	39.2	29.4	N/mm2	range incl SCF
spanningswisseling deurilas	dSig_b-door	49.3	57.7	49.3	47.6	35.5	N/mm2	idem
max. bedrijfsrotorthrust 61400-2	F_x-shaft	27286.2	27286.2	27286.2	27286.2	27286.2	N	27.2 kN
max. bedrijfsvoetmoment 61400-2	M_foot max	682153.9	818584.7	682153.9	545723.1	409292.4	Nm	max tijdens bedrijf
thrustfactor tijdens bedrijf	C_T	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	-	1309 kNm dM+M

weerstandsmoment 12 zijdige polygoon							
radius	745	inwendig					
t_wand	11	x_inw	y_inw	x_z	y_z	A	dl_yy
0	0	745.0	0.0	695.1	186.3	4242.0	2049570408
1	30	645.2	372.5	508.8	508.8	4242.0	1098361471
2	60	372.5	645.2	186.3	695.1	4242.0	147152535
3	90	0.0	745.0				
4	120	-372.5	645.2				
5	150	-645.2	372.5			I_yy	1.32E+10 mm4
6	180	-745.0	0.0			e_yy	734 mm
7	210	756.0	0.0			W_yy	17956863 mm3



traagheidsmoment cirkel met di=2r en wanddikte = t_wand				
d_i	1490	mm		
d_u	1512	mm		
d_gem	1501	mm		
I_yy	1.46E+10	mm4	0.392699	I_factor_rond
e_yy	756	mm		
W_yy	19322924	mm3		
ratio	1.076075			

Het traagheidsmoment van de dunwandige polygone doorsnede is
 $I_{xx}=I_{yy}=0.35432 \cdot \text{radius}^3 \cdot t_{\text{wand}}$
 (met inwendige radius)
 Het weerstandsmoment is:
 $W=I_{xx}/(\text{radius}+t_{\text{wand}})$

17 Bijlage Berekening flensverbinding kruilager – topflens mast

17.1 Data kruilager uit Rothe Erde catalogus

Series 25, 23, 28 profile bearing

Standard Series type 21, Bearing with restricted play

Bearing with external gearing		Geometry								Attachment		
Drawing number		$\varnothing D_L$ mm	$\varnothing D_a$ mm	$\varnothing D_i$ mm	H mm	$\varnothing O$ mm	$\varnothing U$ mm	$\varnothing C$ mm	H_a mm	$\varnothing L_a$ mm	n_1	M mm
5	231.21.0475.013 Type 21/520.1	414	504	305 + 0,08	56	412,5	417 + 0,10	375	10,5	455	10	12
6	231.21.0575.013 Type 21/650.1	544	640,8	435 + 0,10	56	542,5	547 + 0,11	505	10,5	585	14	12
7	231.21.0675.013 Type 21/750.1	644	742,8	535 + 0,11	56	642,5	647 + 0,13	605	10,5	685	16	12
8	231.21.0775.013 Type 21/850.1	744	838,8	635 + 0,13	56	742,5	747 + 0,13	705	10,5	785	18	12
9	231.21.0875.013 Type 21/950.1	844	950,4	735 + 0,13	56	842,5	847 + 0,14	805	10,5	885	18	12
10	231.21.0975.013 Type 21/1050.1	944	1046,4	835 + 0,14	56	942,5	947 + 0,14	905	10,5	985	20	12
11	231.21.1075.013 Type 21/1200.1	1094	1198,4	985 + 0,14	56	1092,5	1097 + 0,17	1055	10,5	1135	22	12

$\varnothing D_i$ from 1991 tip relief 0,1 · m

Centering height $H_a^* = 4,5$ mm

Centering height of the companion structure = $(H_2 - 1)$ mm

For loads above the bolt boundary load curve with raceway boundary load curve 4 the number of fastening bolts must be doubled.

Attachment				Gearing								Miscellaneous		
t mm	$\varnothing L_a$ mm	n_1	$\varnothing B$ mm	d mm	m mm	z	k · m mm	b mm	X1 kN	X2 kN	 kg	n_1	Y axial + radial mm	
20	332	12	18	495	5	99	- 0,5	45,5	11,75	23,50	29,3	4	≥ 0 to 0,03	
20	462	14	18	630	6	105	- 0,6	45,5	14,20	28,40	39,5	4	≥ 0 to 0,03	
20	562	16	18	732	6	122	- 0,6	45,5	14,20	28,40	47,6	4	≥ 0 to 0,04	
20	662	16	18	828	6	138	- 0,6	45,5	14,20	28,40	53,5	4	≥ 0 to 0,04	
20	762	18	18	936	8	117	- 0,8	45,5	18,93	37,86	65,1	4	≥ 0 to 0,05	
20	862	20	18	1032	8	129	- 0,8	45,5	18,93	37,86	69,6	4	≥ 0 to 0,05	
20	1012	20	18	1184	8	148	- 0,8	45,5	18,93	37,86	83,0	4	≥ 0 to 0,06	

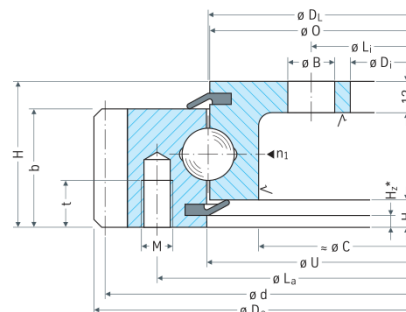
► n_1 = Tapered grease nipple
AM 8 x 1 DIN 71412
= evenly distributed

✓ = rolled

Diameter tolerances

Machined diameters with untoleranced drawing dimensions have the following tolerances:

- ≤ 315 mm ± 1,6 mm
- ≤ 1000 mm ± 2,5 mm
- ≤ 2000 mm ± 3,5 mm



Bearing selection series 25, 23, 28

Dit lager heeft in de flens (profile ring) 18 boutgaten met een diameter van 18 mm en wordt bevestigd aan de gondelbodem met 18 M16 bouten, moeren van kwaliteit 10.9 en HV ringen onder de boutkop en de moer. Het totaal gewicht wordt $29000 + 9.81 \cdot 65.1 + \text{bouten etc.}$ plm. 30 kN.

17.2 Bijlage Berekening flensverbinding - gondelbodem – lager

Berekening boutkracht lager met 18 bouten M16

Symbolen

F	Boutkracht	rood=formule
M	Tiltmoment	
G	Gewichtsbelasting	
F_v	Voorspanning	
Nb	Aantal bouten	

De maximale spanning wordt verwacht aan de achterzijde.

Uitgangspunt is dat de molen achterstevoren staat wegens defect kruimechanisme.

Input:

Nb	18	alle gaten bruikbaar
F_v	70650 N	170 Nm, 8.8 $\mu=0.12$
D_bout	16 mm	boutdiameter
A_b	201 mm ²	schachtdoorsnede
A_s	157 mm ²	spanningsdoorsnede (ult stress)
A_v	144 mm ²	kerndoorsnede (fat stress)
Dstc	762 mm	boutsteekcirkel
D_wand	834 mm	plaats waar uitwendige belasting aangrijpt
D_inw	734 mm	plaats waar de flens op kantelt
a_	14 mm	(hier de binnendiameter)
b_	36 mm	
t_wall	27 mm	

Berekening spanningsreductiefactor flensverbinding

δ_s	1.21E-06 mm/N	compliantie bout
δ_p	3.34E-07 mm/N	compliantie pakket
p	0.22 -	spanningsdoorleidingsfactor bout
q	0.78 -	spanningsdoorleidingsfactor pakket
E_	210000 Mpa	E-modulus
l_bolt	34.00 mm	boutlengte
t_lagerflens	12.00 mm	dikte lagerflens
t_gondel	10.00 mm	dikte gondelbodem
h_kop	10.00 mm	kophoogte
h_moer	8.00 mm	moerhoogte
D_ring	30.00 mm	ringdiameter
t_ring	3.00 mm	ringdikte
l_k	28 mm	klemlengte
d_w	22.4 mm	diameter kopgebied (steeksleutelwijdte)
d_ers	35.84 mm	vervangdiameter
d_h	18 mm	gatdiameter
A_ers	399.1 mm ²	vervangoppervlak
x	0.79 -	hulpfactor
Φ_n	0.19 -	spanningsreductiefactor

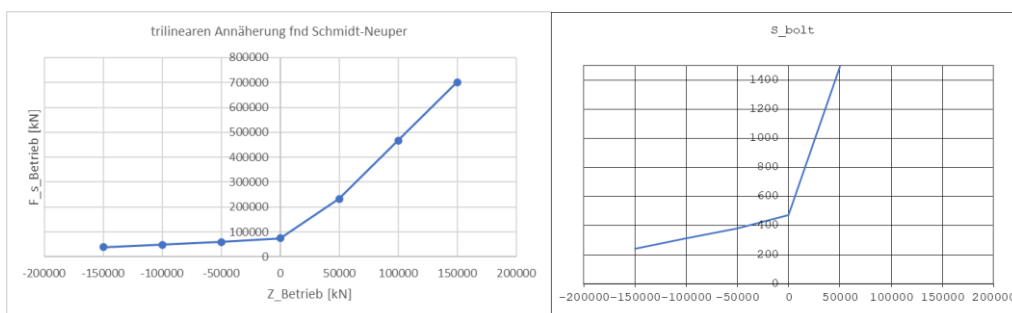
Berekening extreme spanning

M_	70065.0	Nm	aërodynamisch moment extreme storm
G_	-30000.0	N	axiale kracht
Z_wand	17002	N	maximale wandkracht per boutsegment
Z_2	19299	N	belasting waarboven kieren optreedt
SRF_kier	1.1	-	SRF_kier>1, OK
Sig_bout	562	N/mm ²	maximale boutspanning
Re_bout	900	N/mm ²	toelaatbare extreme boutspanning (18.8)
SRF	1.60	-	SRF > 1, OK

Voor een verklaring van de symbolen en het mogelijk optreden van 'kieren van een flensverbinding' wordt verwezen naar 19 bijlage Petersen Flange Calculation

Berekening vermoeïngsspanning

dM	10675.0	Nm	IEC 61400-2 (met arm dFx_shaft = 0.61 m)
Z_wand_fat	2844.4	N	variatie wandkracht per bout
dSig_fat	50.0	N/mm ²	toelaatbare spanningsrange zie EC3
dSig_bout	4.3	N/mm ²	actuele spanningsrange
SRF_fat	11.69	-	SRF > 1, OK



17.3 Bijlage Berekening flensverbinding lager – topflens mast

Berekening flensverbindingen kruilager extreme storm en vermoeiing

Symbolen

F	Boutkracht	rood=formule
M	Tiltmoment	
G	Gewichtsbelasting	
F_v	Voorspanning	
Nb	Aantal bouten	

De lagerbelastingen zijn bepaald in de mastspreadsheets.

De maximale spanning wordt verwacht aan de achterzijde. Hierbij is aangenomen dat de molen achterstevoren staat wegens defect kruimechanisme.

Het lager heeft draadgaten waarin tapeinden vastgedraaid en geborgd worden.

De gondel wordt geassembleerd en getransporteerd op een daarop passend transportframe. Bij installatie THV moeren kwaliteit 10 en HV ringen toepassen en borgen met borgmoer.

Invoergegevens

D_bout	12 mm	boutdiameter
A_b	113 mm ²	schachtdoorsnede
A_s	84 mm ²	spanningsdoorsnede (ult stress)
A_v	76 mm ²	kernddoorsnede (fat stress)
Re_bout	900 N/mm ²	toelaatbare extreme boutspanning
Nb	18 -	alle 18 bruikbaar
F_0.2	75600 N	maximaal toelaatbare boutkracht
F_v	37800 N	optimale voorspankracht
Dstc	885 mm	boutsteekcirkel
D_wand	847 mm	plaats waar uitwendige belasting aangrijpt
D_uitw	936 mm	plaats waar de flens op kantelt (tand)
a_	26 mm	(hier de binnendiameter)
b_	19 mm	(een kwart kogeldiameter bij opgeteld)
t_wall	27 mm	

Berekening spanningsreductiefactor flensverbinding

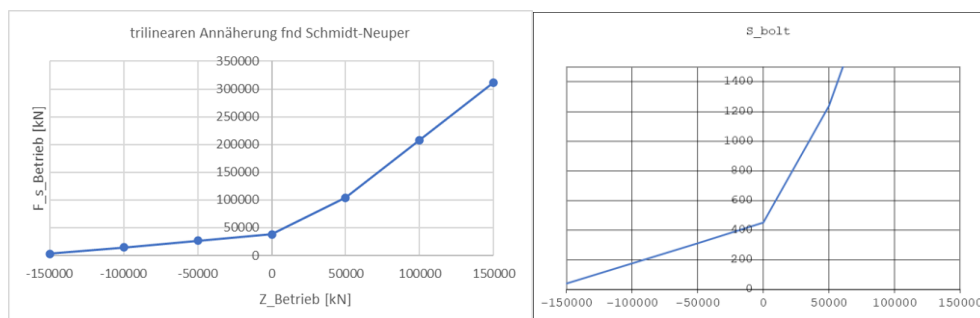
δ_s	3.59E-06 mm/N	compliantie bout
δ_p	1.03E-06 mm/N	compliantie pakket
p	0.22 -	spanningsdoorleidings factor bout
q	0.78 -	spanningsdoorleidings factor pakket
E_	210000 Mpa	E-modulus
t_lager	20.00 mm	dikte lagerflens (schroefdraadboring)
t_topflens	45.00 mm	dikte topflens (boutgat)
h_kop	7.50 mm	kophoogte
h_moer	6.00 mm	moerhoogte
D_ring	24.00 mm	ringdiameter
t_ring	2.50 mm	ringdikte
l_k	67.5 mm	klemlengte
d_w	16.8 mm	diameter kopgebied
d_ers	26.88 mm	vervangdiameter
d_h	14.00 mm	gatdiameter
A_ers	312.1 mm ²	vervangoppervlak
x	1.16 -	hulpfactor
Φ_n	0.20 -	spanningsreductiefactor

Berekening extreme spanning

M_	70065	Nm	M_xy moment extreme storm IEC class 2
G_	-30310	N	incl eigen gewicht lager en gF 1.1
Z_wand	16709	N	maximale wandkracht per boutsegment
Z_2	23409	N	belasting waarboven kieren optreedt
SRF_kier	1.4	-	SRF_kier>1, OK
Sig_bout	517	N/mm ²	maximale boutspanning
SRF	1.74	-	SRF >1, OK
M_aanhaal	125	Nm	aanhaalmoment (R&M 8.27 $\mu=0.14$ MoS2)
P_	1.75	mm	spoed van de schroefdraad

Berekening vermoeïngsspanning

dM	10675	Nm	IEC 61400-2 (met arm dFx_shaft = 0.61 m)
Z_wand_fat	2802	N	variatie wandkracht per bout
dSig_fat	36.8	N/mm ²	toelaatbare spanningsrange zie EC3
dSig_bout	8.2	N/mm ²	actuele spanningsrange
SRF_fat	4.48	-	SRF > 1, OK



18 Bijlage Berekening flensverbinding voetflens mast - funderingsbuis

18.1 Belastingen voetflens voor mast 30 m ashoogte

De extreme belastingen zijn voor alle masthoogtes berekend met spreadsheets voor het belastinggeval Extreme storm voor IEC windklasse 2. De hoogste belasting treedt op voor de 30 m mast. Deze wordt voor de voetflensberekening als uitgangspunt genomen en gebruikt voor de dimensionering van alle masten.

Alle funderingsbelastingen zijn weergegeven in Bijlage Tabel Funderingsbelastingen 15m - 30m:

ashoogte 30 m		
FX kN	FZ kN	MY kNm
150.6	-140.4	3156.6

18.2 Berekening voetflens voor 30 m ashoogte

Berekening boutkracht voetflens met 24xM42 10.9

Symbolen

F	Boutkracht	rood=formule
M	Tiltmoment	
G	Gewichtsbelasting	
F_v	Voorspanning	
Nb	Aantal bouten	

Plaatsing van de mastopening aan de Noord-Oost zijde heeft de voorkeur.

De mastvoetflens wordt dmv. 24 THV bouten M42 Regelgewinde kwaliteit 10.9

bevestigd op de tegenflens van de in de grond getrilde funderingsbuis.

De flenzen zijn van het inwendige type. Gebruik een hydraulische momentsleutel.

Het aanhalen van de bouten dient kruislings te geschieden in minimaal twee stappen in het aanhaalmoment dat 7640 Nm moet bedragen (R&M $\mu=0.14$ MoS2).

Invoergegevens

D_bout	42 mm	boutdiameter
A_b	1385 mm ²	schachtdoorsnede
A_s	1120 mm ²	spanningsdoorsnede (ult stress)
A_v	1045 mm ²	kerndoorsnede (fat stress)
Re_bout	900 N/mm ²	toelaatbare extreme boutspanning
Nb	24 -	
F_0.2	1008000 N	maximaal toelaatbare boutkracht
F_v	705600 N	optimale voorspankracht
Dstc	1240 mm	boutsteekcirkel
D_wand	1434 mm	plaats waar uitwendige belasting aangrijpt
D_inw	800 mm	plaats waar de flens op kantelt
a_	220 mm	(kantelpunt op binnendiameter)
b_	97 mm	
s_	162 mm	steek/diameter=3.9

Berekening spanningsreductiefactor flensverbinding

δ_s	4.76E-07 mm/N	compliantie bout
δ_p	1.27E-07 mm/N	compliantie pakket
p	0.21 -	spanningsdoorleidingsfactor bout
q	0.79 -	spanningsdoorleidingsfactor pakket
E_	210000 Mpa	E-modulus
t_fundering	20.00 mm	dikte funderingsflens
t_voetflens	45.00 mm	dikte voetflens mast
h_kop	26.00 mm	kophoogte
h_moer	34.00 mm	moerhoogte
D_ring	78.00 mm	ringdiameter
t_ring	7.00 mm	ringdikte
l_k	79 mm	klemlengte
d_w	58.8 mm	diameter kopgebied
d_ers	94.08 mm	vervangdiameter
d_h	45.00 mm	gatdiameter
A_ers	2969.3 mm ²	vervangoppervlak
x	0.81 -	hulpfactor
Φ_n	0.19 -	spanningsreductiefactor

Berekening extreme spanning

M_	3.13E+06	Nm	M_xya moment extreme storm incl. gF 1.35
G_	-127600	N	axiale kracht incl gF 1.1 (30 m mast)
SCF_voetflens	1.4	-	SCF op voetflens tgv mastopening
Z_wand	502229	N	maximale wandkracht per boutsegment
Z_2	548072	N	belasting waarboven kieren optreedt
SRF_kier	1.1	-	SRF_kier>1, OK
Sig_bout	771	N/mm ²	maximale boutspanning
SRF	1.17	-	SRF >1, OK
M_aanhaal	7640	Nm	aanhaalmoment (R&M 8.27 μ =0.14 MoS2)
P_	4.5	mm	spoed van de schroefdraad M42 Regelgewinde

Berekening vermoeïngsspanning

dM	525000	Nm	IEC 61400-2 (met arm dFx_shaft = 30 m)
Z_wand_fat	61018	N	variatie wandkracht per bout
corr	0.92	-	correctiefactor D>30 EC3
dSig_fat	33.9	N/mm ²	toelaatbare spanningsrange zie EC3
dSig_bout	12.3	N/mm ²	actuele spanningsrange
SRF_fat	2.76	-	SRF > 1, OK

De boutkracht varieert van 733 tot 762 kN en blijft daarmee onder 893 kN, waarop kieren van de flens optreedt.

De flensverbinding voldoet voor alle ashoogtes en IEC windklassen 2.

19 Petersen Flange Calculation

The bolt force is calculated according to the Petersen flange calculation [9].

For this calculation are necessary to be known:

- the dimensions a and b (see fig Seidel) and
- p (compliance of the bolt) and q (compliance of the clamped parts).

For p and q see section 1.1.3.

Z is the force in the tower wall, calculated from the maximum wall stress multiplied with the tower surface per bolt:

$$Z = \sigma_{\text{wall,max}} \cdot A_{\text{tower}} / n_{\text{bolts}}$$

With: A_{tower} = circular wall cross section area,

n_{bolts} = number of bolts.

Depending on the type of flange, a factor is used to calculate a^* :

$$a^* = \text{factor} \cdot a$$

With:

factor = 0.7, for a flat flange

factor = 0.9, for a flange with predefined contact surfaces (recess).

Lambda is the factor to calculate the force on the bolt when a gap is pulled

($F_{\text{bolt}} = Z \cdot \lambda^*$):

$$\lambda^* = (a^* + b) / (a^*)$$

The bolt force ranges Z_I and Z_{II} are calculated as follows:

$$Z_I = [(a - 0.5b) / (a+b)] \cdot F_v$$

$$Z_{II} = [1 / (\lambda^* \cdot q)] \cdot F_v$$

With:

F_v = pre stress of the bolt

$$= 0.7 \cdot A_{s,\text{bolt}} \cdot \sigma_{\text{Re,bolt}}$$

($A_{s,\text{bolt}}$ = stress area of the bolt)

The following relations are used to determine the force in the bolt depending on the value of Z:

$$\begin{aligned} F'_{\text{VS}} &= F_v + p \cdot Z & \text{if } Z \leq Z_I \\ F'_{\text{VS}} &= F_v + p \cdot Z_I + \{\lambda^* \cdot Z_{II} - (F_v + p \cdot Z_I)\} (Z - Z_I) / (Z_{II} - Z_I) & \text{if } Z_I < Z < Z_{II} \\ F'_{\text{VS}} &= \lambda^* \cdot Z & \text{if } Z \geq Z_{II} \end{aligned}$$

Equation 1 Bolt force

1.1.1 Elastic stiffness of the bolt

The elastic stiffness of the bolt and nut is calculated according to:

$$C_{\text{bolt}} = E \left(\frac{1/4 \pi D_b^2}{0.8 D_b + l_c} + \frac{A_{s,\text{bolt}}}{0.5 D_b} \right)$$

With:

D_b = nominal diameter of the bolt
 l_c = clamp length bolt = length between bolt head and nut (in the calculations the thickness of the washers is neglected)

1.1.2 Elastic stiffness of the flange

The elastic stiffness of the total flange package is calculated according to VDI 2230 [2].

$$C_{2flanges} = E \cdot (A_{ers} / l_c)$$

With:

A_{ers} = stress surface of the flange

The stress surface of the flange is calculated according to VDI 2230 [2]:

$$A_{ers} = \frac{\pi}{4} (D_{w,bolt}^2 - d_h^2) + \frac{\pi}{8} D_{w,bolt} (D_A - D_{w,bolt}) [(x+1)^2 - 1]$$

With:

$$x = \sqrt[3]{\frac{l_c D_{w,bolt}}{D_A^2}}$$

l_c = Clamping length

$D_{w,bolt}$ = Spanner width

d_h = Diameter hole

D_A = Maximum diameter of the stress = $1.6 D_{w,bolt}$

D_A is set to $1.6 D_{w,bolt}$. This is smaller than according to VDI 2230 [2], but conservative because a smaller D_A causes a smaller A_{ers} and a smaller $C_{2flanges}$. A smaller $C_{2flanges}$ causes a larger p , see next section, which has a negative influence on the fatigue loads acting on the bolt.

1.1.3 Determining spring factors

The spring constant of the bolt is:

$$p = C_{bolt} / C$$

The spring constant of the compressed parts is:

$$q = C_{2flanges} / C$$

With:

$$C = C_{bolt} + C_{2flanges}$$

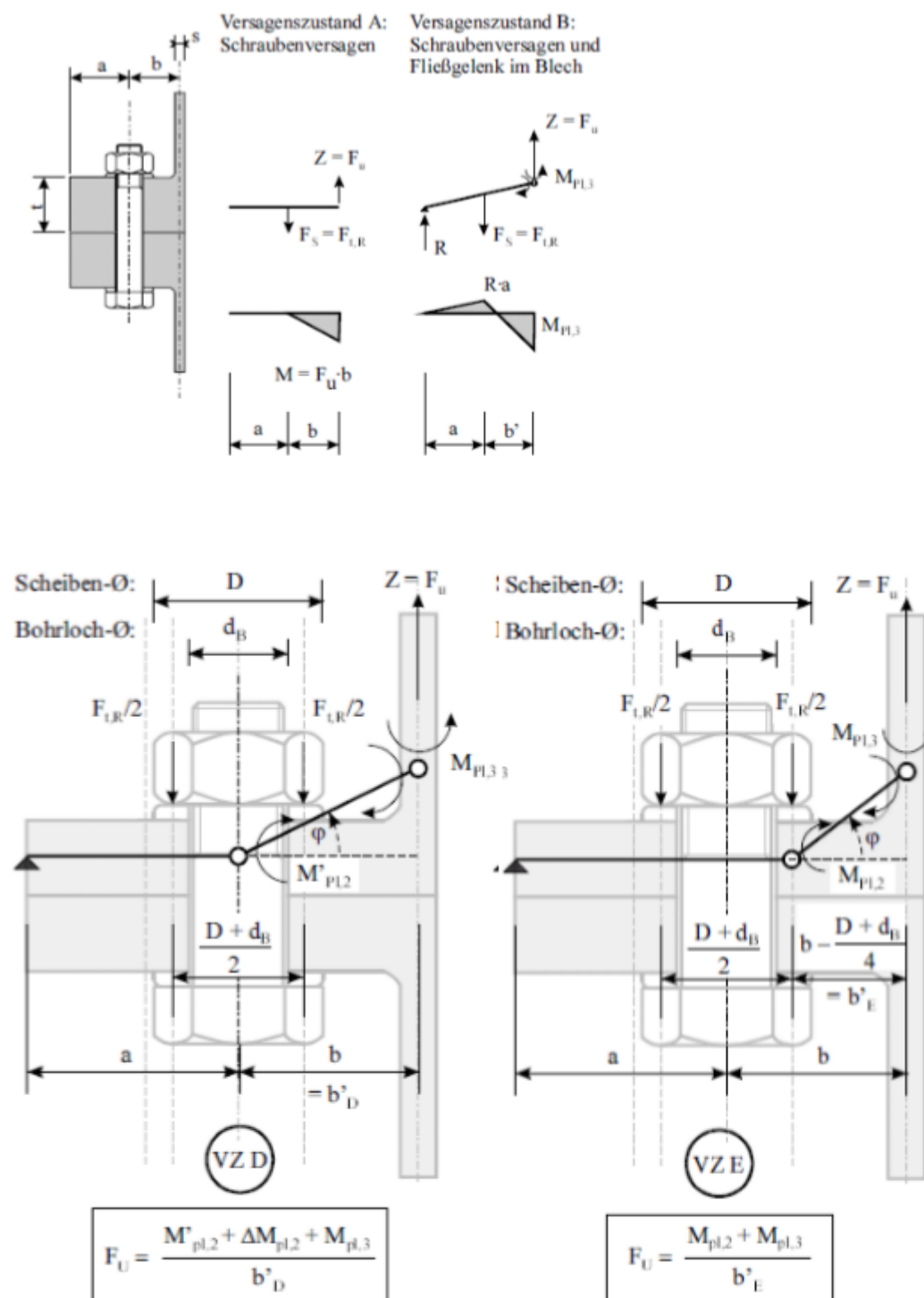


Fig. Schematische weergave van wijzen waarop flensverbindingen de bout belasten.

Faaltoestand A: de bout breekt zonder vloeien in de flens en wand en zonder kieren.

Faaltoestand B: de bout breekt met vloeien in de wand maar zonder vloeien in de flens.

EZDL	Rapport berekening BW80 15-30m ashoogte windturbinemasten	pagina 46 van 51
-------------	--	------------------

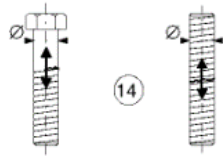
Faaltoestand D: de wand vervormt en de flens vervormt midden onder de boutkop/moer waar het boutgat de flens het meest verzwakt.

Faaltoestand E: de wand vervormt en de flens vervormt aan de rand van de boutkop/moer waar de trekkracht van de bout de vervorming niet hindert.

Metrische	fijschroef	ISO	Van: Stinissen, Jan											
Verzonden	Friday	24	July	2009	12:16	PM				Rekentool A_k en A_s tot/met. M68x6				
Aan:	Drost,	Laurens								http://www.iso-gewinde.at				
Onderwerp: E-mail met bijlage (attachment):				Metrische schroefdraad ISO.htm										

	diameter	Spoed	Radius	diameter	kerndiameter		schroef	moer						
	d	P	R	d2=D2	d3	D1	h3	H1	boor	A_s	A_k			
	M1x0.25	0.25	0.036	0.838	0.693	0.729	0.153	0.135	0.75	0.46	0.38			
	M1.1x0.25	0.25	0.036	0.938	0.793	0.829	0.153	0.135	0.85	0.59	0.49			
	M1.2x0.25	0.25	0.036	1.038	0.893	0.929	0.153	0.135	0.95	0.73	0.63			
	M1.4x0.3	0.3	0.043	1.205	1.032	1.075	0.184	0.162	1.1	0.98	0.84			
	M1.6x0.35	0.35	0.051	1.373	1.171	1.221	0.215	0.189	1.25	1.27	1.08			
	M1.8x0.35	0.35	0.051	1.573	1.371	1.421	0.215	0.189	1.45	1.70	1.48			
	M2x0.4	0.4	0.058	1.74	1.509	1.567	0.245	0.217	1.6	2.07	1.79			
	M2.2x0.45	0.45	0.065	1.908	1.648	1.713	0.276	0.244	1.75	2.48	2.13			
	M2.5x0.45	0.45	0.065	2.208	1.948	2.013	0.276	0.244	2.05	3.39	2.98			
	M3x0.5	0.5	0.072	2.675	2.387	2.459	0.307	0.271	2.5	5.03	4.48			
	M3.5x0.6	0.6	0.087	3.11	2.764	2.85	0.368	0.325	2.9	6.77	6.00			
	M4x0.7	0.7	0.101	3.545	3.141	3.242	0.429	0.379	3.3	8.78	7.75			
	M4.5x0.75	0.75	0.108	4.013	3.58	3.688	0.46	0.406	3.8	11.32	10.07			
	M5x0.8	0.8	0.115	4.48	4.019	4.134	0.491	0.433	4.2	14.18	12.69			
	M6x1	1	0.144	5.35	4.773	4.917	0.613	0.541	5	20.12	17.89			
	M7x1	1	0.144	6.35	5.773	5.917	0.613	0.541	6	28.86	26.18			
	M8x1.25	1.25	0.18	7.188	6.466	6.647	0.767	0.677	6.8	36.61	32.84			
	M9x1.25	1.25	0.18	8.188	7.466	7.647	0.767	0.677	7.8	48.12	43.78			
	M10x1.5	1.5	0.217	9.026	8.16	8.376	0.92	0.812	8.5	57.99	52.30			
	M11x1.5	1.5	0.217	10.026	9.16	9.376	0.92	0.812	9.5	72.28	65.90			
	M12x1.75	1.75	0.253	10.863	9.853	10.106	1.074	0.947	10.2	84.26	76.25			
	M14x2	2	0.289	12.701	11.546	11.835	1.227	1.083	12	115.44	104.70			
	M16x2	2	0.289	14.701	13.546	13.835	1.227	1.083	14	156.67	144.12			
	M18x2.5	2.5	0.361	16.376	14.933	15.394	1.534	1.353	15.5	192.47	175.14			
	M20x2.5	2.5	0.361	18.376	16.933	17.294	1.534	1.353	17.5	244.79	225.19			
	M22x2.5	2.5	0.361	20.376	18.933	19.294	1.534	1.353	19.5	303.40	281.53			
	M24x3	3	0.433	22.051	20.319	20.752	1.84	1.624	21	352.49	324.26			
	M27x3	3	0.433	25.051	23.319	23.752	1.84	1.624	24	459.39	427.08			
	M30x3.5	3.5	0.505	27.727	25.706	26.211	2.147	1.894	26.5	560.59	518.99			
	M33x3.5	3.5	0.505	30.727	28.706	29.211	2.147	1.894	29.5	693.56	647.20			
	M36x4	4	0.577	33.402	31.093	31.67	2.454	2.165	32	816.74	759.30			
	M39x4	4	0.577	36.402	34.093	34.67	2.454	2.165	35	975.77	912.89			
	M42x4.5	4.5	0.65	39.077	36.479	37.129	2.76	2.436	37.5	1120.90	1045.14			
	M45x4.5	4.5	0.65	42.077	39.479	40.129	2.76	2.436	40.5	1306.00	1224.11			
	M48x5	5	0.722	44.752	41.866	42.857	3.067	2.706	43	1473.15	1376.62			
	M52x5	5	0.722	48.752	45.866	46.587	3.067	2.706	47	1757.83	1652.23			
	M56x5.5	5.5	0.794	52.428	49.252	50.046	3.374	2.977	50.5	2030.02	1905.19			
	M60x5.5	5.5	0.794	56.428	53.252	54.046	3.374	2.977	54.5	2362.03	2227.21			
	M64x6	6	0.866	60.103	56.639	57.505	3.681	3.248	58	2675.99	2519.54			
	M68x6	6	0.866	64.103	60.639	61.505	3.681	3.248	62	3055.31	2887.98			

EZDL	Rapport berekening BW80 15-30m ashoogte windturbinemasten	pagina 47 van 51
-------------	--	------------------

50	size effect for $t > 30\text{mm}$: $k_s = (30/t)^{0.25}$		<p>14) Bolts and rods with rolled or cut threads in tension. For large diameters (anchor bolts) the size effect has to be taken into account with k_s.</p> <p>14) $\Delta\sigma$ to be calculated using the tensile stress area of the bolt. Bending and tension resulting from prying effects and bending stresses from other sources must be taken into account. For preloaded bolts, the reduction of the stress range may be taken into account.</p>
----	--	---	--

Voorspankracht $F_v =$	750	kN				
Anzugsdrehmoment $T_{an} =$	4750.965	Nm	ref. Decker. Maschinenelemente			
$P_{\text{—}}$	4.5	mm	spoed			
$\mu_{\text{—}}$	0.12	-	wrijvingscoëff			
$d2_{\text{—}}$	39.077	mm	flankdiameter			
D_M	54.5	mm	wrijvingsdiameter			
D_a	65	mm	kopdiameter			
D_i	44	mm	gatdiameter			

Opmerking: deze gegevens zijn bedoeld voor de 30 m mast in een IEC class 2 windregiem, maar volstaan ook voor de lagere ashoogtes en/of lagere windklassen..

EZDL	Rapport berekening BW80 15-30m ashoogte windturbinemasten	pagina 48 van 51
-------------	--	------------------

20 Bijlage Berekening slip-joints

De mastdelen worden dmv slip-joints gekoppeld. Door de polygone vorm is verdraaien om de lengte as van de beide op deze wijze gekoppelde mastdelen uitgesloten. De delen worden niet anders in elkaar geperst dan door het eigen gewicht van de erboven liggende turbinedelen (info TvdB). Het bovenste deel komt bij het aanbrengen tot stilstand tgv de coniciteit van beide delen en de wrijving ertussen. De coniciteit veroorzaakt dat het bovenste mastdeel op trek en het onderste mastdeel op druk in omtreksrichting belast wordt.

De druk op het onderste deel kan knik van de wand naar binnen veroorzaken. Dat zou in principe ruimte kunnen vrijmaken om het bovenste deel eraf te kantelen wat natuurlijk een falen van de verbinding betekent. Deze faalkans wordt verkleind door de lengte van de slip-joint te vergroten. Een onderzoek naar dimensionering van de slip-joints in de kleinere turbines leert dat de lengte van de joints steeds ongeveer 1.8 keer de bovenste diameter bedraagt. Dat is in de hier geproduceerde masten ook aangehouden.

Tevens van belang is de coniciteit. Deze bepaalt mede de voorspanning tgv van het eigen gewicht. De coniciteit is ongeveer hetzelfde gehouden. De masten hebben vanuit een oogpunt van produceerbaarheid voor alle masthoogtes dezelfde top- en voetdiameters. Dat impliceert natuurlijk verschillende coniciteiten voor verschillende ashoogtes. De langste mast in dit opzicht is de meest kritieke:

- De coniciteit is het minst, waardoor de spanning in omtreksrichting tpv de slip-joint het hoogst is.
- De spanning is tevens het hoogst omdat het de langste mast is vw kracht maal arm van de gondel tov de voetflens en vw het grotere windvangende oppervlak in extreme storm.
- De opslingering in extreme storm is het hoogst wegens de lage resonantiefrequentie. De vlaagfrequentie is plm 0.17 Hz en dit komt dichterbij de resonantiefrequentie bij een slappe mast.
- De plaatlengte dient onder 11.7 m te blijven, wschl in verband met de breedte van de zetbank bij MITAS. Zowel de 25 m als de 30 m ashoogte mast moeten daardoor twee slipjoints krijgen.
- Er is getracht de slip-joints zo laag mogelijk te krijgen. Dat bespaart materiaal kosten omdat het moment in extreme storm een parabolisch verloop heeft, waardoor de optimale wanddikte beneden het snelst toeneemt. De dikste wand zit dan in de kortste stukken mast.

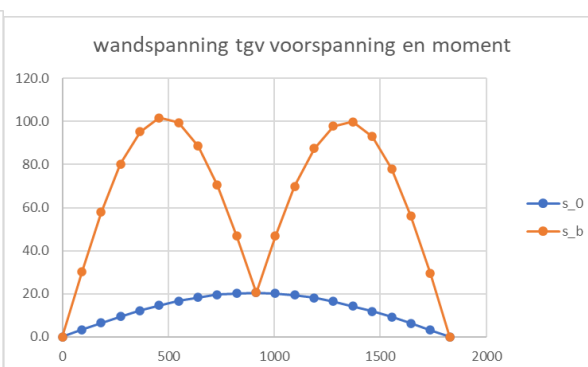
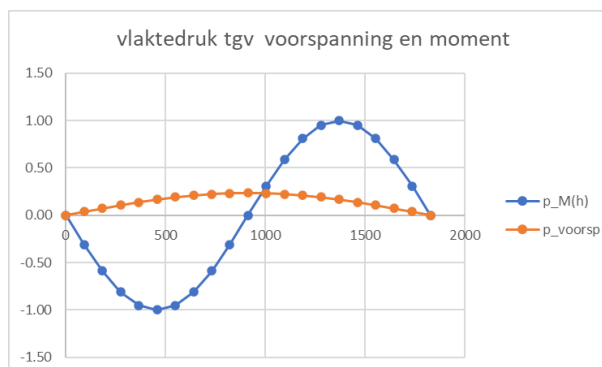
Uitgevoerde berekeningen

Voor een in 20 stapjes verdeelde lengte van een slip-joint zijn de druk tgv de voorspanning bepaald en de druk tgv het moment dat overgedragen moet worden. Voor de drukverdeling is uitgegaan van een sinusvormig verloop (over 180 graden). Dat lijkt beter dan een uniform verloop, omdat aan het open eind van de plaatdelen meer rek optreedt waardoor daar minder druk opgebouwd wordt. Eenzelfde redenering is gevolgd voor de druk tgv het over te dragen buigende moment alleen is hier een sinusvorm van 0 – 360 graden genomen omdat er voor een moment in de bovenhelft een

tegengesteld moment nodig is van dat in de onderhelft. De grootte van de druk (de amplitude van het verloop) is bepaald door doelzoeken: voor de druk is het gewicht met wrijving 0 maatgevend gemaakt en voor het moment het mastmoment vlak boven de joint (actie = min reactie). De spanningen in omtreksrichting van de plaat zijn berekend dmv de ketelformule. De hoogste spanningen van beide zijn opgeteld. Uit de axiale spanning en de tangentele spanning zijn tenslotte de resulterende spanning bepaald die getoetst wordt aan de rekgrens van het plaatmateriaal.

De 30 m mast heeft plaatdiktes van 6, 10 en 12 mm. De spanningsreserve van de dunste van de twee in een joint is berekend (de trekspanning). De eerste berekening is de 6 mm plaat.

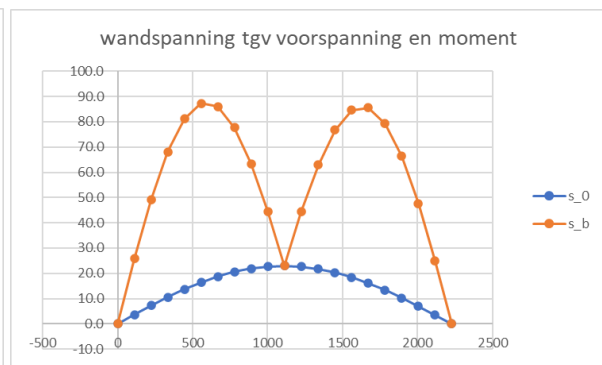
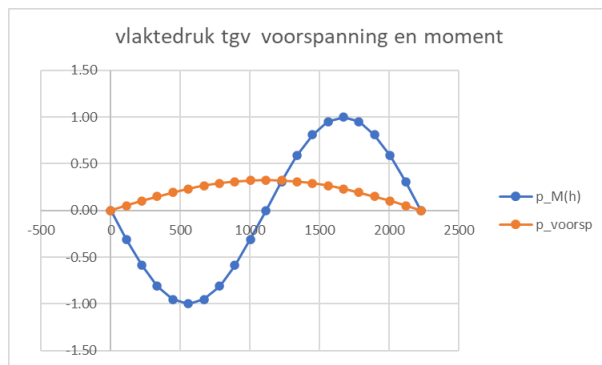
h_mm	D_u	A_proj	I_proj	trekspanning in de wand				trekspanning in de wand			
				drukverloop		drukverloop		s_b		SRF	dF_trek
				p_voorsp	s_0	p_M(h)	M(h)				
1827	1015	92813	7.86E+10	0.00	0.0	0.00	0.00E+00	0.0	10.00		0
1735.65	1017.023626	92998	6.39E+10	0.04	3.1	0.31	3.52E+07	29.4	10.00		688
1644.3	1019.047251	93182	5.07E+10	0.07	6.2	0.59	5.96E+07	56.2	6.32		1362
1552.95	1021.070877	93367	3.90E+10	0.11	9.1	0.81	7.19E+07	78.1	4.55		2005
1461.6	1023.094503	93552	2.88E+10	0.14	11.9	0.95	7.26E+07	93.0	3.82		2601
1370.25	1025.118128	93737	2.02E+10	0.17	14.3	1.00	6.39E+07	99.8	3.56		3136
1278.9	1027.141754	93922	1.30E+10	0.19	16.4	0.95	4.90E+07	97.9	3.63		3595
1187.55	1029.16538	94107	7.43E+09	0.21	18.1	0.81	3.16E+07	87.5	4.06		3967
1096.2	1031.189006	94292	3.39E+09	0.22	19.4	0.59	1.54E+07	69.9	5.08		4242
1004.85	1033.212631	94476	9.13E+08	0.23	20.1	0.31	3.77E+06	46.8	7.59		4414
913.5	1035.236257	94661	4.59E+06	0.24	20.4	0.00	1.21E+06	nulpunt	20.4	10.00	4478
822.15	1037.259883	94846	6.75E+08	0.23	20.2	-0.31	1.30E+06	47.0	7.56		4432
730.8	1039.283508	95031	2.93E+09	0.22	19.5	-0.59	1.07E+07	70.5	5.04		4276
639.45	1041.307134	95216	6.79E+09	0.21	18.3	-0.81	2.49E+07	88.6	4.01		4013
548.1	1043.33076	95401	1.23E+10	0.19	16.7	-0.95	4.09E+07	99.4	3.57		3651
456.75	1045.354385	95586	1.93E+10	0.17	14.6	-1.00	5.51E+07	101.8	3.49		3197
365.4	1047.378011	95770	2.80E+10	0.14	12.1	-0.95	6.38E+07	95.2	3.73		2663
274.05	1049.401637	95955	3.84E+10	0.11	9.4	-0.81	6.38E+07	80.2	4.43		2061
182.7	1051.425262	96140	5.04E+10	0.07	6.4	-0.59	5.32E+07	58.0	6.12		1405
91.35	1053.448888	96325	6.40E+10	0.04	3.3	-0.31	3.15E+07	30.4	10.00		713
5.40012E-13	1055.472514	48209	3.96E+10	1.34E-16	5.894E-15	0.00	6.105E-08	0.0	10.00		0
		I_proj	5.68E+11			M_boven	749618367			F_trek	56900
		controle	5.28E+11							F_G	56900



lengte joint	1827 mm			
bovendiameter	1015 mm			
onderdiameter	1062.5 mm			
helling	0.0222 mm/mm			
hoek alfa	0.9035 graden			
t_wand	6 mm	spanning axiaal		
M_boven	7.52E+08 Nmm	159 6 mm wand bovenaan		
SCF_M	1.4 -	resulterende spanning		
M_onder	965582852.1 Nmm	190.40 SRF	1.86	
Dwarskracht	116936.0 N	spanningen in omtreksrichting		
p_voorspanning	0.2 Mpa	trekspanning in de wand (maximum)		
R_e	355 Mpa	104.74		
h_zwpt	906.5379061 mm			
μ_wandoppervlak	0.2			
Gewicht op joint	-56.9 kN			

De tweede plaat is 10 mm dik.

h_mm	D_u	A_proj	I_proj	trekspanning in de wand				trekspanning in de wand			
				drukverloop		drukverloop		s_b		SRF	dF_trek
				p_voorsp	h_s	p_M(h)	M(h)				
2228.4	1238.0	138075	1.74E+11	0.00	0.0	0.00	0.00E+00	0.0	10.00		0
2116.98	1240.5	138350	1.41E+11	0.10	6.4	0.31	1.06E+08	25.5	10.00		1415
2005.56	1242.9	138625	1.12E+11	0.20	12.6	0.59	1.80E+08	49.1	7.23		2801
1894.14	1245.4	138900	8.62E+10	0.30	18.5	0.81	2.20E+08	68.9	5.15		4123
1782.72	1247.9	139176	6.37E+10	0.38	24.0	0.95	2.25E+08	83.4	4.26		5349
1671.30	1250.3	139451	4.45E+10	0.46	28.9	1.00	2.03E+08	91.5	3.88		6448
1559.88	1252.8	139726	2.87E+10	0.53	33.2	0.95	1.61E+08	92.8	3.83		7391
1448.46	1255.3	140001	1.64E+10	0.58	36.6	0.81	1.09E+08	87.4	4.06		8156
1337.04	1257.7	140276	7.47E+09	0.62	39.1	0.59	5.80E+07	76.1	4.66		8723
1225.62	1260.2	140551	2.00E+09	0.65	40.7	0.31	1.67E+07	60.2	5.89		9077
1114.20	1262.7	140826	8.85E+06	0.65	41.3	0.00	8.59E+06	nulpunt	41.3	8.59	9208
1002.78	1265.2	141101	1.51E+09	0.65	40.9	-0.31	1.48E+07	60.5	5.87		9112
891.36	1267.6	141376	6.53E+09	0.62	39.5	-0.59	2.55E+06	76.7	4.63		8792
779.94	1270.1	141651	1.51E+10	0.58	37.0	-0.81	2.39E+07	88.5	4.01		8253
668.52	1272.6	141926	2.72E+10	0.53	33.7	-0.95	5.77E+07	94.3	3.77		7508
557.10	1275.0	142201	4.29E+10	0.46	29.5	-1.00	9.03E+07	93.3	3.80		6575
445.68	1277.5	142476	6.22E+10	0.38	24.6	-0.95	1.13E+08	85.4	4.16		5476
334.26	1280.0	142751	8.51E+10	0.30	19.0	-0.81	1.18E+08	70.8	5.01		4238
222.84	1282.4	143026	1.12E+11	0.20	13.0	-0.59	1.01E+08	50.7	7.00		2890
111.42	1284.9	143301	1.42E+11	0.10	6.6	-0.31	6.08E+07	26.4	10.00		1466
0.00	1287.4	71719	8.78E+10	0.00	0.0	0.00	1.60E-07	0.0	10.00		0
		I_proj	1.26E+12			M_boven	1.87E+09	met doelzoeken geli	F_trek		117000
		controle	1.17E+12					F_G			117000



lengte joint	2228.4 mm			
bovendiameter	1238 mm			
onderdiameter	1292 mm			
helling	0.0222 mm/mm			
hoek alfa	0.9035 graden			
t_wand	10 mm	spanning axiaal		
M_boven (Inc gF)	1.87E+09 Nmm	148 10 mm wand bovenaar		
Sig_b	S_b=148 Mpa	resulterende spanning		
SCF_M	1.92E+00 -	175.47 SRF	2.02	
M_onder	2.23E+09 Nmm	spanningen in omtreksrichting		
Dwarskracht	1.60E+05 N	trekspanning in de wand (maximum)		
p_voorspanning	3.27E-01 Mpa	94.26		
R_e	355 Mpa			
h_zwpt	1106.3 mm			
μ_wandoppervlak	0.2			
Gewicht op joint	-117 kN			

Stel dat $\mu=0$, wat wordt dan de wandspanning oiv eigen gewicht?				
Langskracht	1.17E+05 N	Normaalkracht	5.28E+06 N	
Sig_wand	1.19E+02 Mpa	SRF_wand	3.00E+00 OK	
rek	5.64E-04 -			
dL	2.24 mm			
dD	1.12 mm			
zakking	50.53 mm			

21 Bijlage Massa's en Traagheidsmoment Gondel en Rotor

Deze gegevens zijn gebruikt bij de bepaling van de topbelastingen op alle torenhoogtes.

item	massa [kg]	X_cog [m]	S [kgm]	I_cog [kgm ²]
rotormassa totaal	835	1.80	1507	3023
tandwielkast				
incl olie en	700	0	0	0.0
generator	585	0	0	0.0
coupling	70	0	0	0.0
kruimechanisme	200	0	0	0.0
gondelframe	200	0	0	0.0
gondelkap	100	0	0	0.0
totalen	2690	0.67	1802	4531
zonder rotor	1855			1509

