

Publiceerbare aanvraag/melding omgevingsvergunning

Formuliertersie
2020.01

Aanvraaggegevens

Algemeen

Aanvraagnummer	6749889
Aanvraagnaam	Kleine windmolen te Gersloot
Uw referentiecode	-
Ingediend op	05-10-2022
Soort procedure	Reguliere procedure
Projectomschrijving	Maatschap wil haar energie lokaal en duurzaam gaan opwekken. Daarom is dit maatschap voornemens om een kleine windmolen bij haar bedrijf te plaatsen van het type EAZ 13.2. De molen heeft een as-hoogte van 15 meter.
Opmerking	-
Gefaseerd	Nee
Blokkerende onderdelen weglaten	Nee
Kosten openbaar maken	Nee
Bijlagen die later komen	- Zie toelichting aanvullende documenten
Bijlagen n.v.t. of al bekend	-
Bevoegd gezag	
Naam:	Gemeente Heerenveen
Bezoekadres:	Crackstraat 2 8441 ES Heerenveen
Postadres:	Postbus 15000 8440 GA HEERENVEEN
Telefoonnummer:	0513-617617
Faxnummer:	0513-617475
E-mailadres:	vergunningen@heerenveen.nl
Website:	www.heerenveen.nl
Contactpersoon:	Dienst Publiek en Veiligheid

Overzicht bijgevoegde modulebladen

Aanvraaggegevens

Locatie van de werkzaamheden

Werkzaamheden en onderdelen

Overig bouwwerk bouwen

- Bouwen

Bijlagen



Locatie

1 Adres

Postcode	8457EM
Huisnummer	2
Huisletter	-
Huisnummertoevoeging	-
Straatnaam	Oudeweg
Plaatsnaam	Gersloot

Gelden de werkzaamheden in deze aanvraag/melding voor meerdere adressen of percelen?	☐ Ja
	☒ Nee



Bouwen

Overig bouwwerk bouwen

1 De bouwwerkzaamheden

Wat is er op het bouwwerk van toepassing?

- ☐ Het wordt geheel vervangen
☐ Het wordt gedeeltelijk vervangen
☒ Het wordt nieuw geplaatst

Eventuele toelichting

-

Hebt u voor deze bouwwerkzaamheden al eerder een vergunning aangevraagd?

- ☐ Ja
☒ Nee

2 Plaats van het bouwwerk

Waar gaat u bouwen?

Terrein

3 Bruto vloeroppervlakte bouwwerk

Verandert de bruto vloeroppervlakte van het bouwwerk door de bouwwerkzaamheden?

- ☐ Ja
☒ Nee

4 Bruto inhoud bouwwerk

Verandert de bruto inhoud van het bouwwerk door de bouwwerkzaamheden?

- ☐ Ja
☒ Nee

5 Oppervlakte bebouwd terrein

Verandert de bebouwde oppervlakte van het terrein na uitvoering van de bouwwerkzaamheden?

- ☐ Ja
☒ Nee

6 Seizoensgebonden en tijdelijke bouwwerken

Gaat het om een seizoensgebonden bouwwerk?

- ☐ Ja
☒ Nee

Gaat het om een tijdelijk bouwwerk?

- ☐ Ja
☒ Nee

7 Gebruik

Waar gebruikt u het bouwwerk en/of terrein momenteel voor?

- ☐ Wonen
☒ Overige gebruiksfuncties

Geef aan waar u het bouwwerk en/of terrein momenteel voor gebruikt.

Agrarisch gebruik

Waar gaat u het bouwwerk voor gebruiken?

- ☐ Wonen
☒ Overige gebruiksfuncties

Geef aan waar u het bouwwerk voor gaat gebruiken.

Opwek van duurzame energie ten behoeve van bedrijfsvoering

8 Gebruiksfuncties

In onderstaande tabel staan in de eerste kolom mogelijke gebruiksfuncties die in een bouwwerk kunnen voorkomen. Vul voor alle gebruiksfuncties die voor u van toepassing zijn het aantal personen, de totale gebruiksoppervlakte en de totale vloeroppervlakte van het verblijfsgebied in m2 in hele getallen in.

Gebruiksfunctie	Aantal personen	Gebruiksoppervlakte (m2)	Verblijfsoppervlakte (m2)
Bijeenkomst	-	-	-
Cel	-	-	-
Gezondheidszorg	-	-	-
Industrie	-	-	-
Kantoor	-	-	-
Logies	-	-	-
Onderwijs	-	-	-
Sport	-	-	-
Winkel	-	-	-
Overige gebruiksfuncties	-	-	-

9 Uiterlijk bouwwerk/welstand

Beschrijf van de onderstaande onderdelen de materialen en kleuren die u voor het bouwwerk gebruikt. U mag het veld leeg laten als u materialen en kleuren in de bijlagen vermeldt

Onderdelen	Materiaal	Kleur
Gevels	-	-
- Plint gebouw	-	-
- Gevelbekleding	-	-
- Borstweringen	-	-
- Voegwerk	-	-
Kozijnen	-	-
- Ramen	-	-
- Deuren	-	-
- Luiken	-	-
Dakgoten en boeidelen	-	-
Dakbedekking	-	-

Vul hier overige onderdelen en bijbehorende materialen en kleuren in.

-

10 Mondeling toelichten

Ik wil mijn bouwplan mondeling toelichten voor de welstandscommissie/stadsbouwmeester.

☒ Ja
☐ Nee

Bijlagen

Formele bijlagen

Naam bijlage	Bestandsnaam	Type	Datum ingediend	Status document
-_Eaz_13_2_informatie_brochure_NL_A4_.pdf	01 - EAZ_13.2_informatie_brochure_NL_A4-.pdf	Anders	05-10-2022	In behandeling
structurele_Beoordeling_Mast_EAZ_13_2_.pdf	03 - 82205 - Structurele Beoordeling Mast EAZ 13.2.pdf	Constructieve veiligheid complexere bouwwerken	05-10-2022	In behandeling
urele_Beoordeling_Fundering_EAZ_13_2_.pdf	04 - 82206 - Structurele Beoordeling Fundering EAZ 13.2.pdf	Constructieve veiligheid complexere bouwwerken	05-10-2022	In behandeling
82218-_Ontwerpbelastingen_EAZ_13_2_.pdf	06 - 82218 - Ontwerpbelastingen EAZ 13.2.pdf	Constructieve veiligheid complexere bouwwerken	05-10-2022	In behandeling
_15m_Mast_met_elektrische_kast_1-100_.pdf	08 - 83103 - EAZ 13.2 - 15m Mast met elektrische kast 1-100.pdf	Constructieve veiligheid complexere bouwwerken	05-10-2022	In behandeling
-_Lassamenstelling_-_Mast_15m_EAZ_13_2_.pdf	09 - 83405 - Lassamenstelling Mast 15m EAZ 13.2.pdf	Constructieve veiligheid complexere bouwwerken	05-10-2022	In behandeling
02_-_Montage_Boutverbinding_H--balken_.pdf	11 - 83502 - Montage Boutverbinding H-balken.pdf	Constructieve veiligheid complexere bouwwerken	05-10-2022	In behandeling
_-_Montage_Laswerk_-_Fundering_gekeurd_.pdf	14 - 83504 - Montage Laswerk Fundering gekeurd.pdf	Constructieve veiligheid complexere bouwwerken	05-10-2022	In behandeling
tage_Systeem_Fundering__Mast_gekeurd_.pdf	16 - 83505 - Montage Systeem Fundering Mast gekeurd.pdf	Constructieve veiligheid complexere bouwwerken	05-10-2022	In behandeling
20220208_overzicht_-_Ziel_.pdf	20220208_overzicht_Ziel.pdf	Plattegronden, doorsneden en detailtekeningen bouwen complexere bouwwerken	05-10-2022	In behandeling
20220208_plattegrond_Ziel_.pdf	20220208_plattegrond_Ziel.pdf	Plattegronden, doorsneden en detailtekeningen bouwen complexere bouwwerken	05-10-2022	In behandeling
BRO_GeoTOP_Appelboor_193935_558448_.pdf	BRO GeoTOP Appelboor 193935 558448.pdf	Constructieve veiligheid complexere bouwwerken	05-10-2022	In behandeling
een_natuurtoets_Friesland_-_Woudstra_.pdf	Onderbouwing geen natuurtoets Friesland - Woudstra.pdf	Energiezuinigheid en milieu	05-10-2022	In behandeling

Naam bijlage	Bestandsnaam	Type	Datum ingediend	Status document
tatie_keuze_wind_Woudstra_-_Gersloot_pdf	Argumentatie keuze wind Woudstra - Gersloot.pdf	Energiezuinigheid en milieu	05-10-2022	In behandeling
ting_documenten_en_-_omgevingsaspecten_pdf	20220915 - Toelichting documenten en omgevingsaspecten.pdf	Energiezuinigheid en milieu Anders	05-10-2022	In behandeling



Energie voor het platteland.

Informatiebrochure.

Vestiging Hoogezand
Industrieweg 23a

Vestiging Rijswijk
Cort van der Lindenstraat 19

Telefoon 0598 372383
www.eazwind.nl



Elke boerderij kan zichzelf van stroom voorzien.

En dat is een makkelijkere investering dan u denkt.

Dé manier om een boerderij van stroom te voorzien is met een windmolen. Wij hebben de best mogelijke ontwikkeld en gebouwd, specifiek voor de boerderij. Onze windmolen heeft de juiste maat, werkt eenvoudig en is daarmee betrouwbaar en robuust. Onze molen is de hoofdrolspeler in onze op maat gemaakte energiepakketten van wind en zon. Alle rompslomp voor en na de installatie kunt u helemaal aan ons over laten, wij ontzorgen u van A tot Z. Dan kunt u zich blijven richten op de boerderij.

Van energie-neutraal naar zelfvoorzienend.

Doordat het elektriciteitsnet steeds voller raakt, wordt de salderingsregeling door de overheid afgeschaft. Daarom moeten we zorgen dat de opgewekte stroom op het erf blijft. Onze oplossing is een windmolen aangevuld met zonnepanelen.

Er wordt steeds meer duurzame elektriciteit opgewekt in Nederland. De gunstige salderingsregeling van de overheid heeft onder andere voor een snelle groei gezorgd. Naast de positieve kanten van deze ontwikkeling, heeft de snelle groei ook voor problemen op het elektriciteitsnet gezorgd. Dit vraagt om nieuwe oplossingen.

Binnen een paar jaar start de afbouw van de salderingsregeling. Met deze regeling was het genoeg om onder aan de streep energie-neutraal te zijn. Zonder salderingsregeling moeten we een stap verder gaan. Opgewekte stroom die het erf verlaat en wordt teruggeleverd, geeft nauwelijks rendement meer.

Het gaat dus niet langer om de totale hoeveelheid opgewekte energie, maar het gaat tegenwoordig om de hoeveelheid **opgewekte energie die direct op het erf verbruikt kan worden**. Het levert meer rendement om uw boerderij zelfvoorzienend te maken. Onze oplossing is een windmolen, aangevuld met zonnepanelen.



De perfecte combinatie.

Wind in de winter zon in de zomer.

We leggen u graag uit waarom een windmolen aangevuld met zonnepanelen de beste oplossing is om uw boerderij zelfvoorzienend te maken.

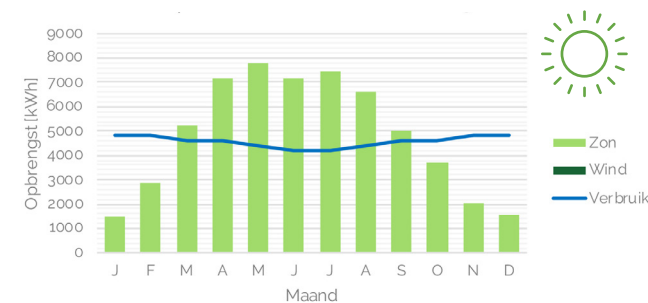
Alles met zonnepanelen?

Een dak vol met zonnepanelen is de voor de hand liggende optie. Zonnepanelen leveren veel en goedkope energie als de zon hoog aan de hemel staat.

Het probleem is dat deze zonnestroom maar voor een klein deel door de boerderij benut kan worden. Het overschot gaat verloren op het elektriciteitsnet. In de zomer is er te veel stroom en in de winter te weinig.

Met alleen zonnepanelen bent u afhankelijk van de salderingsregeling, terwijl het net steeds verder overbelast raakt. Een grote batterij is kostbaar en lost het seizoensprobleem niet op. Zoveel zonnepanelen passen niet bij een boerderij.

Alles met zon:



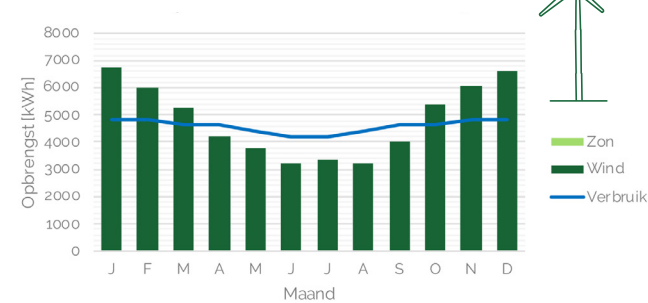
Alles met een windmolen?

Een windmolen past beter, ook al is de investering wat hoger. Een windmolen levert het hele jaar door stroom, dag en nacht, 's zomers en 's winters.

De constante windstroom kan eenvoudig voor een groot deel benut worden door de boerderij. Dit maakt het verdienmodel minder afhankelijk van de salderingsregeling. Daarom zien we dat onze windmolen een opmars maakt op het platteland.

Maar, in de winter waait het harder en vaker dan in de zomer. En als de wind even gaat liggen schijnt meestal de zon. Daarom is het slim om ook de kracht van zonnepanelen te gebruiken.

Alles met wind:



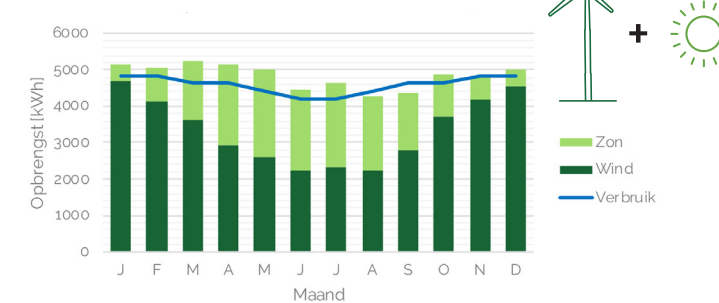
De combinatie van wind en zon.

Doordat zonnige en winderige dagen elkaar afwisselen, kunnen zonne- en windenergie heel goed samen werken. De verhouding moet wel verstandig gekozen worden, want met te veel zonnepanelen vinden er veel uitwisselingen met het elektriciteitsnet plaats.

Een windmolen van het juiste formaat, zorgt ervoor dat u in de wintermaanden voorzien bent. Een bescheiden hoeveelheid zonnepanelen biedt de nodige ondersteuning in de zomermaanden. In de juiste verhouding kunnen ze uw boerderij het hele jaar door van voldoende stroom voorzien.

Op dit principe is onze oplossing van wind en zon gebaseerd. Wij stellen het juiste systeem voor u samen, zodat u het beste rendement behaalt.

De juiste combinatie:



De juiste windmolen kan uw stroombehoefte in de winter aan.



Energie op uw boerderij met ons systeem.

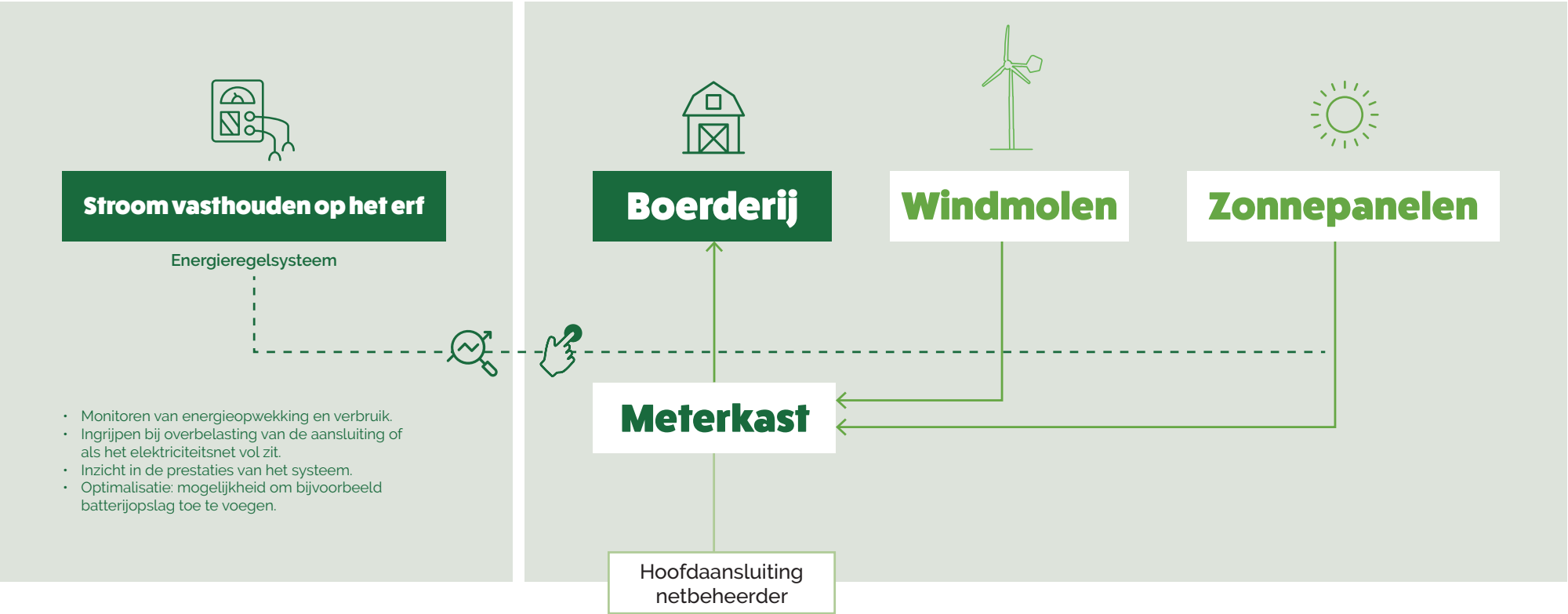
Zo werkt het.

De EAZ windmolen is de motor van de energievoorziening op de boerderij. We vullen het systeem aan met een aantal zonnepanelen. De windmolen en de zonnepanelen worden netjes aangesloten op de meterkast van de boerderij.

We gebruiken ons energieregelsysteem om het geheel goed te laten functioneren. Zo wordt nauwkeurig de energieopwekking en het energieverbruik in de gaten

gehouden en wordt er ingegrepen als dat nodig is. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen wanneer de netaansluiting wordt overbelast of als het elektriciteitsnet vol zit.

We geven u inzicht in uw energieopwekking en verbruik. Op basis van deze informatie kunnen de juiste stappen genomen worden om de stroom nog beter vast te houden op het erf, bijvoorbeeld met energieopslag.



Hoofdaansluiting
netbeheerder

Back-up netbeheerder,
bijvoorbeeld in geval van
reeks mistige dagen.



Melkveebedrijf met 130 koeien.
Energieverbruik 63.000 kWh per jaar.

Johnny & Tina.

Alles ging soepel, van de vergunning tot de installatie. De monteur belt netjes van tevoren op als er onderhoud nodig is. Ik ben nu ruim zelfvoorzienend en de molens doen het mooi. Tina is er ook tevreden mee. Ze heeft geen last van geluid of andere dingen. Ook de burens zijn er positief over.

Onze op maat gemaakte berekeningen.

Opwek, verbruik & zelfvoorziening.

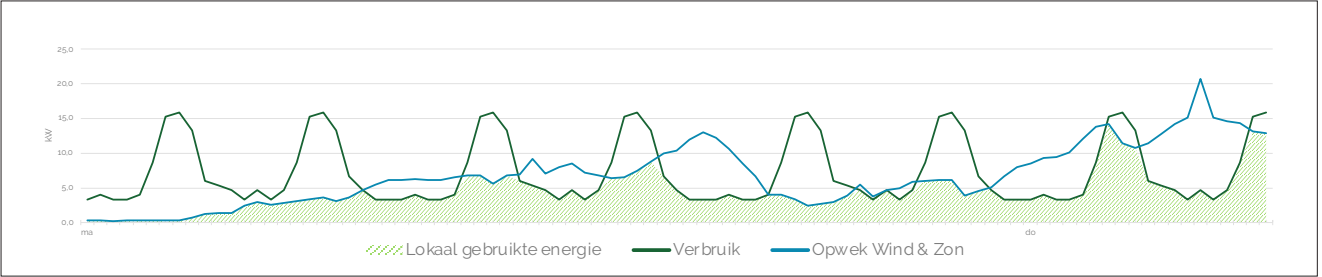
Hoe minder stroom het erf verlaat, hoe beter. Daarom is het belangrijk om in kaart te brengen hoeveel stroom kan worden opgewekt en hoeveel stroom direct benut kan worden.

Iedere boerderij is anders. Is er hinder van de windvang door bebossing of heeft de wind vrij spel? Heeft u een

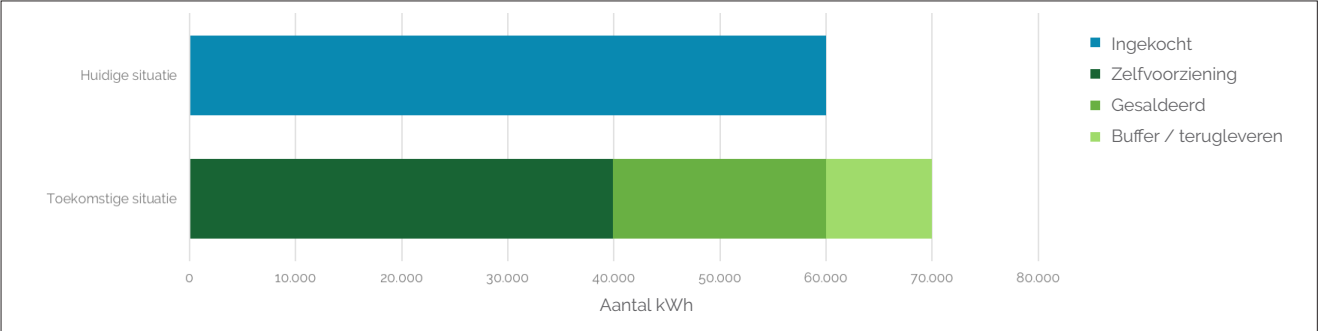
dak met een gunstige oriëntatie of valt er schaduw op door een voersilo? Verbruikt u juist 's zomers of juist 's winters veel stroom?

In een offerte maken we een uitgebreide analyse van uw situatie en stellen we een energiesysteem op maat voor u samen.

Een voorbeeld van opwek en verbruik gedurende 1 week:



Een voorbeeld van een berekening van het resultaat op uw boerderij. Nu en in de toekomst:



**Is er hinder door
bebossing of heeft
de wind vrij spel?**

De kleine windmolen specialist.

EAZ wind.

Kleine windmolens bestaan al decennia. Met behulp van nieuwe technologie en gezond verstand hebben wij de kleine windmolen specifiek voor de boerderij opnieuw uitgevonden.

Om het beste eindproduct te maken doen we alles in eigen beheer. Zo hebben we de kennis in huis om de optimale windmolen te ontwikkelen, maar snappen onze ingenieurs ook de elektriciteit van uw boerderij.

We maken onze handen vuil in onze fabriek en we staan met onze laarzen in de klei. Voor ons is de lange termijn belangrijk. Daarom houden we bijvoorbeeld rekening met de omgeving bij de vergunningsaanvraag. Zo weten we zeker dat ieder project wordt opgeleverd volgens onze kwaliteitseisen.

"No-nonsense" en **"boerenverstand"** is wat ons kenmerkt. We werken hard en we staan voor wat we beloven. Met een team van 50 mannen en vrouwen werken we dag in, dag uit aan onze windmolens.

Met onze molen en onze aanpak zijn wij marktleider geworden op het boeren erf. Zo voorzien onze windmolens al vele honderden boerderijen van stroom.



Van links naar rechts: IJsebrand Ziel, Bart Claessen, Sjouke Ritsema en Aard Duivenvoorden. De vier oprichters van het bedrijf.

Het begon allemaal bij vier mannen die elkaar in 2008 leerden kennen op de Universiteit Twente en de Saxion Hogeschool in Enschede. Met techniek en watersport als gezamenlijke passies vormde zich een hechte vriendschap. Toen Homme-Jan, de vader van Sjouke, zijn Groningse boerderij van stroom wilde voorzien met zonnepanelen, ontstond het idee van de kleine windmolen. Zowel in de zomer als in de winter stroom, dat klonk ideaal. Vol energie begonnen ze te ontwikkelen en te bouwen en voor ze het door hadden stond daar de eerste molen. Zowel de boeren in de buurt, alsmede de bewoners van het dorp reageerden enthousiast en zo is het balletje gaan rollen. Dit gebeurde in 2014 in het dorpje Overschild in de provincie Groningen. Terugkijkend was dit het moment dat ze aan hun missie begonnen:

"Wereldwijd het platteland van energie voorzien."



High tech, fraai én simpel ontwerp.

De EAZ13.2.

- De juiste windmolen voor de boerderij.
- Eigen ontwerp en ontwikkeling, gebaseerd op gedegen onderzoek en jarenlange ervaring.
- Eigen productie in Nederland.
- Vrijwel alle onderdelen komen uit de buurt.
- Extra lange wieken voor 137m2 aan windvang.
- Betrouwbare mechanische regeling en daardoor onafhankelijk van elektrische componenten.
- Vriendelijke uitstraling passend bij boerenlandschap.

Het geluid van onze kleine windmolen is zeker niet te vergelijken met de grote industriële windturbines. Wij brengen u graag in contact met een molenaar bij u in de buurt zodat u de windmolen zelf kunt ervaren.

Nieuwsgierig naar de details?

Bekijk onze website voor extra informatie of kom langs in onze fabriek, we laten u graag precies zien hoe alles werkt.

Wieken die lang mee gaan

Gemaakt van de beste kwaliteit larikshout uit Drenthe. Ze kunnen tientallen jaren mee doordat hout vermoeiingsbestendiger is dan glasvezel. Werken optimaal bij stevige én zwakke wind. Past in het landschap door de natuurlijke uitstraling.

- Hol en daardoor lichtgewicht en ademend.
- UV-bestendige transparante coating.
- Geluidsarm door extra scherpe kant met kunststof strip.
- Bescherming tegen stof en hagel door erosie-bestendige laag.



Iconische windvaan

De staart van hoogwaardige larikshout draait de molen altijd in de juiste windrichting. Eenvoudiger kan niet.

Subtiële mast

Van dikwandig staal in vriendelijk groen dat mooi op gaat in de omgeving.

Laag geluidsniveau

Voor iedere vergunningaanvraag voeren wij een akoestisch onderzoek uit. Volgens de geldende geluidsnormen mag de molen op een afstand van 60 meter van bebouwing van derden geplaatst worden. Wij adviseren om een afstand van minimaal 80-100 meter aan te houden, afhankelijk van de locatie van de windmolen.

Stevig fundament, overzichtelijke installatie

Dikwandig stalen kruis op prefab betonplaten met extra wapeningsstaal, 80cm diep ingegraven. Stevig met minimale gronddruk. Installatie met hydraulische cilinder en 8-tons rupskraan. Rijplaten zijn niet nodig.



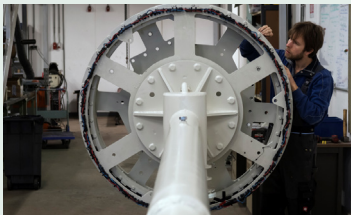
Slim pitchsysteem

Regulatie van de stand van de bladen bij harde wind door unieke mechanische werking zonder complexe elektronica.



Hoogwaardige generator

Geen tandwielkast nodig, luchtgekoeld, daarom efficiënt en niet storingsgevoelig.



Elektrakast + app

Continue monitoring via elektrakast met omvormer, energieregelsysteem en mobiele app.



Specificaties.

Certificering	IEC 61400-2:2013 Small wind turbines.
Rotor	• 13,2m diameter, 137m2 aan windvang. • Rotor geoptimaliseerd voor meest voorkomende 3 - 7 m/s windsnelheden.
Vermogen	• Nominaal vermogen: 15 kW. • Nominale windsnelheid ; 7,8 m/s. • Nominaal toerental: 80 rpm. • Cut in/Cut out: 2,5 m/s 20 m/s.
Opbrengst	Afhankelijk van de locatie: 30.000kWh bij 4m/s, 38.000kWh bij 4,5m/s en 46.000kWh bij 5m/s
Geluidsniveau op 60m	39 dB.
Generator	Direct drive, dual-rotor, air core, synchronous generator.
Netaansluiting	• 3 fasen. • 3 x 25A.
Controle systeem	• Mechanisch pitchsysteem met elektronische beveiligingsrem. • Mechanisch kruissysteem. • Spanningsopdrijvingbeveiliging.
Monitoring	• 3g LTE connectiviteit. • Vlootbeheersysteem met mobiele app voor de klant voor inzicht in opwek en verbruik. • Meting van: bewegingen en toerentalen van toren en turbine, vermogen, belasting en temperatuur van generator, temperatuur elektrakast en uitlezen omvormergegevens. • Stroomkwaliteit van zon en wind met voltage en capaciteitsmeting om vermogensregeling aan te sturen.
Mast	• Dikwandige buismast volgens het soft-soft werkingsprincipe. • Hoogte afhankelijk van regelgeving, obstakels in omgeving en landschappelijke inpassing.
Fundering	• Stalen kruis op prefab betonplaten met extra wapeningstaal. Ingegraven 80cm onder het maaiveld voor extra ballast. • Stalen kruis op buispalen gevuld met beton voor zettingsgevoelige ondergronden.

Lange wieken
vangen veel
wind.





Afstellen van de generator.



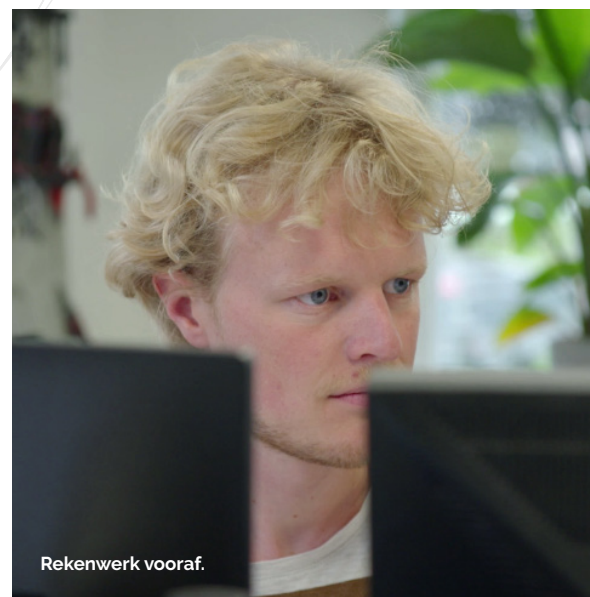
Laswerk van de mast.



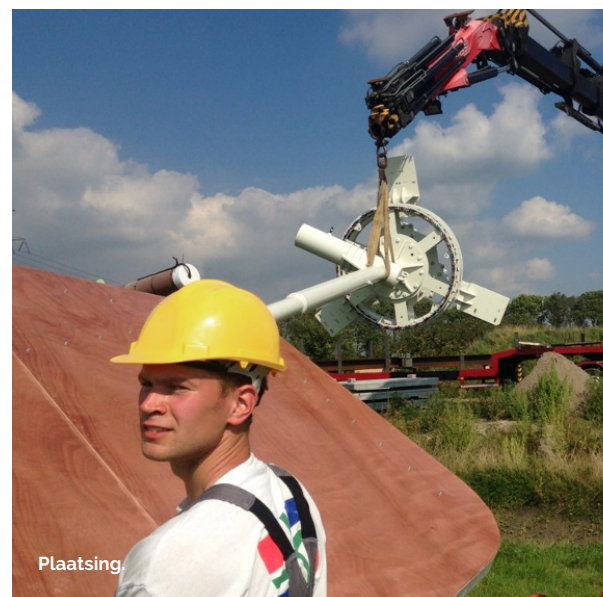
Schuren van de wieken.



Montage van het pitchsysteem.



Rekenwerk vooraf.



Plaatsing.



Wij maken de windmolen zelf.

Geproduceerd in Nederland.

Wij ontwikkelen en produceren alle onderdelen van de windmolen in eigen beheer. Er belandt geen onderdeel op uw erf, zonder dat het eerst met aandacht door onze handen is gegaan. Daarom kunnen we garant staan voor de kwaliteit van iedere windmolen.

De wieken, de staart, het pitchmechaniek, de mast, het funderingskruis en de elektronica produceren we in Groningen. De generator produceren we in Rijswijk, waar tevens onze engineering gevestigd is.

De geproduceerde onderdelen komen samen in onze fabriek in Hoogezand waar de eindassemblage plaats vindt. Van hieruit wordt het complete eindproduct op transport gezet. In Hoogezand kunt u ook ons installatie en onderhoudsteam vinden.

Wij zijn trots op ons product en op ons bedrijf. Kom eens langs bij ons in de fabriek, dan laten wij u graag zien hoe wij uw windmolen van begin tot eind in elkaar zetten.



Degelijke boerenpanelen.

Onze zonnepanelen.

Zonnepanelen zijn tegenwoordig overal verkrijgbaar, maar een foutieve installatie of een verkeerde materiaalkeuze kunnen onverwachte problemen geven. Als boer wilt u zich daar niet mee bezig houden. Net als een windmolen moeten zonnepanelen het gewoon altijd doen. Wij accepteren geen rode lampjes boven in de schuur als het elektriciteitsnet vol zit.

Daarom hebben we degelijke kwaliteit materialen geselecteerd voor ons zonnestelsel en stellen we hoge eisen aan onze installatiepartners. We maken gebruik van regelbare omvormers van SolarEdge en efficiënte panelen van Canadian Solar. Ons zonnestelsel is gekoppeld aan ons vlootbeheersysteem zodat het naadloos kan

samenwerken met de windmolen. Eventuele storingen kunnen snel door ons worden opgelost. Zo kunnen wij garant staan voor de werking van het geleverde systeem en heeft u er geen werk van.

Recycling van onze zonnepanelen is gegarandeerd door middel van deelname aan PV Cycle. Dit is een Europese non-profitorganisatie met als doel het inzamelen en recyclen van zonnepanelen. PV Cycle is in 2007 opgericht door producenten van zonnepanelen. Zij betalen lidmaatschapsgelden aan PV Cycle, afhankelijk van het aantal geproduceerde zonnepanelen. De organisatie neemt sinds 2010 de inzameling, transport en recycling van zonnepanelen voor haar rekening.



Wij accepteren geen rode lampjes boven in de schuur als het elektriciteitsnet vol zit.

Wind en zon als een samenhangend geheel.

Elektrische infrastructuur.

De windmolen, de zonnepanelen en het energieregelsysteem kunnen alleen juist functioneren als alles degelijk is aangesloten op de boerderij. We noemen dit onderdeel de elektrische infrastructuur.

Bekabeling.

De bekabeling moet degelijk uitgevoerd worden. De spanningsval over de kabel van de windmolen en de zonnepanelen mag niet te groot zijn. Samen met u worden de meest efficiënte kabelroutes bepaald. De bekabeling wordt aangelegd volgens NEN1010.

Aansluiting in meterkast.

De bekabeling komt samen in de meterkast van de boerderij. Hier wordt het geheel juist en veilig aangesloten om de boerderij te kunnen voeden. Dit gebeurt volgens de geldende normen. Soms moet de meterkast omgebouwd of uitgebreid worden, dit is opgenomen in het aanbod.

Energiregelsysteem.

We zorgen dat we de energiestromen van de windmolen en de zonnepanelen kunnen regelen. Zo kunnen we voorkomen dat de netaansluiting wordt overbelast of dat het systeem uitvalt als het elektriciteitsnet vol zit. Hiervoor meten we ook het verbruik en de opwek van de windmolen en de zonnepanelen.

Monitoring.

Het gehele energiesysteem staat via internet in verbinding met ons vlootbeheersysteem. Zo kunnen we op afstand de werking van het systeem monitoren en eventuele storingen adequaat oplossen.

Daarnaast kunt u via de mobiele applicatie zelf bijhouden hoe de stroom van de windmolen en de zonnepanelen wordt opgewekt en wordt verbruikt door de boerderij.



In combinatie met wind en zon kan een kleine batterij toch rendabel zijn.



Inzicht in de prestaties.

Stroom vasthouden op het erf.

Hoe minder stroom het erf verlaat, hoe hoger het rendement uit de energieopwekking. In onze app brengen we de energieopwekking en het energieverbruik in kaart. Zo heeft u de prestaties van het systeem inzichtelijk en kunt u ontdekken hoe de opgewekte stroom nog beter benut kan worden.

De mogelijkheden zijn per boerderij verschillend. Zo kan de ene boer al beschikken over een koelsysteem, terwijl de andere boer nadenkt over de aanschaf van een melkrobot. Ook kan de beschikbaarheid van wind en zon per boerderij verschillen.

Soms kan energieopslag een interessante toevoeging zijn in het geheel. Ondanks het prijskaartje kan een kleine batterij in combinatie met wind en zon toch rendabel zijn. Wij helpen u graag verder met het vinden van de juiste oplossing.





Onze molens staan bij boerderijen in heel Nederland, en daarbuiten. U kunt altijd een locatie bezoeken, wij brengen u graag in contact met de dichtstbijzijnde molenaar.

Lange termijn zekerheid.

Een EAZ windmolen op uw erf.

In Nederland zijn inmiddels al honderden boerderijen voorzien van energie door onze windmolens. Ook in Duitsland en België hebben boeren de mogelijkheden van onze windmolen ontdekt.

Dit is gelukt omdat we vooraf een realistische verwachting neerzetten die we waar kunnen maken. We nemen verantwoordelijkheid voor wat we beloven.

Een project met een windmolen bestaat een lange termijn. Wij zorgen ervoor dat de windmolen gedurende deze tijd de zorg krijgt die ze verdient. Met de ervaring die we over de jaren heen hebben opgedaan, zorgen we dat u niet voor verrassingen komt te staan.

Wij kijken er naar uit om op uw boerderij een windmolen te mogen realiseren.

Akkerbouw met poot aardappelen en wortelen.
Energieverbruik 48.000 kWh per jaar.

Carin & Cato.

Als boer denk je aan de toekomst en zul je moeten verduurzamen. Niet bij de pakken neerzitten maar kiezen voor aanpakken. Die houding herkennen wij in het team van EAZ. Als klant van het eerste uur wisten we dat er een aantal hordes genomen zouden moeten worden en EAZ heeft altijd gestaan voor hun zaak.

We zagen hoe EAZ zich ontwikkelde van een jonge onderneming tot een volwassen bedrijf en tegelijkertijd zorg bleven dragen voor het fundament van hun bedrijf. Voor een boer geeft dat vertrouwen.







Structural Evaluation of Tower E.A.Z.-13.2

STRUCTURAL EVALUATION OF TOWER OF THE E.A.Z.-13.2 WIND
TURBINE ACCORDING TO IEC LOAD CASES

STEVEN VERMEER

Industrieweg 23a Hoogezand,
Tel: 0598 372383
www.eazwind.com



*This document is strictly private, confidential and written for **E.A.Z. Wind** only. It should not be copied, distributed or reproduced in whole or in part, nor passed to any third party.*

Version:	Author:	Chapter:	Info added/changed/deleted:	Date:	Reviewer 1:
V7	Steven Vermeer		Created first document	13-01-2021	Bart Claessen
V8	Steven Vermeer		Included reference to EAZ-12 load cases document in the introduction	12-02-2021	Bart Visser
V9	Steven Vermeer		Implemented the load from loadset V174	25-03-2021	Bart Claessen
V10	Bart Claessen		Revision according to corrections and suggestions by SGS	07-05-2021	Steven Vermeer

1 Contents

2 Introduction	4
3 References	4
4 Terms and definitions	5
5 Tower design	7
5.1 Dimensions.....	7
5.2 Tower section connections.....	8
5.3 Tower bottom.....	8
5.4 Materials	10
6 Calculation method	11
6.1 Critical locations	11
6.2 Material safety factors	13
6.3 Ultimate strength evaluation	14
6.4 Fatigue strength evaluation	14
6.5 FEM analysis	15
7 Loads	18
8 Strength Evaluation	19
8.1 Evaluation of parts and welds	19
8.2 Evaluation of bolts.....	22
9 Annexes	24
9.1 Results FEM simulation 1.....	24
9.2 Results FEM simulation 2.....	27
9.3 Rain flow counts.....	28
9.4 Bolt stresses at maximum pre-tension	29
9.5 Bolt stresses at minimum pre-tension	30

2 Introduction

This document gives a detailed structural evaluation of the tower of EAZ-13.2 wind turbine. This is done for ultimate and fatigue load cases according to IEC-61400-2 (1). The evaluation will be done based on the loads of the EAZ-13.2 wind turbine, which are calculated in (2). It should be noted that the EAZ-13.2 is an upgraded version of the EAZ-12. Since the loads of the EAZ-12 are lower than those of the EAZ-13.2, this tower also meets the requirements for the EAZ-12. The loads of the EAZ-12, including a comparison between the EAZ-12 and the EAZ-13.2, are given in (3).

First the tower design is discussed, dimensions and connections are evaluated, and materials are specified. In chapter 6 the calculation method is presented. Hereby, critical locations of the tower, where strength is analyzed, are discussed and the method for calculating ultimate and fatigue strength are discussed. The different FEM models used are also presented in this chapter. The loads are presented in chapter 7. Chapter 8 gives the evaluation of strength of all the critical locations.

3 References

1. IEC. *Wind Turbines - Part 2: Small Wind Turbines*. 2013.
2. Visser, B. 82218 *Design loads EAZ-13.2*.
3. Visser, B. 82219 *Design loads EAZ-12*.
4. NEN. *NEN-EN 1993-1-9+C2, Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-9: Fatigue*. 2012.
5. Verein Deutscher Ingenieure. *VDI 2230 - Systematic calculation of high duty bolted joint*. 2001.
6. Mortensen, Jacob. *Friction Analysis of Bolts*. Aalborg Universitet Esbjerg : s.n., 2013.

4 Terms and definitions

The following abbreviations, terms and definitions apply.

L	Length
d	Distance between tower parts
L_{cum}	Cumulative length
D	Outer diameter
σ_{yield}	Yield strength
t	Wall thickness
$\sigma_{fac_{2E6}}$	Fatigue strength at 2E6 cycles
$\sigma_{fac_{5E6}}$	Fatigue strength at 2E5 cycles
F_{pre}	Nominal pre-tension
f_t	Tightening factor
$F_{pre_{max}}$	Maximum pre-tension
$F_{pre_{min}}$	Minimum pre-tension
$Fric_{thr}$	Friction coefficient of bolt thread
$Fric_{hd}$	Friction coefficient of the bolt head
p	Pitch of the bolt
d_2	Thread diameter of the bolt
D_{hd}	Head diameter of the bolt
D_s	Effective diameter of the bolt
A_s	Cross-sectional area
Z	Polar section modulus
W	Section modulus
γ_{mult}	Material safety factor for ultimate loads
$\gamma_{m_{fat}}$	Material safety factor for fatigue loads
σ_{pre}	Stress due to pre-tension
s_{pre}	Unit stress caused by pre-tension
σ_{calc}	Analytically calculated stress
σ_{FEM}	Stress from FEM
$\sigma_{FEM_{nett}}$	Nett stress from FEM
k_t	Stress concentration factor
σ_{ext}	Stress from external load
σ_{tot}	Total stress
$\Delta\sigma_{ext}$	Stress range from external moment range
ΔM_{ext}	External moment range
T_{pitch}	Torsional moment from thread pitch

T_{thread}	Torsional moment from thread friction
T_{head}	Torsional moment from head friction
τ_{pre}	Shear stress from pre-tension
ΔF_{ext}	External force range

5 Tower design

In Figure 1, an overview of the tower is shown. The tower consists out of 4 steel tubes (hereafter called 'tower sections'), each with specific diameter, wall thickness and length. The tower sections are connected via a transition piece (hereafter called 'reducer') . At the bottom, a flange is connected. The following is annotated in the figure:

1. Bottom flange
2. Tower section 1
3. Reducer 1
4. Tower section 2
5. Reducer 2
6. Tower section 3
7. Reducer 3
8. Tower section 4

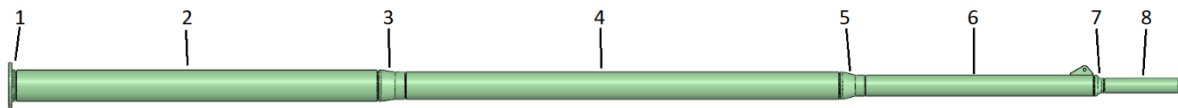


Figure 1: Overview of the tower

5.1 Dimensions

In Table 1, an overview of the main dimensions is shown:

Table 1: Overview of main dimensions of the tower

		Flange	Section 1	Reducer 1	Section 2	Reducer 2	Section 3	Reducer 3	Section 4
Length	L [m]	0.09	4.706	0.356	5.64	0.33	2.972	0.128	0.964
Distance between parts	d [m]	0.002							
Cumulative length	L_{cum} [m]	0.09	4.798	5.156	10.798	11.13	14.104	14.234	15.2
Total tower length:	L_{tot} [m]	15.2							
Outer diameter (upper and lower part for reducers)	D [m]	0.4064	0.4064	0.3556	0.3556	0.273	0.273	0.1937	0.1937
				0.4064		0.3556		0.273	
Wall thickness (upper and lower part for reducers)	t [m]	0.02	0.02	0.016	0.016	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125
				0.0175		0.016		0.0125	

5.2 Tower section connections

In Figure 2 and Figure 3 the connection between the tower sections is shown. The reducer is connected to the tower sections via a V-butt joint. This can be seen in more detail in drawing 83405.

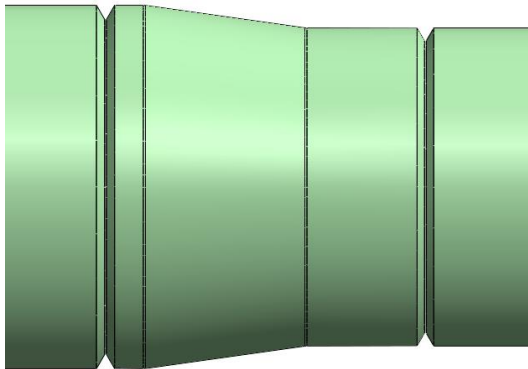


Figure 2: Connection of the tower sections

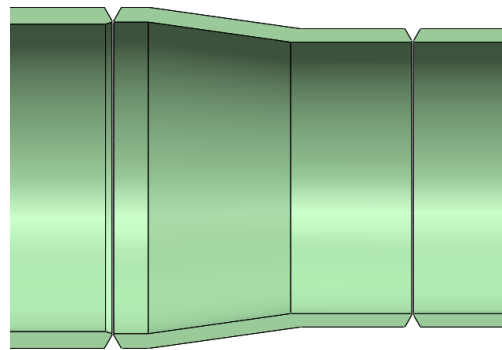


Figure 3: Section view of the connection

5.3 Tower bottom

In Figure 4, a sectional view of the tower base including the welding connections is shown. The Flange is welded through a V-Butt joint. More details can be seen in drawing 83405.

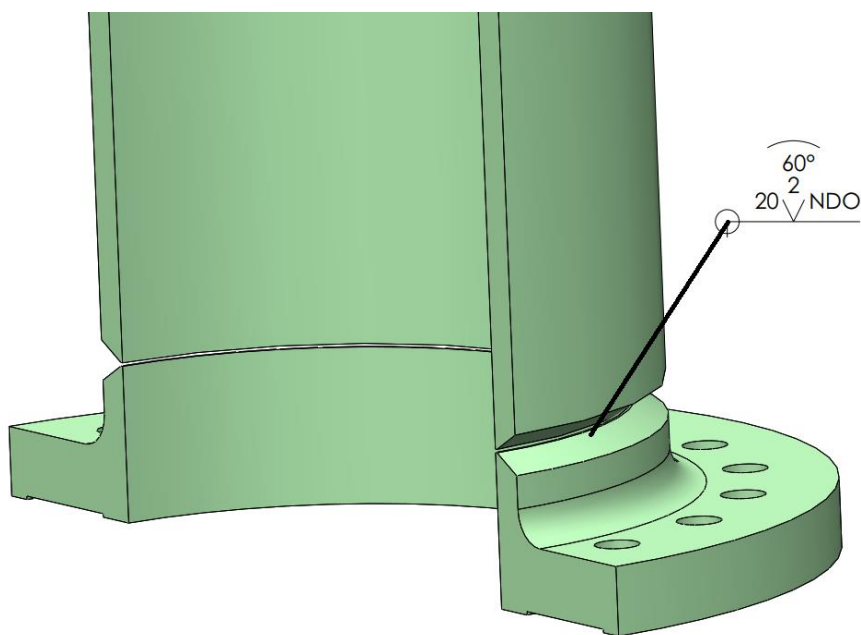


Figure 4: Sectional view of the base of the tower including the weld

The flange ring is connected through a total of 20 bolts to the foundation. This is shown in Figure 5.

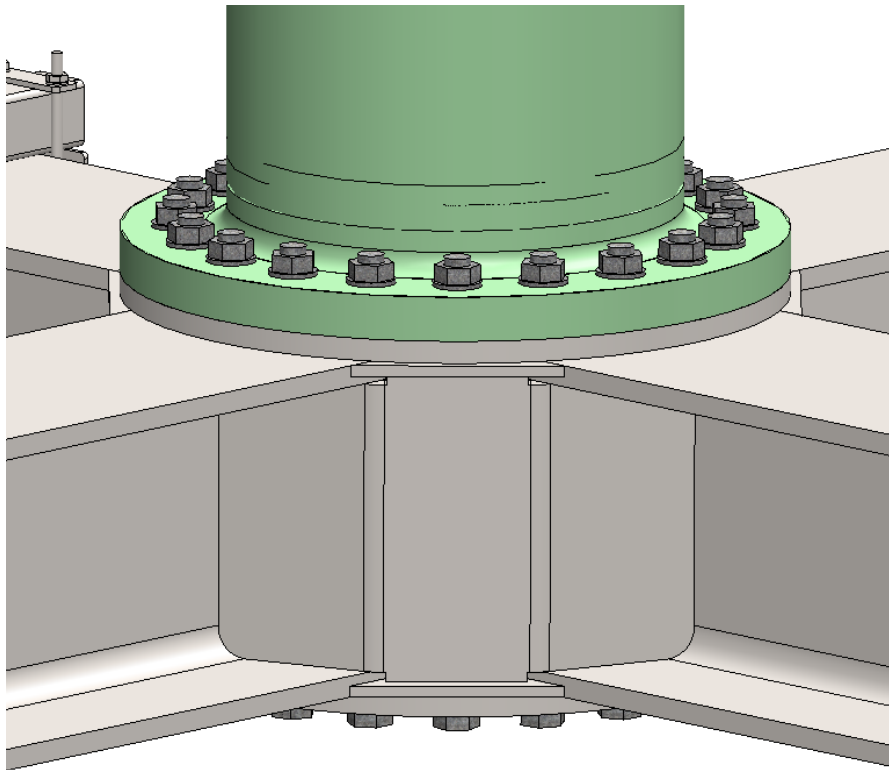


Figure 5: Bolt connection of the flange to the foundation

In Table 2, the relevant specifications of tower bottom flange bolt connection are shown.

Table 2: Specifications of the bolt connection

Bolt connections		Bottom flange to foundation
bolt type		M24
strength class		10.9
Yield strength	σ_{yield} [Mpa]	940
detail category from EC3 (4)		table 8.1 number 14
Fatigue limit at 2E6 cycles	$\sigma_{fat_{2E6}}$ [Mpa]	50

Pre-tension bolt

Nominal pre-tension	F_{pre} [N]	231000
Tightening factor	f_t [-]	1.1667
maximum pre-tension (5)	$F_{pre_{max}}$ [N]	269500
minimum pre-tension (5)	$F_{pre_{min}}$ [N]	192500

Bolt friction properties

friction coefficient thread (6)	$Fric_{thr}$ [-]	0.13
friction coefficient head (6)	$Fric_{hd}$ [-]	0.08

Bolt dimensions

pitch	p [m]	0.003
Thread diameter	d_2 [m]	0.022051
Head diameter	D_{hd} [m]	0.0315
Effective diameter	D_s [m]	0.02121
Effective cross-sectional area [mm ²]	A_s [m ²]	0.000353
Polar section modulus	Z [m ³]	1.87E-06
Section modulus	W [m ³]	9.3666E-07

5.4 Materials

An overview of the materials of all the tower components is shown in Table 3.

Table 3: Overview of tower component materials

	Flange	Section 1	Reducer 1	Section 2	Reducer 2	Section 3	Reducer 3	Section 4
Material	S355	S355	S355	S355	S355	S355	S355	S355

6 Calculation method

In this chapter the calculation method is presented. First all the critical locations at which strength is assessed are presented including their dimensions and materials. Next the method for calculating ultimate and fatigue strength is discussed. Finally the FEM models used for this evaluation are presented and how they are used.

6.1 Critical locations

The structural evaluation is carried out for the most critical locations of the tower. These are the locations in the tower with the highest stresses or construction details which are prone to fatigue damage. These are all locations around the reducers and the tower flange.

Around each of the reducers two critical locations are found, the top weld and the diameter transition in the reducer. The top weld is a construction detail which is prone to fatigue damage and because of the diameter difference is always more critical than the lower weld in the reducer. The FEM simulation results in Annex 1 also show a higher stress in the top weld compared to the bottom weld for each reducer. The diameter transition is a stress raiser and therefore marked as a critical location. This effect is also clearly visible in the FEM simulations. The stresses in the reducers are higher than in the straight tube sections therefore these are not analyzed.

Around the flange a similar reasoning holds. The weld is prone to fatigue damage and therefore considered to be a critical location. The transition from vertical to horizontal in the flange is a stress raiser as can be seen in the FEM simulation and therefore considered a critical location. The bolt connection itself is considered to be complex and therefore a critical location.

All of the critical locations are listed below and are shown in Figure 6.

1. Flange:
 - a. Flange radius
 - b. Flange weld
 - c. Flange bolt connection to foundation
2. Reducer 1:
 - a. Reducer 1 conical transition
 - b. Reducer 1 upper weld
3. Reducer 2:
 - a. Reducer 2 conical transition
 - b. Reducer 2 upper weld
4. Reducer 3
 - a. Reducer 3 conical transition
 - b. Reducer 3 upper weld

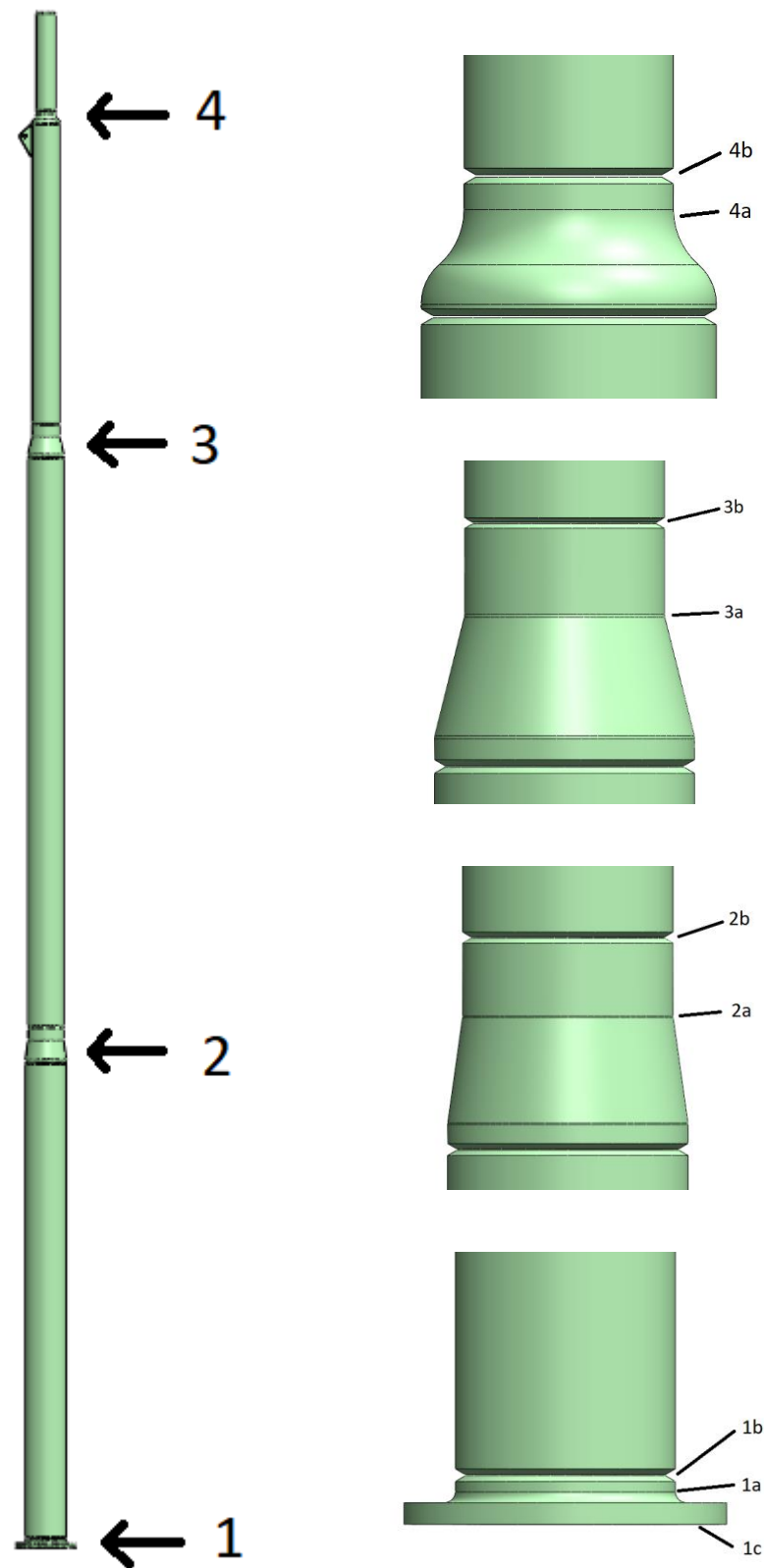


Figure 6: Critical locations of the tower

The dimensions and sectional properties of the critical tower parts that are relevant for the stress calculations are shown in Table 4. Hereby, the equation shown in Box 1 was used.

Table 4: dimensions and sectional properties of the critical tower parts

		1. Flange		2. Reducer 1		3. Reducer 2		4. Reducer 3	
		1a. Flange radius	1b. Flange weld	2a. Conical Transition	2b. Upper weld	3a. Conical transition	3b. Upper weld	4a. Conical transition	4b. Upper weld
Height	h [m]	0.04	0.09	5.024	5.156	11.006	11.13	14.204	14.234
Outer diameter	D [m]	0.4064	0.4064	0.3556	0.3556	0.273	0.273	0.1937	0.1937
Wall thickness	t [m]	0.02	0.02	0.016	0.016	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125
Section modulus	W [m ³]	2.24E-03	2.24E-03	1.39E-03	1.39E-03	6.37E-04	6.37E-04	3.03E-04	3.03E-04

Box 1

Section modulus:

$$W = \frac{\pi}{2D} \left(\left(\frac{D}{2} \right)^4 - \left(\frac{D}{2} - t \right)^4 \right)$$

The material fatigue and ultimate strength properties are shown in Table 5. Fatigue strength properties are determined based on EC3 (4). The welds between the flange/reducers and the different tube sections correspond best with construction detail 3 from table 8.6 in EC3 (4). This detail corresponds with butt welds between tubes. However for the welds in the tower detail category 90 can be used because of the note in the table that states that for thicknesses larger than 8mm two detail categories higher can be used.

Table 5: material fatigue and ultimate strength properties

		1. Flange		2. Reducer 1		3. Reducer 2		4. Reducer 3	
		1a. Flange radius	1b. Flange weld	2a. Conical Transition	2b. Upper weld	1a. Flange radius	1b. Flange weld	2a. Conical Transition	2b. Upper weld
detail category ¹		table 8.1 cat 3	table 8.6. cat 3	table 8.1 cat 3	table 8.6. cat 3	table 8.1 cat 3	table 8.6. cat 3	table 8.1 cat 3	table 8.6. cat 3
Fatigue limit at 2E6 cycles	$\sigma_{fat_{2E6}}$ [Mpa]	160	90	160	90	160	90	160	90
Yield strength	σ_{yield} [Mpa]	355.0	355.0	355.0	355.0	355.0	355.0	355.0	355.0

6.2 Material safety factors

In accordance with IEC-61400-2 (1), the material safety factors as shown in Table 6 have been applied for ultimate and fatigue load evaluations:

¹ For all the welds where detail category number 3 from table 8.6 applies, two categories higher are used since the thickness is greater than 8 mm.

Table 6: material safety factors

Material safety factor ultimate loads	$\gamma_{m_{ult}}$	1.1
Material safety factor fatigue loads	$\gamma_{m_{fat}}$	1.25

6.3 Ultimate strength evaluation

The ultimate strength was evaluated by the ratio of the highest occurring stress divided by the maximum allowable stress. The latter is the Yield strength reduced by the material safety factor for ultimate loads as described in paragraph 6.2.

The loads required for this analysis are calculated using an aero-elastic model called FAST. Document 82218 describes in detail how this load set is calculated. Chapter 7 gives an overview of these loads at the critical locations. In chapter 6.5 is described how the unit stresses and concentration factors are calculated using a FEM model. These unit stresses and concentration factors are used to calculate the ultimate strength. This evaluation is presented in chapter 8.

The ultimate analysis is done using the Mxy loads at the tower bottom. The influence of the thrust (Fxy) is included since the bending moment in the FEM model is implemented using a tower top thrust force. The Mz load (tower torsion) is not considered because of the passive yaw system. The influence of Fz is not considered because the influence is very small (the max for TwrBsFzt causes a stress of only 2.3 MPa in the lowest tower tube). Fatigue strength evaluation

6.4 Fatigue strength evaluation

The fatigue strength of all the critical locations was determined based on EC3 (4). Hereby, a detail category was assigned to each of the critical locations. The result can be found in Table 5.

The fatigue damage has been determined in the following steps:

- Using FAST, the loads for several wind speeds were calculated. This is described in more detail in document 82218.
- A rain flow count method was applied. Hereby stress ranges are calculated using the unit stresses as calculated in chapter 6.5. These stress ranges are divided into classes.
- A Weibull distribution was used to determine probability of each wind speed.
- For each stress range class, the number of cycles has been determined based on a lifetime of 20 years.
- The fatigue damage for one stress range class is the ratio of the number of cycles divided by the maximum allowable cycles for the given stress range class. Hereby, the material safety factor for fatigue loading as described in paragraph 6.2 has been applied.
- The total fatigue damage is the sum of the fatigue damage from all stress range classes. The result of this evaluation is presented in Chapter 8. In section 8.1.2 an example calculation is presented for the fatigue damage at the weld between the flange and the first tube (location 1b).
- The fatigue analysis is done using the My loads at the tower bottom because My is the direction with the highest fatigue loads (see fatigue equivalent tower bottom loads in (2)). No wind rose is applied. The influence of the thrust (Fx) is included since the bending moment in the FEM model is implemented using a tower top thrust force. The Mz load (tower torsion) is not considered because of the passive yaw system. The influence of Fz is not considered because the influence is very small (the fatigue equivalent loads for TwrBsFzt and TwrBsMyt, combined

with the cross section area and moment of resistance of the lowest tower tube show a 711 times lower influence at the stress for TwrBsFzt).

6.5 FEM analysis

To support the stress calculations, Final Element Model (FEM) analysis was carried out. This was done to determine the following:

- Unit stress from pre-tension
- Unit stress from external loading
- Bolt stresses

In total, 4 FEM simulations were carried out. An overview of the most relevant input parameters is shown in Table 7.

Table 7: Overview of relevant input parameters for FEM simulations

	simulation 1	simulation 2	simulation 3	simulation 4
Tower top loading	6578.9N (resulting in 100 kNm at the tower bottom)	No loading	12499.9N (resulting in 190 kNm at the tower bottom)	No loading
Tower to foundation connection	Bolted connection as described in paragraph 5.3. Hereby the minimum pre-tension of 192.5 kN per bolt was used.	Bolted connection as described in paragraph 5.3. Hereby the minimum pre-tension of 192.5 kN per bolt was used.	Bolted connection as described in paragraph 5.3. Hereby the maximum pre-tension of 269.5 kN per bolt was used.	Bolted connection as described in paragraph 5.3. Hereby the maximum pre-tension of 269.5 kN per bolt was used.
Support	Vertical and horizontal support at all 4 ends of the foundation.			

6.5.1 Unit stress from pre-tension

The flange is subjected to stresses due to pre-tension of the bolts. This has been analyzed in simulation 2. Hereby the minimal pre-tension of 192.5 kN was applied to the bolt. No external load was applied.

The resulting unit stresses caused by pre-tension of the tower bottom flange bolts are shown in Table 8. The used equation is shown in Box 2. This unit stress is used in the ultimate load evaluation.

Table 8: Determination of unit stresses caused by pre-tension of the tower bottom flange bolts

		1. Flange		2. Reducer 1		3. Reducer 2		4. Reducer 3	
		1a. Flange radius	1b. Flange weld	2a. Conical Transition	2b. Upper weld	1a. Flange radius	1b. Flange weld	2a. Conical Transition	2b. Upper weld
Stress from pre-tension (192.5 kN)	σ_{pre} [Mpa]	52.5	21.9	0	0	0	0	0	0
Unit stress from pre-tension	s_{pre} [Mpa/kN]	0.273	0.114	0	0	0	0	0	0

Box 2

Unit stress from by pre-tension:	$s_{pre} = \frac{\sigma_{pre}}{F_{pre}}$
----------------------------------	--

6.5.2 Unit stress from external loading

For each of the critical locations, the unit stress from external loading has been determined. This has been done based on simulation 1. These unit stresses are used in both the fatigue and ultimate strength evaluation described in section 0. An overview of unit stresses from external loading is shown in Table 9. Hereby, the used equations are shown in Box 3. The results from FEM simulation 1 are shown in Annex 9.1.

Table 9: Determination of unit stresses

		1. Flange		2. Reducer 1		3. Reducer 2		4. Reducer 3	
		1a. Flange radius	1b. Flange weld	2a. Conical Transition	2b. Upper weld	3a. Conical Transition	3b. Upper weld	4a. Conical Transition	4b. Upper weld
Moment	M [kNm]	100	99.7	67.1	66.3	27.7	26.8	6.6	6.4
Stress from calculation	σ_{calc} [Mpa]	44.7	44.6	48.4	47.8	43.4	42.1	21.7	21.0
Total stress from FEM	σ_{tot} [Mpa]	146.6	74.5	57.2	47.7	51	42	37.4	17.2
Stress from external loading	σ_{ext} [Mpa]	94.1	52.6	57.2	47.7	51	42	37.4	17.2
Stress concentration factor	k_t [-]	2.10	1.18	1.18	1.00	1.17	1.00	1.72	1.00
Unit stress from external load	s_{ext} [Mpa/kNm]	0.941	0.528	0.852	0.721	1.843	1.569	5.693	3.301

Box 3

Bending moment:	$M = F \cdot (L_{tot} - h)$
Analytically calculated stress:	$\sigma_{calc} = \frac{M}{W}$
Stress from external loading:	$\sigma_{ext} = \sigma_{tot} - s_{pre} \cdot F_{pre}$
Stress concentration factor:	$k_t = \frac{\sigma_{ext}}{\sigma_{calc}}$
Unit stress from external load:	$s_{ext} = \frac{k_t}{W}$

6.5.3 Bolt stresses

For the Bottom flange to foundation connection, the following was determined:

- Bolt unit stress from external loading at maximum pre-tension
- Bolt unit stress from external loading at minimum pre-tension

The minimum and maximum pretensions are listed in Table 2 in chapter 5.3.

The bolt unit stress at maximum pre-tension will be used for the ultimate bolt strength evaluation. These have been determined using the steps below. The results are shown in Annex 9.4. The equations used are shown in Box 4. This is done for all the bolts in the connection. From this, the maximum value is used for the unit stress, which is presented in Table 10. This unit stress is used to evaluate the ultimate bolt strength with the analytic equations as presented in section 8.2.1.

- From simulation 4, the bending moment caused by the maximum pre-tension (M_{premax}) has been determined.
- From simulation 3, the bending moment (M_{tot}) and axial force (F_{tot}) caused by both the maximum pre-tension and the external load has been determined.
- The bending moment and axial force caused solely by external loading has been determined.
- The stress from the external loading was determined
- The unit stress from external loading was determined.

The bolt unit stress at minimum pre-tension will be used for the fatigue bolt strength evaluation. Hereby, a similar approach was used, however, using results from simulation 2 to determine the bending moment caused by the minimum pre-tension (M_{premin}), and using results from simulation 1 to determine the total bending moment and axial force (M_{tot} and F_{tot}). The results are shown in Annex 9.5, and the used equations are shown in Box 5. This is done for all the bolts in the connection. From this, the absolute maximum value is used for the unit stress, which is presented in Table 10. This unit stress is used in the fatigue strength evaluation of the bolts as described in section 0.

Box 4

Axial force from external loading:	$F_{ext} = F_{tot} - F_{premax}$
Bending moment from external loading:	$M_{ext} = M_{tot} - M_{premax}$
Stress from external loading:	$\sigma_{ext} = \frac{F_{ext}}{A_s} + \frac{M_{ext}}{W}$
Unit stress from external loading	$s_{ext} = \frac{\sigma_{ext}}{190 \text{ kNm}}$

Box 5

Axial force from external loading:	$F_{ext} = F_{tot} - F_{premin}$
Bending moment from external loading:	$M_{ext} = M_{tot} - M_{premin}$
Stress from external loading:	$\sigma_{ext} = \frac{F_{ext}}{A_s} + \frac{M_{ext}}{W}$
Unit stress from external loading	$s_{ext} = \frac{\sigma_{ext}}{100 \text{ kNm}}$

The resulting values for the bolt unit stress at maximum and minimum pre-tension are shown in Table 10.

Table 10: Bolt unit stress at maximum and minimum pretension

	Bottom flange to foundation
Unit stress from external load – maximum pre-tension s_{ext} [Mpa/kNm]	0.0525
Unit stress from external load – minimum pre-tension s_{ext} [Mpa/kNm]	0.1221

7 Loads

All loads, ultimate and fatigue, are calculated using the aero-elastic FAST model as described in document 82218. The ultimate tower loads have been calculated at 4 locations. An overview of these loads, including the load safety factor of 1.35, is shown in Table 11.

Table 11: Ultimate loads including load safety factor

		1. Flange	2. Reducer 1	3. Reducer 2	4. Reducer 3
Height	[m]	0	5.127	11.159	14.000
Moment	[kNm]	211.5	130.6	66.5	38.00

The rain flow counted load ranges over a lifetime of 20 years are shown in Annex 9.3. These will be input for the fatigue strength evaluation as described in section 0.

8 Strength Evaluation

8.1 Evaluation of parts and welds

8.1.1 Ultimate load evaluation

The ultimate load evaluation of the tower parts and welds is shown in Table 12. Hereby, the used equations are shown in Box 6.

Table 12: Overview of ultimate load evaluation of the tower parts and welds

		1. Flange		2. Reducer 1		3. Reducer 2		4. Reducer 3	
		1a. Flange radius	1b. Flange weld	2a. Conical Transition	2b. Upper weld	1a. Flange radius	1b. Flange weld	2a. Conical Transition	2b. Upper weld
External moment	M [kNm]	211.5	211.5	130.6	130.6	66.5	66.5	38	38
Stress due to pre-tension	σ_{pre} [Mpa]	73.50	30.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Stress from external load	σ_{ext} [Mpa]	199.02	111.62	111.29	94.15	122.59	104.37	216.32	125.42
Stress total	σ_{tot} [Mpa]	272.52	142.28	111.29	94.15	122.59	104.37	216.32	125.42
Evaluation		0.844	0.441	0.345	0.292	0.380	0.323	0.670	0.389

Box 6

Stress due to pre-tension:	$\sigma_{pre} = s_{pre} * F_{pre}$
Stress from external load:	$\sigma_{ext} = \frac{M}{W} \cdot k_t$
Total Stress:	$\sigma_{tot} = \sigma_{pre} + \sigma_{ext}$
Evaluation:	$\frac{\sigma_{tot}}{\sigma_{yield}/\gamma_{m_{ult}}} > 1$

8.1.2 Fatigue load evaluation

As an example the calculation for the fatigue damage at the weld between the flange and the first tube (location 1b) is presented below. The fatigue load evaluation of the other locations is presented at the end of this section.

In Table 14 the fatigue damage at the weld between the flange and the first tube is calculated. The first two columns show the SN curve corresponding with category 90. The next two columns show the rainflow counted tower base bending moment (TwrBsMyt) ranges and corresponding cycles as calculated in FAST. These moments are multiplied with the unit stress of 0.528 Mpa/kNm as calculated in 6.5.2 and the material safety factor of 1.25 resulting in the stress in the weld (TwrBs weld stress). For each stress range the allowed number of cycles is calculated using the SN-curve. The result of these calculations can be found in Figure 7. The ratio between the cycles per stress range and the allowed

number of cycles is the damage per stress range. This is presented in the last column of Table 14. The total damage is the sum of all of the damages.

As an example the damage is calculated for the tower base moment range of 97.691 kNm, this is presented in Box 7.

Box 7

Tower base bending moment:	97.691 kNm
Cycles:	313372.6
Weld stress:	$97.691 * 0.528 * 1.25 = 64.476 \text{ MPa}$
Allowable number of cycles:	$\frac{5 * 10^6}{\left(\frac{64.476}{66}\right)^5} = 5.619 * 10^6$
Damage:	$\frac{313372.6}{5.619 * 10^6} = 5.577 * 10^{-2}$

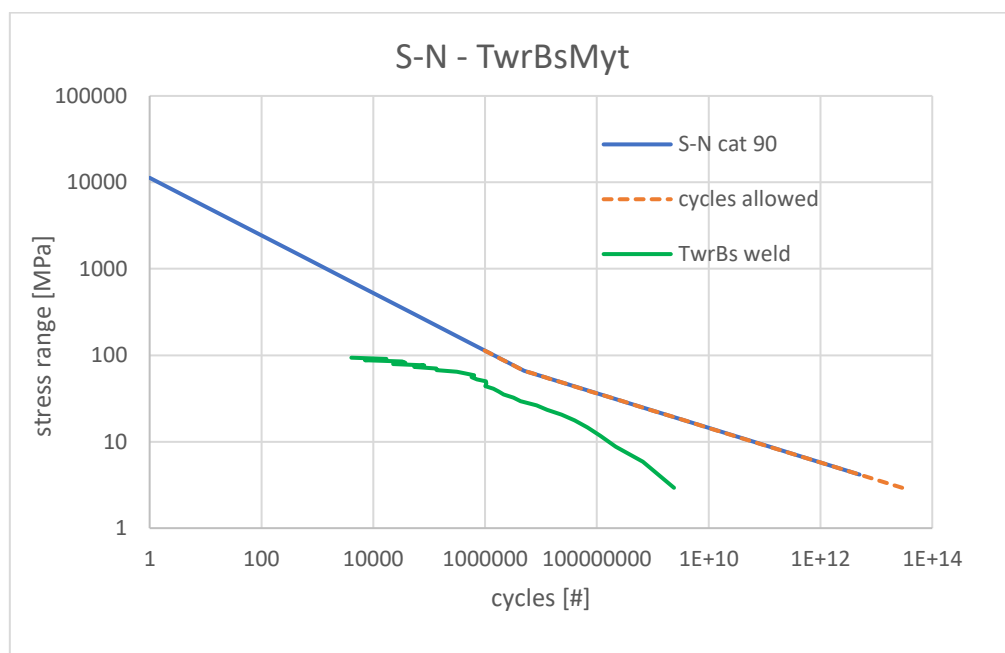


Figure 7: SN-curve and rainflow counted stress in flange weld.

The fatigue load evaluation of the tower parts and welds is shown in Table 13.

Table 13: Overview of the fatigue load evaluation of the tower parts and welds

	1. Flange		2. Reducer 1		3. Reducer 2		4. Reducer 3	
	1a. Flange radius	1b. Flange weld	2a. Conical Transition	2b. Upper weld	1a. Flange radius	1b. Flange weld	2a. Conical Transition	2b. Upper weld
Evaluation [-]	0.714	0.724	0.037	0.287	0.033	0.269	0.733	0.875

Table 14: Calculation of the fatigue damage of location 1b

S-N cat 90 cycles [#]	cat 90 [Mpa]	Rainflow TwrBsMyt [kNm]	rnt104.res cycles [#]	Rainflow TwrBs weld [MPa]	cycles [#]	cycles allowed [#]	damage [-]
1	11285.84	4.440	2.4E+09	2.931	2.40E+09	2.896E+13	8.282E-05
5	6600	8.881	6.64E+08	5.861	6.64E+08	9.050E+11	7.339E-04
50	3063.449	13.321	2.16E+08	8.792	2.16E+08	1.192E+11	1.816E-03
500	1421.927	17.762	1.15E+08	11.723	1.15E+08	2.828E+10	4.083E-03
5000	660	22.202	67622664	14.654	6.76E+07	9.267E+09	7.297E-03
50000	306.3449	26.643	39916068	17.584	3.99E+07	3.724E+09	1.072E-02
500000	142.1927	31.083	23384474	20.515	2.34E+07	1.723E+09	1.357E-02
5000000	66	35.524	12880586	23.446	1.29E+07	8.838E+08	1.457E-02
50000000	41.64318	39.965	8308230	26.377	8.31E+06	4.905E+08	1.694E-02
5E+08	26.27507	44.405	4338938	29.307	4.34E+06	2.896E+08	1.498E-02
5E+09	16.57845	48.846	3223132	32.238	3.22E+06	1.798E+08	1.792E-02
5E+10	10.4603	53.286	2140896	35.169	2.14E+06	1.164E+08	1.839E-02
5E+11	6.6	57.727	1768621	38.099	1.77E+06	7.800E+07	2.267E-02
5E+12	4.164318	62.167	1404998	41.030	1.40E+06	5.385E+07	2.609E-02
		66.607	1016515	43.961	1.02E+06	3.814E+07	2.665E-02
		71.048	1051479	46.892	1.05E+06	2.762E+07	3.807E-02
		75.489	1033808	49.822	1.03E+06	2.040E+07	5.068E-02
		79.929	714609.1	52.753	7.15E+05	1.533E+07	4.663E-02
		84.369	577524.5	55.684	5.78E+05	1.170E+07	4.938E-02
		88.810	635086.8	58.615	6.35E+05	9.050E+06	7.017E-02
		93.250	436326.7	61.545	4.36E+05	7.091E+06	6.153E-02
		97.691	313372.6	64.476	3.13E+05	5.619E+06	5.577E-02
		102.132	135587.4	67.407	1.36E+05	4.693E+06	2.889E-02
		106.572	135432.6	70.338	1.35E+05	4.131E+06	3.279E-02
		111.012	54278.54	73.268	5.43E+04	3.655E+06	1.485E-02
		115.453	81939.93	76.199	8.19E+04	3.249E+06	2.522E-02
		119.894	22562.24	79.130	2.26E+04	2.901E+06	7.777E-03
		124.334	37263.88	82.060	3.73E+04	2.601E+06	1.432E-02
		128.775	32715.12	84.991	3.27E+04	2.341E+06	1.397E-02
		133.215	7158.159	87.922	7.16E+03	2.115E+06	3.384E-03
		137.656	17315.84	90.853	1.73E+04	1.917E+06	9.033E-03
		142.096	4061.116	93.783	4.06E+03	1.743E+06	2.330E-03
		146.536	0	96.714	0.00E+00	1.589E+06	0.000E+00
		150.977	0	99.645	0.00E+00	1.453E+06	0.000E+00
		155.417	1548.521	102.576	1.55E+03	1.332E+06	1.163E-03
		159.858	0	105.506	0.00E+00	1.224E+06	0.000E+00
		164.298	0	108.437	0.00E+00	1.127E+06	0.000E+00
		168.739	0	111.368	0.00E+00	1.041E+06	0.000E+00
		173.180	0	114.298	0.00E+00	9.627E+05	0.000E+00
		177.620	1548.521	117.229	1.55E+03	8.923E+05	1.735E-03
Total damage							7.242E-01

8.2 Evaluation of bolts

8.2.1 Ultimate load evaluation

The ultimate load evaluation of the bolts is shown in Table 15. Hereby, the used equations are shown in Box 8.

Table 15: ultimate load evaluation of bolt

		Bottom flange to foundation
Tower bottom moment	M [kNm]	211.5
Stress from external load	σ_{ext} [Mpa]	11.10
Maximum pre-tension	F_{premax} [N]	269500
Moment caused by maximum pre-tension	m_{premax} [Nm]	23.10
Torsional moment due to pitch	T_{pitch} [Nm]	129
Torsional moment due to thread friction	T_{thread} [Nm]	448
Torsional moment due to head friction	T_{head} [Nm]	340
Torsional stress from pre-tension	τ_{pre} [Mpa]	308.25
Normal stress from pre-tension	σ_{pre} [Mpa]	788.12
Total stress	σ_{tot} [Mpa]	843.68
Evaluation	[-]	0.898

Box 8

Torsional moment from pitch:	$T_{pitch} = p * 0.16 * F_{premax}$
Torsional moment from thread friction:	$T_{thread} = 0.58 * F_{premax} * Fric_{thr} * d_2$
Torsional moment from head friction:	$T_{head} = F_{premax} * Fric_{hd} \frac{D_{hd}}{2}$
Stress from external load:	$\sigma_{ext} = M * s_{ext}$
Stress from pre-tension:	$\sigma_{pre} = \frac{F_{premax}}{A_s}$
Stress from pre-tension torsion:	$\tau_{pre} = \frac{T_{pitch} + T_{thread}}{Z}$
Total stress:	$\sigma_{tot} = \sqrt{(\sigma_{pre} + \sigma_{ext} \cdot \gamma_{m_{ult}})^2 + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{pre}}{2}\right)^2}$
Evaluation:	$\frac{\sigma_{tot}}{\sigma_{yield}} > 1$

8.2.2 Fatigue load evaluation

The fatigue load evaluation of the bolts is shown in Table 16.

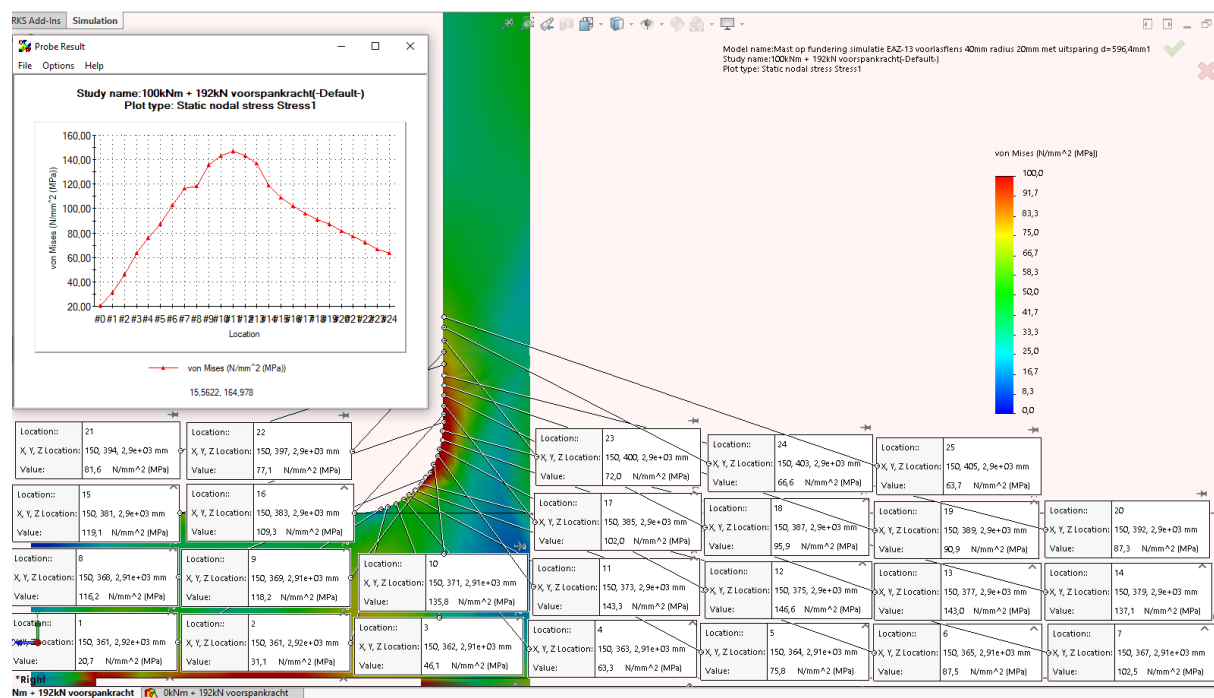
Table 16: Fatigue load evaluation of bolts

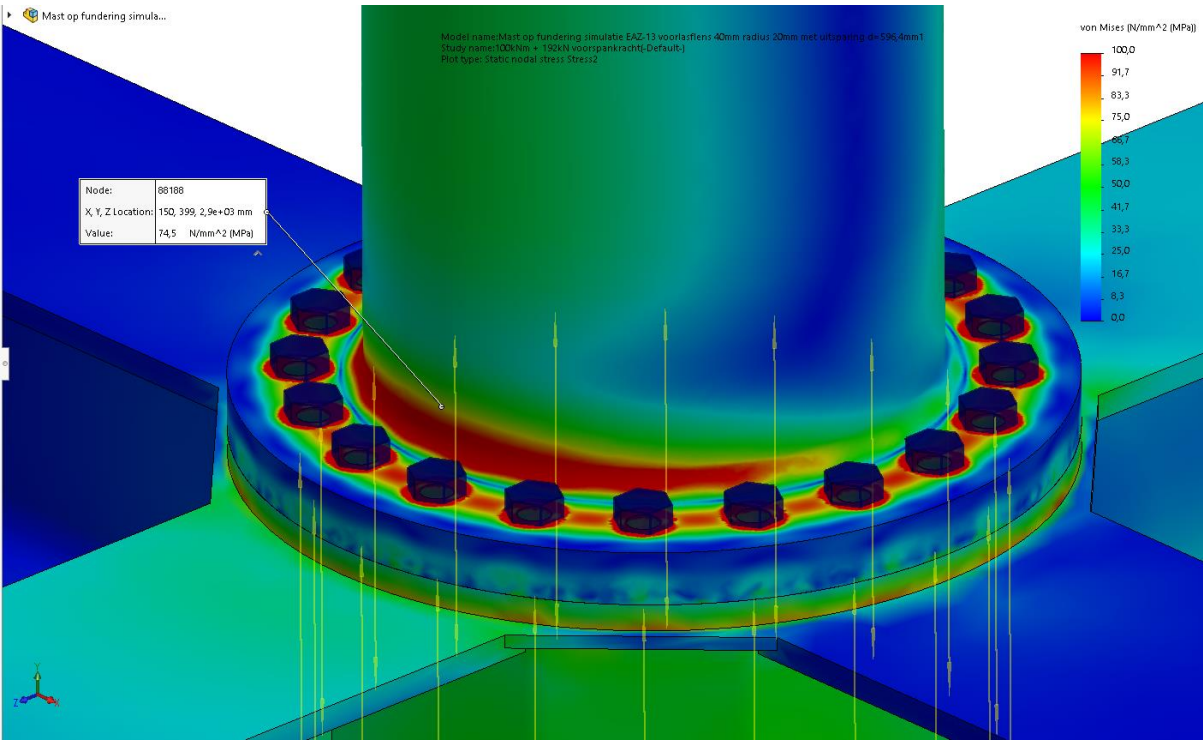
		Bottom flange to foundation
Evaluation	[-]	0.010

9 Annexes

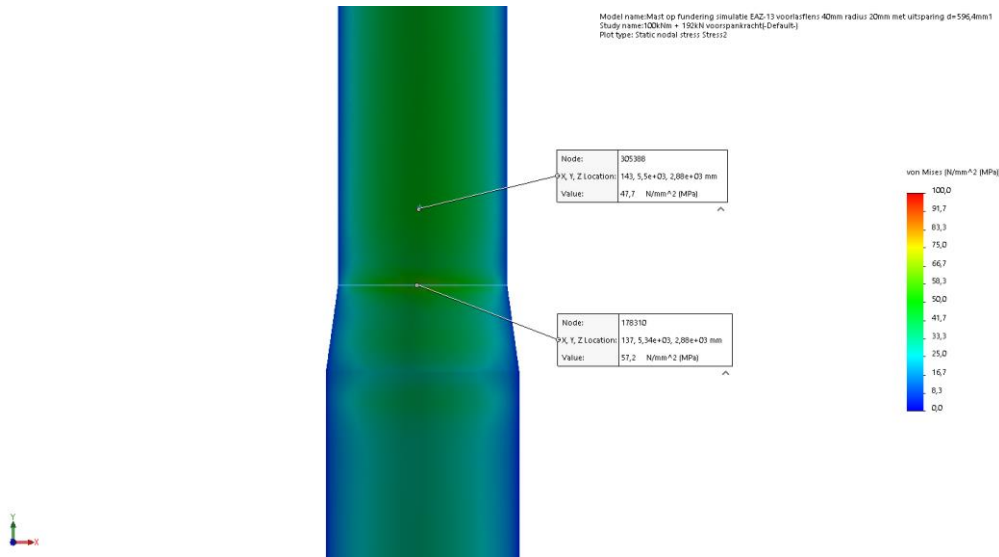
9.1 Results FEM simulation 1

Bottom flange:

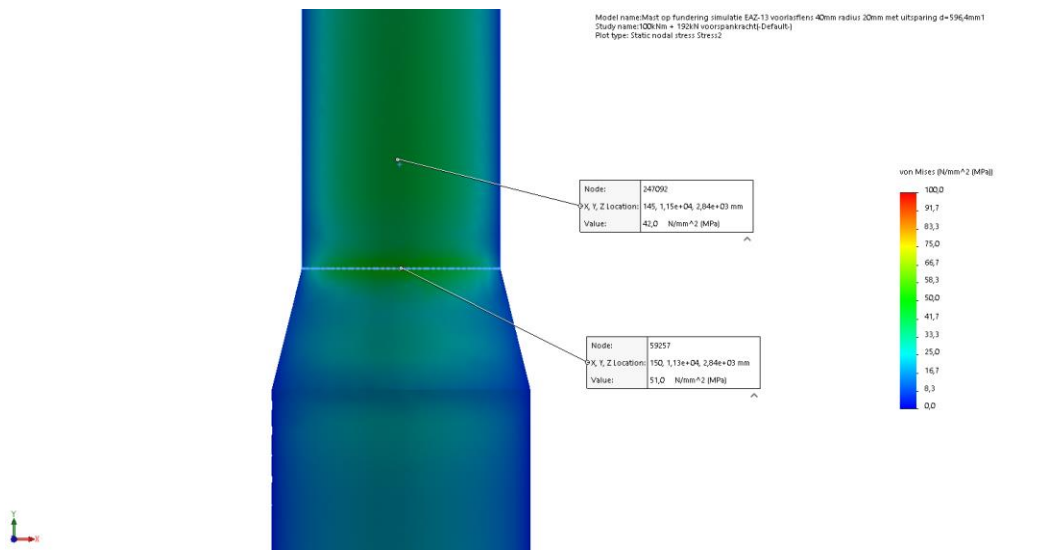




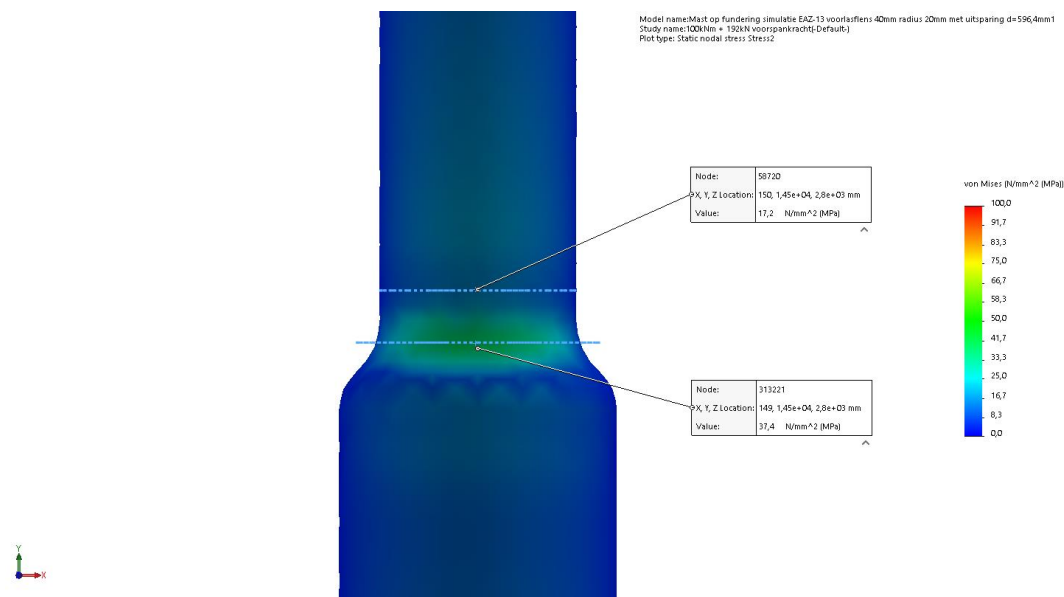
Reducer 1:



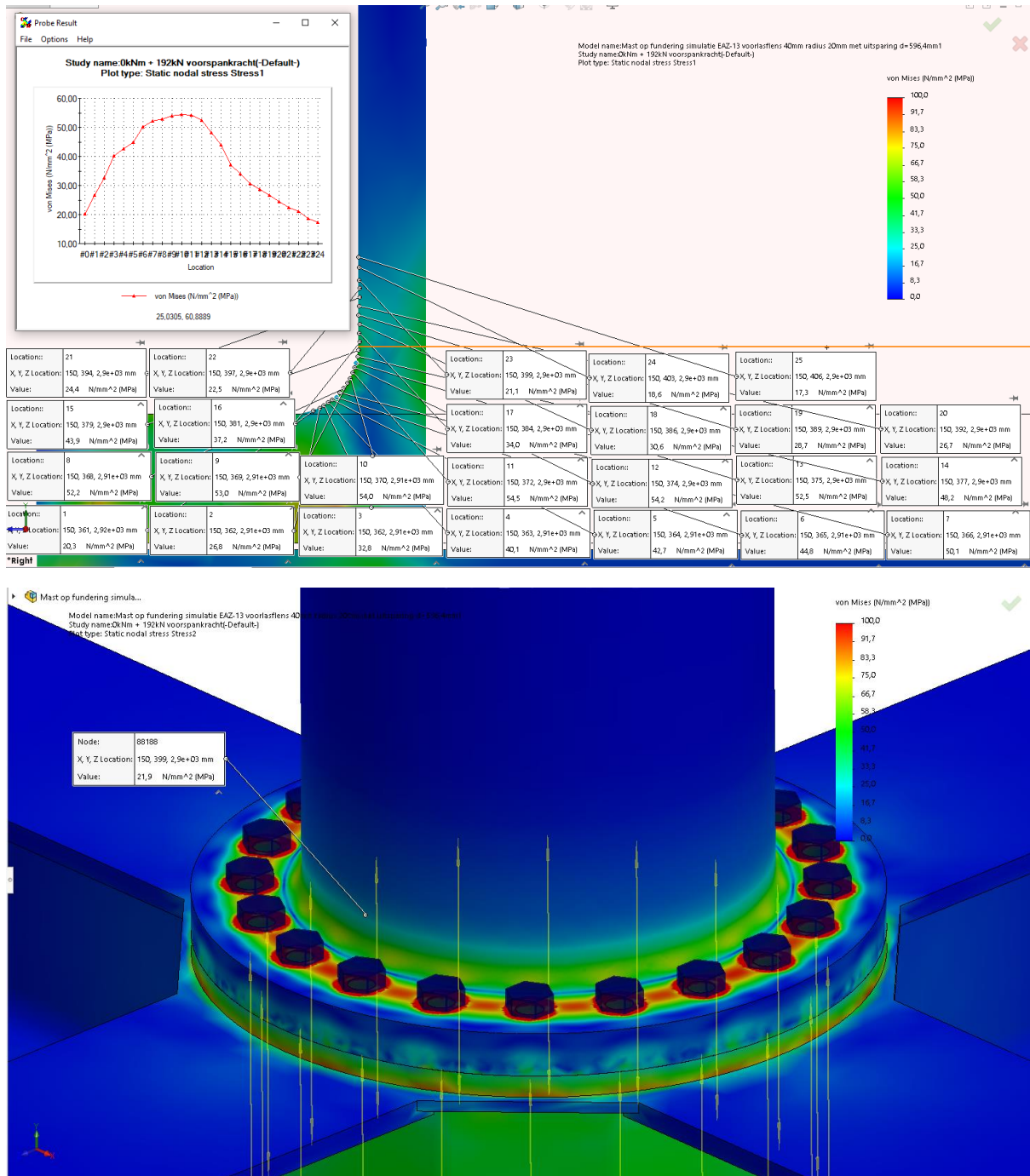
Reducer 2:



Reducer 3:



9.2 Results FEM simulation 2



9.3 Rain flow counts

3. Reducer 3		2. Reducer 2		2. Reducer 1		1. Flange	
range	cycles	range	cycles	range	cycles	range	cycles
[kNm]	[#]	[kNm]	[#]	[kNm]	[#]	[kNm]	[#]
0.5755	8.47E+08	1.0205	1.54E+09	2.699	7.76E+08	4.4405	2.40E+09
1.151	7.49E+08	2.041	1E+09	5.398	1.4E+08	8.881	6.64E+08
1.7265	5.72E+08	3.0615	5.4E+08	8.097	90972456	13.3215	2.16E+08
2.302	4.24E+08	4.082	2.9E+08	10.796	62016248	17.762	1.15E+08
2.8775	3.14E+08	5.1025	1.68E+08	13.495	37065364	22.2025	67622664
3.453	2.29E+08	6.123	1E+08	16.194	22956572	26.643	39916068
4.0285	1.61E+08	7.1435	59503752	18.893	13025087	31.0835	23384474
4.604	1.1E+08	8.164	34150400	21.592	8730534	35.524	12880586
5.1795	73059952	9.1845	21008892	24.291	5110061	39.9645	8308230
5.755	48047876	10.205	11811201	26.99	3342068	44.405	4338938
6.3305	30254542	11.2255	7432369	29.689	2371229	48.8455	3223132
6.906	18971746	12.246	4929700	32.388	1729714	53.286	2140896
7.4815	10789594	13.2665	2953365	35.087	1621209	57.7265	1768621
8.057	7789473	14.287	2122288	37.786	1138302	62.167	1404998
8.6325	4986269	15.3075	1988924	40.485	1017766	66.6075	1016515
9.208	3824176	16.328	1408247	43.184	1040955	71.048	1051479
9.7835	2487120	17.3485	1220000	45.883	661472.3	75.4885	1033808
10.359	1520358	18.369	1042276	48.582	786244.4	79.929	714609.1
10.9345	1563280	19.3895	649225.4	51.281	594291.2	84.3695	577524.5
11.51	787988.9	20.41	1041016	53.98	612667.4	88.81	635086.8
12.0855	711319.9	21.4305	621725	56.679	366521.5	93.2505	436326.7
12.661	491009.1	22.451	665989.4	59.378	273578.5	97.691	313372.6
13.2365	409049	23.4715	537299.1	62.077	208876.8	102.1315	135587.4
13.812	184985.1	24.492	436148.8	64.776	161525.5	106.572	135432.6
14.3875	130869.5	25.5125	289149.1	67.475	83274.21	111.0125	54278.54
14.963	137179	26.533	245577.4	70.174	59379.15	115.453	81939.93
15.5385	27493.05	27.5535	181967.8	72.873	28199.68	119.8935	22562.24
16.114	33180.68	28.574	81739.91	75.572	35829.28	124.334	37263.88
16.6895	13741.64	29.5945	88398.07	78.271	41325	128.7745	32715.12
17.265	34739.88	30.615	8149.128	80.97	18983.24	133.215	7158.159
17.8405	9583.001	31.6355	45482.91	83.669	7158.159	137.6555	17315.84
18.416	1548.521	32.656	62917.63	86.368	11219.28	142.096	4061.116
18.9915	8229.528	33.6765	4645.563	89.067	4061.116	146.5365	0
19.567	12193.12	34.697	22449.23	91.766	0	150.977	0
20.1425	0	35.7175	8706.68	94.465	1548.521	155.4175	1548.521
20.718	4070.887	36.738	1548.521	97.164	0	159.858	0
21.2935	0	37.7585	0	99.863	0	164.2985	0
21.869	0	38.779	0	102.562	0	168.739	0
22.4445	0	39.7995	1548.521	105.261	0	173.1795	0
23.02	0	40.82	0	107.96	1548.521	177.62	1548.521

9.4 Bolt stresses at maximum pre-tension

	From Pre-tension		Total		From external load			
Bolt number	Axial force (F_{premax}) [N]	Moment (M_{premax}) [Nm]	Axial force (F_{tot}) [N]	Moment (M_{tot}) [Nm]	Axial force (F_{ext}) [N]	Moment (M_{ext}) [Nm]	Normal stress (σ_{ext}) [Mpa]	Unit stress (S_{ext}) [MPa/kNm]
1	269500	10.462	2.71E+05	10.462	1300.00	0	3.683	0.0194
2	269500	21.19	2.72E+05	21.19	2990.00	0	8.470	0.0446
3	269500	21.919	2.73E+05	21.919	3510.00	0	9.943	0.0523
4	269500	23.101	2.73E+05	23.101	3520.00	0	9.972	0.0525
5	269500	19.415	2.72E+05	19.415	2990.00	0	8.470	0.0446
6	269500	11.741	2.72E+05	11.741	2180.00	0	6.176	0.0325
7	269500	13.22	2.71E+05	13.22	1280.00	0	3.626	0.0191
8	269500	17.068	2.70E+05	17.068	560.00	0	1.586	0.0083
9	269500	2.3925	2.69E+05	2.3925	-650.00	0	-1.841	-0.0097
10	269500	12.827	2.68E+05	12.827	-1530.00	0	-4.334	-0.0228
11	269500	14.663	2.67E+05	14.663	-2670.00	0	-7.564	-0.0398
12	269500	11.769	2.66E+05	11.769	-3910.00	0	-11.076	-0.0583
13	269500	17.805	2.65E+05	17.805	-4620.00	0	-13.088	-0.0689
14	269500	19.194	2.65E+05	19.194	-4660.00	0	-13.201	-0.0695
15	269500	14.453	2.66E+05	14.453	-3920.00	0	-11.105	-0.0584
16	269500	14.966	2.67E+05	14.966	-2710.00	0	-7.677	-0.0404
17	269500	12.841	2.68E+05	12.841	-1550.00	0	-4.391	-0.0231
18	269500	1.1909	2.69E+05	1.1909	-630.00	0	-1.785	-0.0094
19	269500	17.667	2.70E+05	17.667	510.00	0	1.445	0.0076
20	269500	10.893	2.72E+05	10.893	2200.00	0	6.232	0.0328

9.5 Bolt stresses at minimum pre-tension

	From Pre-tension		Total		From external load			
Bolt number	Axial force (F_{premin}) [N]	Moment (M_{premin}) [Nm]	Axial force (F_{tot}) [N]	Moment (M_{tot}) [Nm]	Axial force (F_{ext}) [N]	Moment (M_{ext}) [Nm]	Normal stress (σ_{ext}) [Mpa]	Unit stress (s_{ext}) [MPa/kNm]
1	192500	3.766	193200	5.5235	700	1.758	3.860	0.0386
2	192500	4.664	194030	12.041	1530	7.377	12.210	0.1221
3	192500	5.646	194270	12.256	1770	6.610	12.071	0.1207
4	192500	6.434	194310	12.58	1810	6.146	11.689	0.1169
5	192500	4.052	194050	11.102	1550	7.050	11.918	0.1192
6	192500	0.926	193680	6.3794	1180	5.453	9.165	0.0916
7	192500	4.223	193210	6.4222	710	2.199	4.359	0.0436
8	192500	5.041	192800	9.7602	300	4.719	5.888	0.0589
9	192500	5.782	192170	1.5498	-330	-4.232	-5.453	-0.0545
10	192500	2.894	191700	7.3474	-800	4.454	2.488	0.0249
11	192500	1.455	191130	8.8645	-1370	7.410	4.030	0.0403
12	192500	4.495	190520	7.1557	-1980	2.660	-2.769	-0.0277
13	192500	5.380	190090	9.7549	-2410	4.375	-2.157	-0.0216
14	192500	5.326	190090	10.776	-2410	5.450	-1.008	-0.0101
15	192500	4.351	190490	7.475	-2010	3.124	-2.359	-0.0236
16	192500	0.775	191120	7.8703	-1380	7.096	3.666	0.0367
17	192500	3.223	191720	6.8345	-780	3.612	1.647	0.0165
18	192500	5.430	192190	0.79202	-310	-4.638	-5.830	-0.0583
19	192500	5.965	192780	10.631	280	4.667	5.775	0.0578
20	192500	1.577	193660	5.2378	1160	3.661	7.195	0.0719



Structural Evaluation of Foundation EAZ-13.2

STRUCTURAL EVALUATION OF FOUNDATION OF THE EAZ-13.2 WIND TURBINE
ACCORDING TO IEC LOAD CASES

STEVEN VERMEER

[Comments]

Industrieweg 23a Hoogezand,
Tel: 0598 372383
www.eazwind.com



*This document is strictly private, confidential and written for **E.A.Z. Wind** only. It should not be copied, distributed or reproduced in whole or in part, nor passed to any third party.*

Version:	Author:	Info added/changed/deleted:	Date:	Reviewer 1:
V6	S. Vermeer		18-01-2021	Bart Claessen
V7	S. Vermeer	Updated loading on foundation: Tower mass is now divided over all 4 ends of the foundation	04-02-2021	Bart Claessen
V8	S. Vermeer	Included reference to EAZ-12 load case document in the introduction	12-02-2021	Bart Visser
V9	S. Vermeer	Added the pile foundation in chapter 11	18-02-2021	Bart Visser
V10	S. Vermeer	Implemented the loads from loadset V174.	25-03-2021	Bart Claessen

1 Contents

2 Introduction	4
3 References	4
4 Terms and definitions	5
5 Foundation design	7
5.1 Connections of the foundation	8
5.2 Dimensions	13
5.3 Materials	15
5.4 Concrete plate	15
6 Calculation method	19
6.1 Critical locations	19
6.2 Material safety factors	21
6.3 Ultimate strength evaluation	21
6.4 Fatigue strength evaluation	21
6.5 Foundation orientation	22
6.6 Load transmission	23
6.7 Unit stresses	24
7 Loads	27
8 Ultimate strength evaluation	28
8.1 Location 1: Center of cross	28
8.2 Location 2: HEB profile to HEB profile connection	29
8.3 Location 3: End of cross	33
9 Fatigue strength evaluation	35
10 Evaluation of concrete plate	36
10.1 Concrete plate loading	36
10.2 Evaluation according to Eurocode 2	37
11 Evaluation of HEB-profile to pile connection	39
12 Annexes	41
12.1 Specification sheet concrete plate	41
12.2 Layout of the reinforcement	42
12.3 Results from FEM simulation 2	43
12.4 Results from FEM simulation 3	44
12.5 Rain flow counts	45

2 Introduction

This document gives a detailed structural evaluation of the foundation of the EAZ-13.2 wind turbine. This is done for ultimate and fatigue load cases according to IEC-61400-2 (1). The evaluation will be done based on the loads of the EAZ-13.2 wind turbine, which are calculated in (2). It should be noted that the EAZ-13.2 is an upgraded version of the EAZ-12. Since the loads of the EAZ-12 are lower than those of the EAZ-13.2, this foundation also meets the requirements for the EAZ-12. The loads of the EAZ-12, including a comparison between the EAZ-12 and the EAZ-13.2, are given in (3).

First the foundation design is discussed, dimensions and connections are evaluated, and materials are specified. In chapter 6 the calculation method is presented. Hereby, critical locations of the foundation, where strength is analyzed, are discussed and the method for calculating ultimate and fatigue strength are discussed. Some assumptions for calculating the loads are presented and the unit stresses are calculated in this chapter. The loads are presented in chapter 7. Chapter 8 gives the evaluation of ultimate strength and chapter 9 the fatigue strength evaluation. The concrete plates are analyzed separately in chapter 10.

3 References

1. IEC. *Wind Turbines - Part 2: Small Wind Turbines*. 2013.
2. Visser, B. 82218 *Design loads EAZ-13.2*.
3. Visser, B. 82219 *Design loads EAZ-12*.
4. Huijssoon, W. 82213 *The minimum soil characterization for the foundation*.
5. NEN. *NEN-EN 1993-1-9+C2, Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-9: Fatigue*. 2012.
6. *NEN-EN 1992-1-1+C2, Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: general rules and rules for buildings*. 2011.

4 Terms and definitions

The following abbreviations, terms and definitions apply.

F_{pre}	Bolt pre-tension
A_s	Bolt cross sectional area
σ_{yield}	Yield strength
W_{HEB}	Section modulus of HEB300 profile
A_{HEB}	Cross sectional area of HEB300 profile
h_{HEB}	Height of HEB300 profile
W_{UNP}	Section modulus of UNP180 profile
A_{UNP}	Cross sectional area of UNP 180 profile
$d_{UNP-bolt}$	Distance from HEB profile to UNP profile bolts
t_{plate}	Thickness of the connection plate
b_{plate}	Width of the connection plate
A_{plate}	Cross sectional area of the connection plate
W_{plate}	Section modules of the connection plate
$\sigma_{fat_{2E6}}$	Fatigue limit at 2E6 cycles
$\gamma_{m_{ult}}$	Material safety factor for ultimate strength evaluation
$\gamma_{m_{fat}}$	Material safety factor for fatigue strength evaluation
M_{tb}	Moment at the tower bottom
F_{mass}	Force resulting from the mass of the turbine
σ_{pre}	Stress from pre-tension
s_{pre}	Unit stress from pre-tension
σ_{tot}	Total stress
σ_{ext}	Stress from external loading
s_{ext}	Unit stress from external loading
F_{vert}	Vertical force
$F_{hor_{weld}}$	Horizontal force at weld

$F_{hor_{weld}}$	Vertical force at weld
σ	Normal stress
τ	Shear stress
σ_{eq}	Equivalent stress
$F_{vert_{plate}}$	Vertical force at the connection plate
f_{fric}	Friction coefficient
F_{fric}	Friction force
$F_{reaction}$	Reaction force
$F_{tensile}$	Tensile force
$F_{downward}$	Downward force
$F_{upwards}$	Upward force

5 Foundation design

The foundation comes in two configurations:

- Concrete plate foundation
- Pile foundation

The concrete plate foundation is used if the soil at the site satisfies the minimum required soil characteristics. The calculation of the minimum soil characteristics is given in (4). In case the soil is weaker than the minimum requirements, a pile foundation is used. Hereby, a site specific calculation of the pile length must be carried out.

An overview of the concrete plate foundation is shown in Figure 1. It consists of a cross-shaped structure which is connected to four concrete plates. The tower is connected to the center of the cross. For the cross-shaped structure, HEB300 profiles are used. The following is annotated in the figure.

1. Tower to foundation connection
2. HEB profile
3. Centre of cross welded connection
4. HEB profile to HEB profile connection
5. HEB profile to concrete plate connection
6. Concrete plate
7. Electrical cabinet

The design of the pile foundation is very similar to the concrete plate foundation. Here, the concrete plates are replaced for piles. Also the connection between the H-beam and the pile is different. The design of the pile foundation and the connection between the H-beam and pile are explained in paragraph 5.1.4.

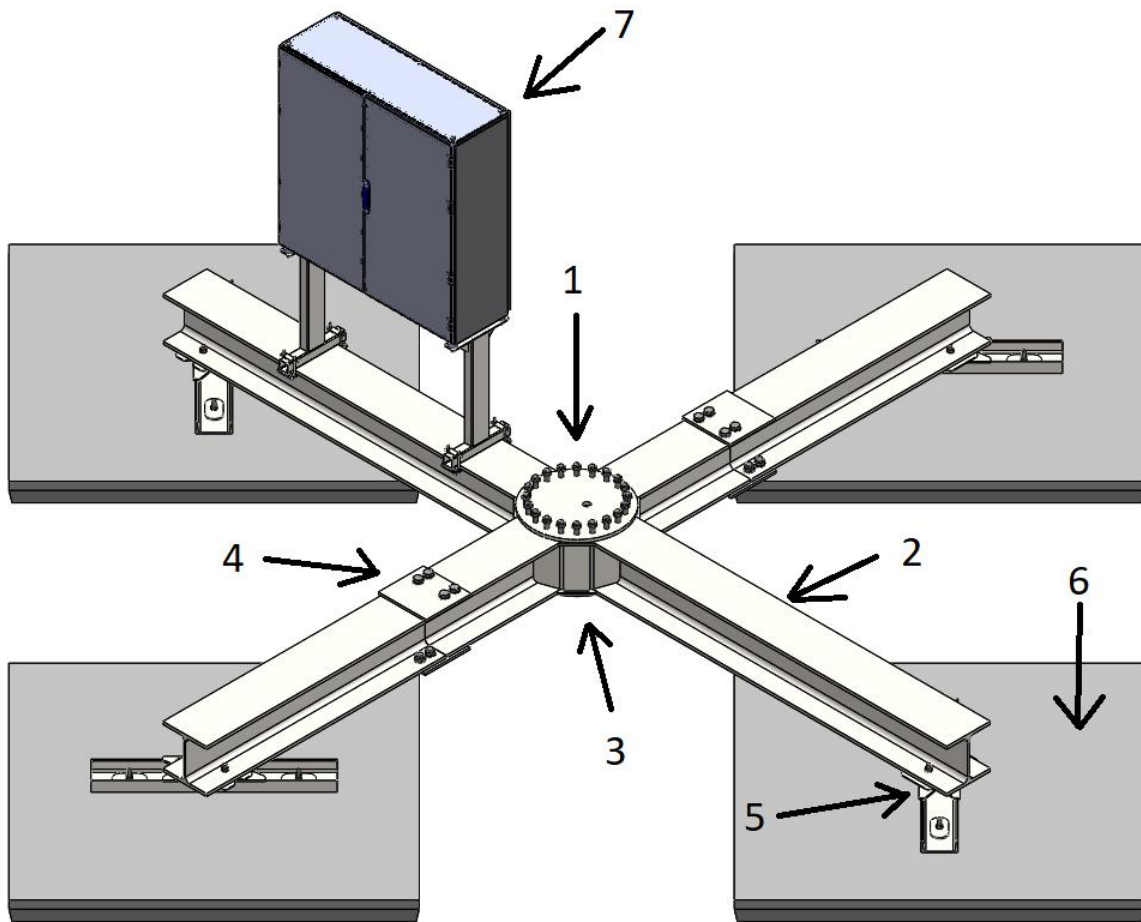


Figure 1: Overview of the foundation

5.1 Connections of the foundation

The foundation has the following connections

- Center of the cross connection
- HEB profile to HEB profile connection
- HEB profile to concrete plate connection

5.1.1 Center of cross connection

In Figure 2, the welded connection of center of the cross structure is shown. Two opposing shorter HEB300 profiles are welded to one longer HEB300 profile. Hereby, reinforcement plates are used to increase the strength. More details can be found in drawing 83504.

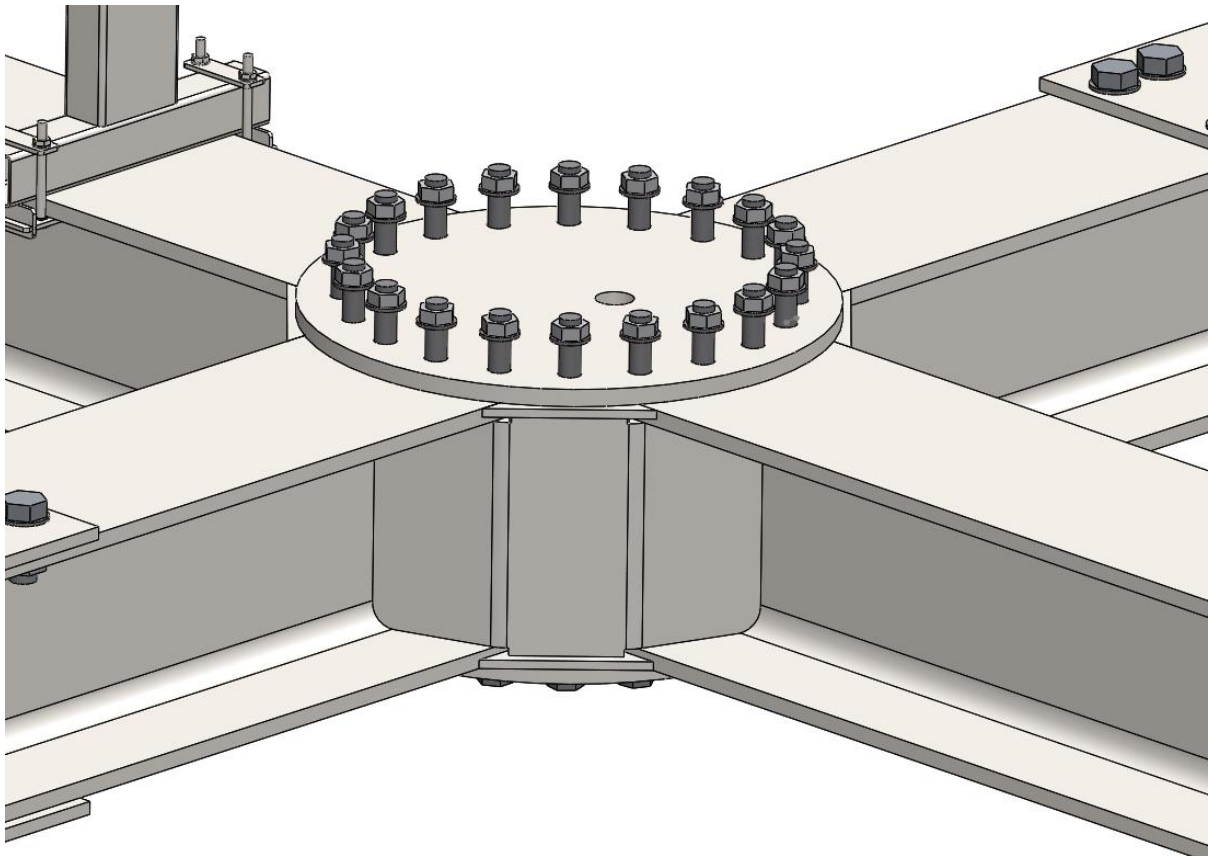


Figure 2: Center of cross welding connection

5.1.2 HEB profile to HEB profile connection

An overview of the HEB profile to HEB profile connection is shown in Figure 3. The HEB profiles are connected using two 15mm thick plates. These plates are mounted with four M30 bolts on one side and fillet welds the other side. More details can be found in drawing 83504.

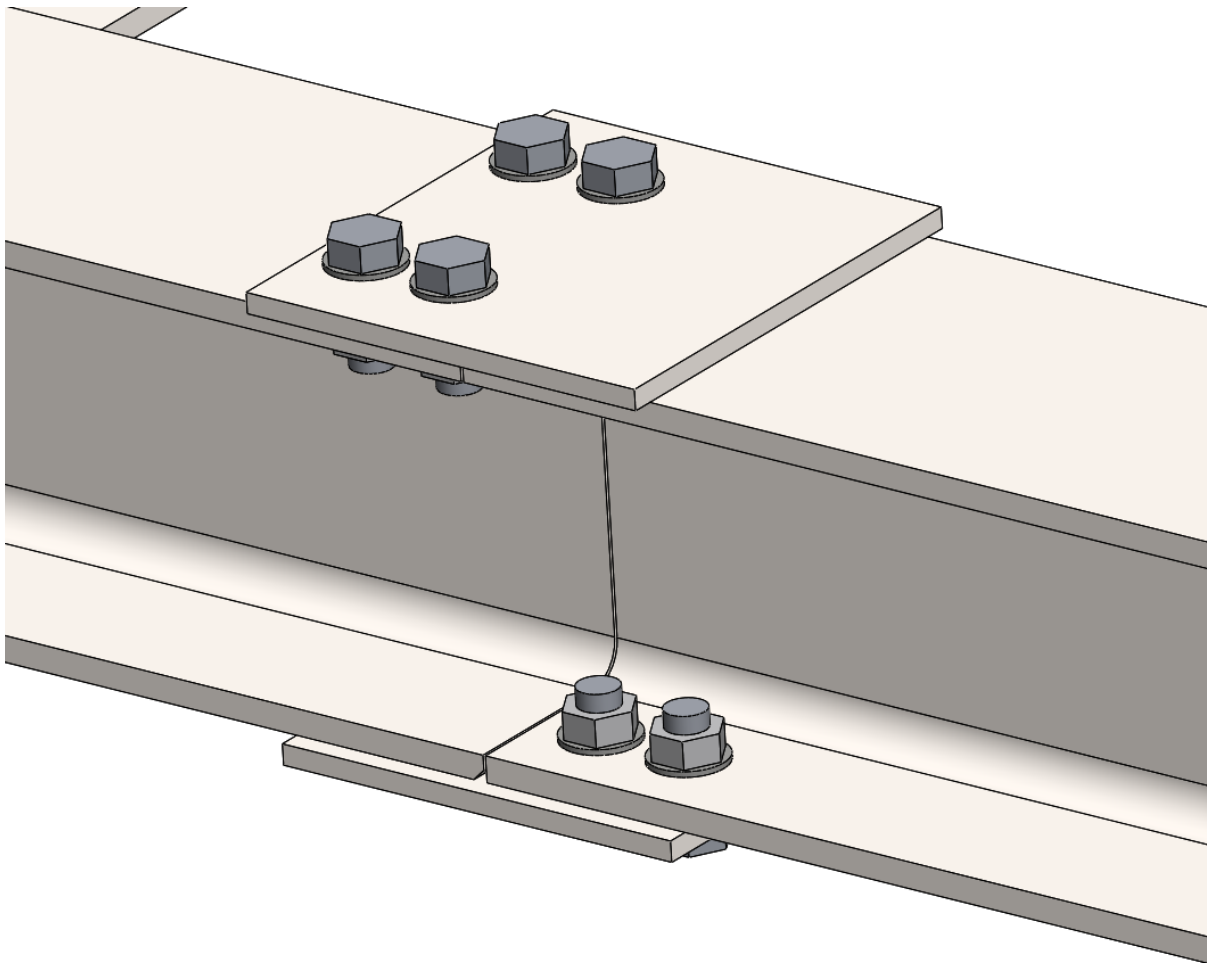


Figure 3: Overview of the HEB profile to HEB profile connection

An overview of the relevant specifications of the M30 bolts is given in Table 1.

Table 1: Specifications of the M30 bolts

bolt type		M24
strength class		10.9
Pre-tension per bolt	F_{pre} [kN]	250.00
Cross sectional area M30	A_s [m ²]	5.61E-04
Yield strength	σ_{yield} [Mpa]	940

5.1.3 HEB profile to concrete plate connection

In Figure 4, an overview of the HEB300 profile to concrete plate connection is shown. A UNP180 profile {5} is mounted on the concrete plate with two M20 bolts {6}. On top of the UNP Profile a plate is welded {4}. The HEB300 profile {1} is mounted on top of this plate via two M20 bolts {2}. In between the HEB300 profile and the welded plate, additional plates {3} can be mounted in order to adjust the height of the HEB300 profile.

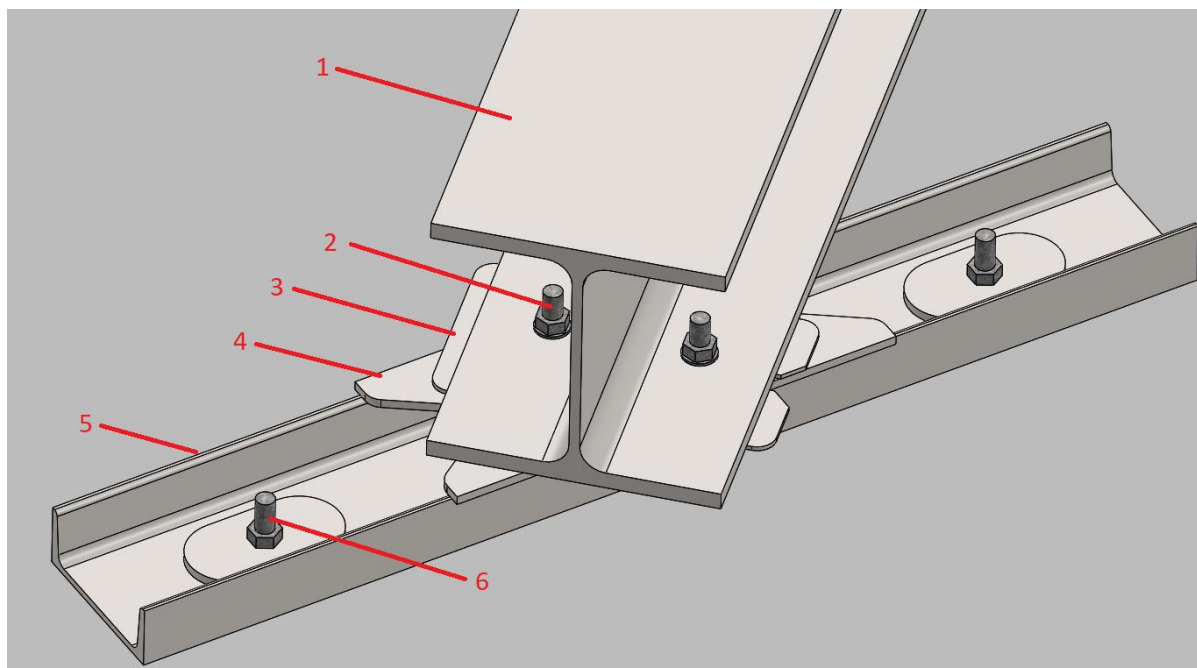


Figure 4: HEB300 to concrete plate connection

In Figure 5, a side view of the UNP profile is shown. The head of the two M20 bolts {1} are secured via a bracket {3}. Also, bushings {2} are located between the bolt head and the welded plate.

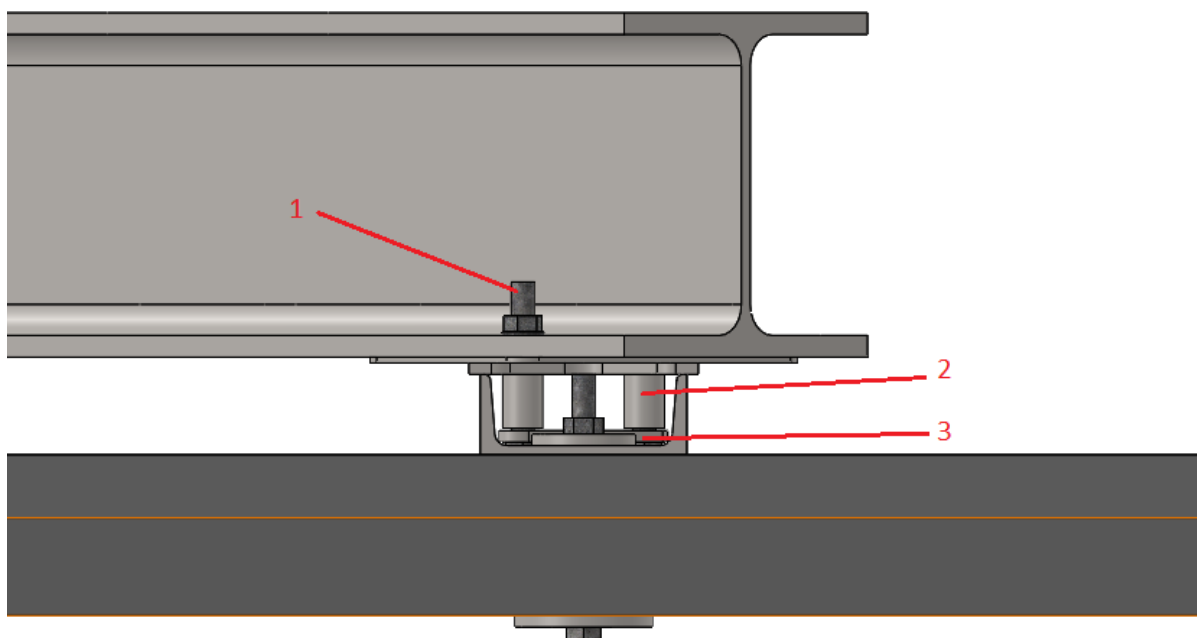


Figure 5: Side view of the HEB300 to concrete plate connection

More details about this connection are shown in drawing 83501.

5.1.4 HEB profile to pile connection

In Figure 6, an overview of the connection between the H-beam and pile is shown. For the pile, a steel tube is used. A plate is welded to the bottom of the pile, to ensure that the bottom of the pile is closed. After the pile is driven into the soil, it is filled with concrete. Two M20 threads, which are anchored in the concrete, are used to connect the pile to the HEB-profile.

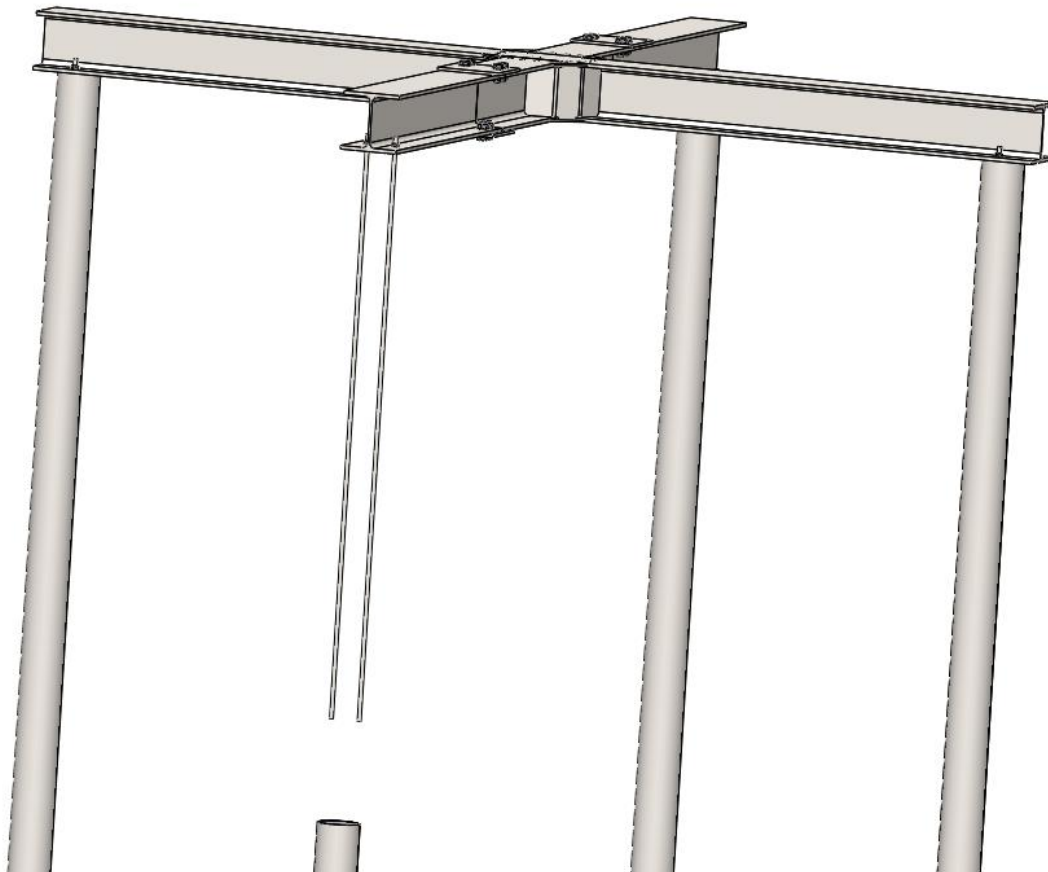


Figure 6: HEB Profile to pile connection

The relevant specifications of the M20 threads are shown in Box 1.

Box 1: Relevant specifications of the M20 thread

Number of threads	n_{thread}	2	-
Length of thread	l_{thread}	3000	mm
Unused length	$l_{thread_{unused}}$	250	mm
Effective length	$l_{thread_{effective}}$	2750	mm
cross sectional area	$A_{s_{M20}}$	245	mm ²
Pre-tension	F_{pre}	37500	N

The relevant specifications of the pile are shown in Box 2.

Box 2: Relevant specifications of the pile

Outer diameter	D_{pile}	219.1	mm
Thickness	t_{pile}	5	mm
Length		depending on the soil	
Type of steel		S235	
Inner diameter	d_{pile}	209.1	mm
Circumference concrete	$U_c = \pi * d_{pile}$	657	mm

Specifications of the concrete are shown in Box 3.

Box 3: Relevant specifications of the concrete

Characteristic cylindrical strength	f_{ck}	20	Mpa
Average cylindrical tensile strength	$f_{ctm} = 0.3 * f_{ck}^{(2/3)}$	2.21	Mpa
Characteristic lower limit tensile strength	$f_{ctk0.05} = 0.7 * f_{ctm}$	1.55	Mpa
Value for calculation	$f_{ctd} = f_{ctk0.05}/1.5$	1.03	Mpa

5.2 Dimensions

In Figure 7, an overview of the main dimensions of the foundation is shown.

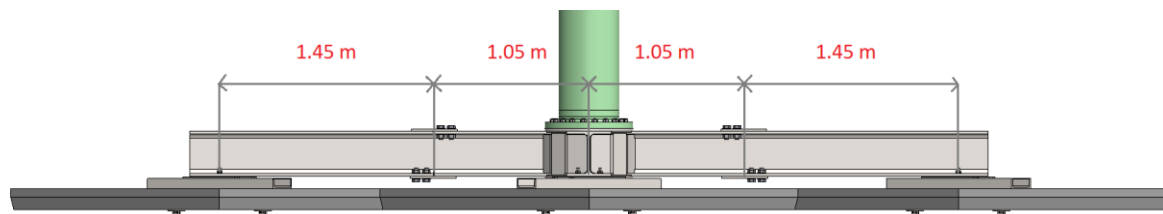


Figure 7: Main dimensions of the cross structure

In Figure 8, an overview of the relevant dimensions of the HEB300 profile to concrete plate connection is shown.

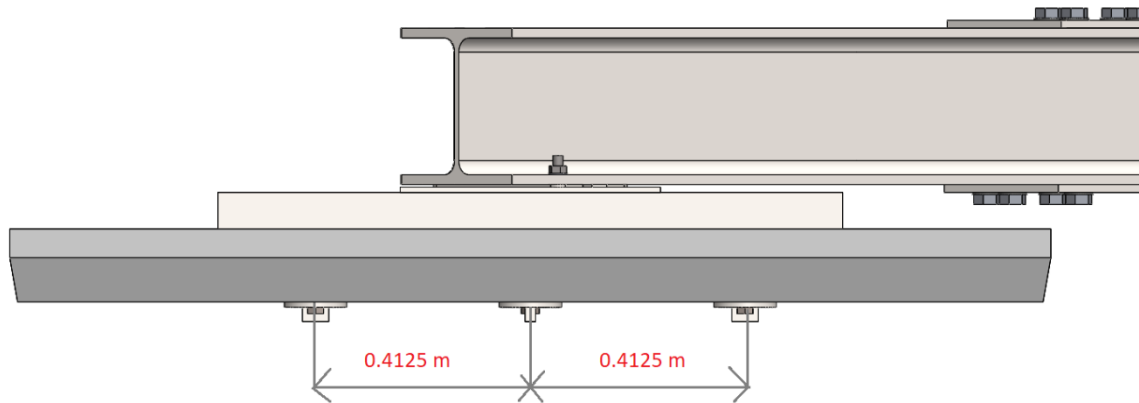


Figure 8: relevant dimensions of the HEB300 profile to concrete plate connection

The relevant geometric parameters for the HEB300 profile, UNP180 profile, and connection plate are shown in Table 2, Table 3, and Table 4.

Table 2: Relevant geometric parameters of the HEB300 profile

Section modulus HEB300	W_{HEB} [m ³]	1.68E-03
Cross-sectional area HEB300	A_{HEB} [m ²]	1.49E-02
Height of the HEB300 profile	h_{HEB} [m]	0.3

Table 3: Relevant geometric parameters of the UNP180 profile

Section modulus UNP180	W_{UNP} [m ³]	2.24E-05
Cross-sectional area UNP180	A_{UNP} [m ²]	2.80E-03
Distance from HEB profile to bolt	$d_{UNP-bolt}$ [m]	0.4125

Table 4: Relevant geometrical parameters of the connection plate

Thickness plate	t_{plate} [m]	0.015
Width plate	b_{plate} [m]	0.331
Cross sectional area	A_{plate} [m ²]	4.97E-03
Section modulus	W_{plate} [m ³]	1.24E-05

5.3 Materials

An overview of the materials of the foundations is shown in Table 5.

Table 5: Overview of materials

	HEB300 profile	UNP180 profile	connection plate
Materials	S235	S235	S235

5.4 Concrete plate

A top view of the concrete plate including the layout of reinforcement is shown in Figure 9. The steel rods used for reinforcement have a diameter of 8 mm.

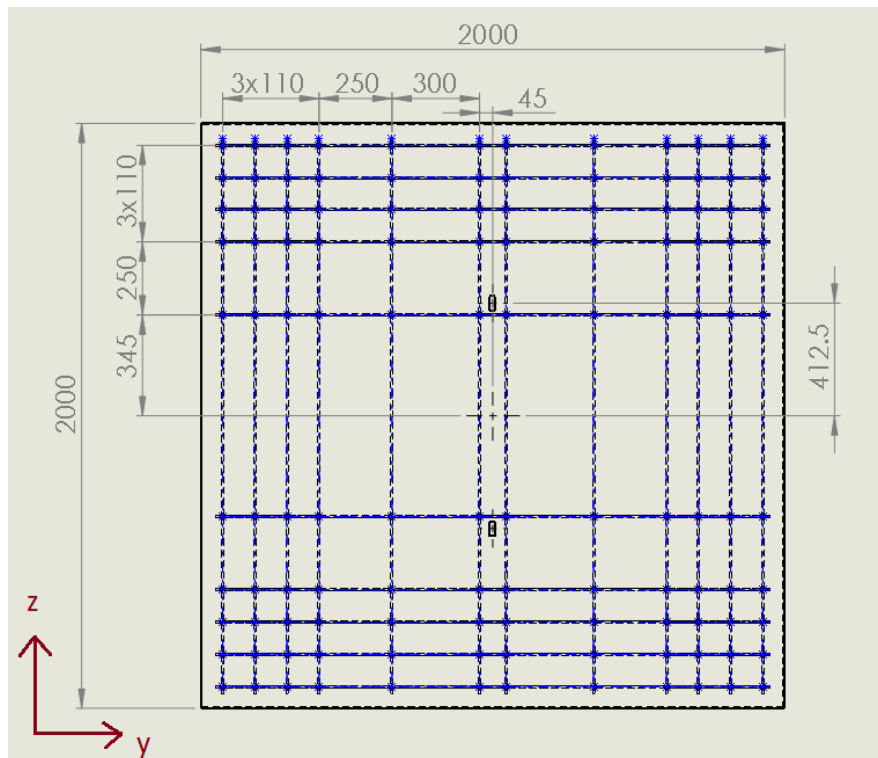


Figure 9: layout of the reinforcement

A section view of the concrete plate including the height of the reinforcement is shown in Figure 10.

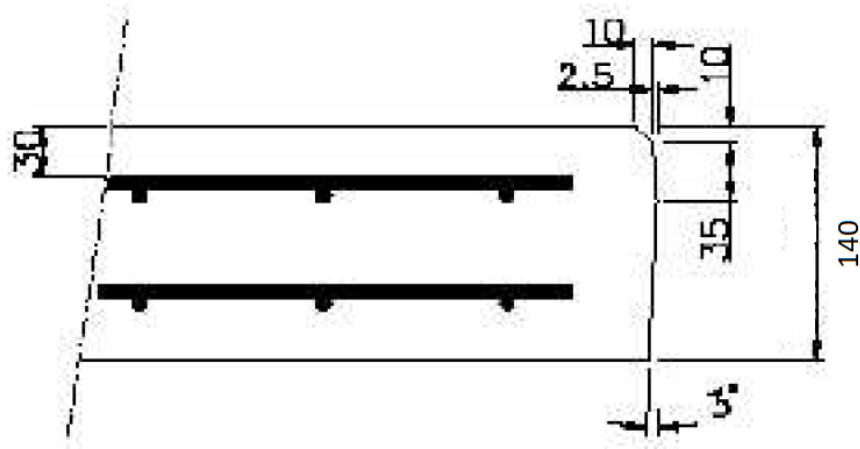


Figure 10: Height of the reinforcement

The UNP180 profile is connected to the concrete plate via two M20 bolts. These bolts are mounted through the holes in the concrete plate that are normally used for lifting purposes. These bolts are attached to two 120mm diameter plates (hereafter called D120 plates) which are located at the bottom of the concrete plate. The connection between the UNP180 profile and the concrete plate is shown in Figure 11 and Figure 12.

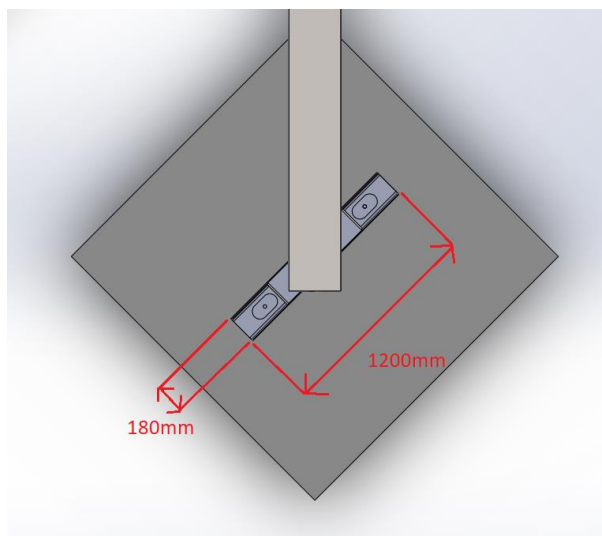


Figure 11: top view of the UNP180 profile to concrete plate connection

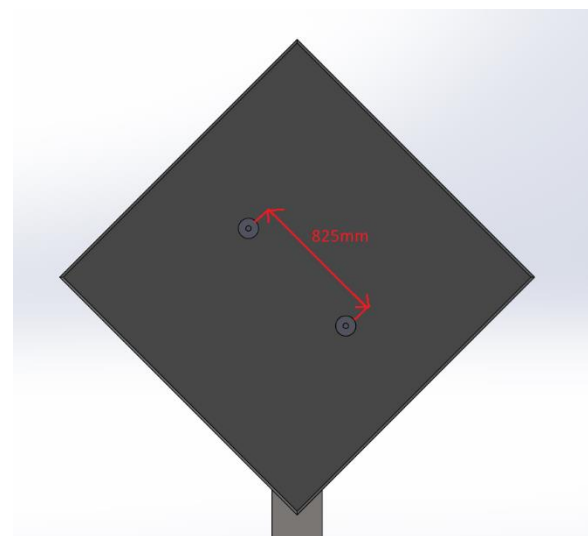


Figure 12: bottom view of the UNP180 profile to concrete plate connection

The position of the UNP180 profile and the D120 plates with respect to the center of the concrete plate is shown in Figure 13 and Figure 14 respectively.

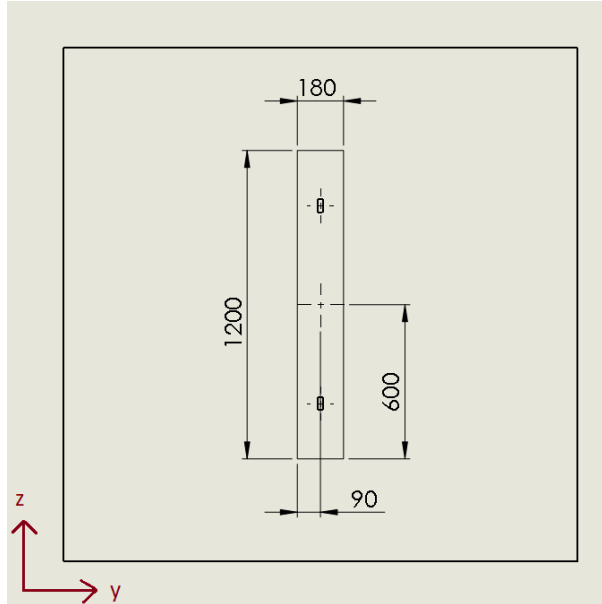


Figure 13: Position of the UNP180 profile

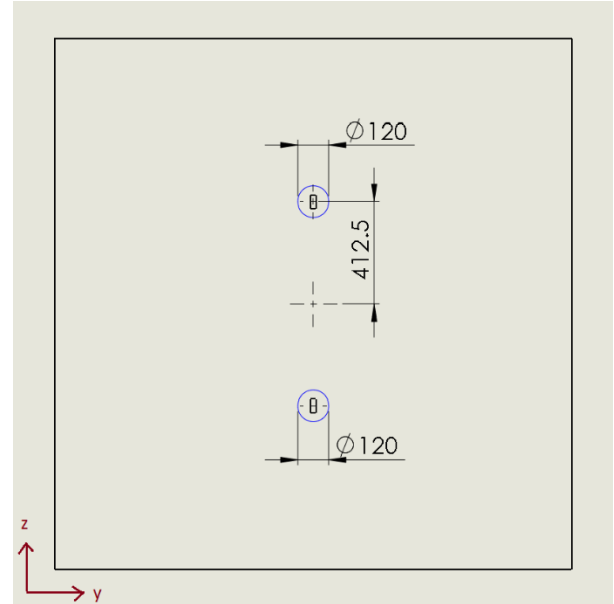


Figure 14: Position of the D120 plates

An overview of the dimensions used in further calculations is shown in Box 4.

Box 4: overview of characteristic dimensions

concrete quality		C50/60
steel quality		B 500
environmental class		XC4
width of concrete plate	b	2000.00 mm
height of concrete plate	h	140.00 mm
concrete cover at the upper side	C _{upp}	30.00 mm
concrete cover at the lower	C _{low}	30.00 mm
reinforcement at the upper side along y axis	n _{upp}	12.00 -
	Ø _{upp}	8.00 mm
reinforcement at the lower side along y axis	n _{low}	12.00 -
	Ø _{low}	8.00 mm
cross sectional area of the steel rot at the upper side	D _{upp} =0,25π Ø _{upp} ²	50.27 mm ²
cross sectional area of the steel rot at the lower side	D _{low} =0,25π Ø _{low} ²	50.27 mm ²
total cross sectional area of steel at the upper side	A _{s,upp}	603.19 mm ²
total cross sectional area of steel at the lower side	A _{s,low}	603.19 mm ²
useful height in the y direction	d _y =h-c-0.5Ø _{low}	106.00 mm
useful height in the y direction	d _z =h-c-1.5Ø _{low}	98.00 mm
effective useful height	d _{eff} =(d _y + d _z)/2	102.00 mm

An overview of the material properties used in further calculations is shown in Box 5.

Box 5: overview of characteristic material properties

characteristic cylindrical pressure strength	f_{ck}	50.00	N/mm ²
characteristic cubical pressure strength	$f_{ck,cube}$	60.00	N/mm ²
average cylindrical pressure strength	$f_{cm}=f_{ck}+8$	58.00	N/mm ²
design value concrete pressure strength	$f_{cd}=f_{ck}/1,5$	33.33	N/mm ²
average cylindrical tensile strength	$f_{ctm}=0,3f_{ck} (2/3) \text{ if } f_{ck} \leq 50$	4.07	N/mm ²
average bending tensile strength	$f_{ctm,fl} = \max (1,6 - h/1000) f_{ctm} ; f_{ctm})$	5.94	N/mm ²
tensile strength lower limit	$f_{ctk0,05}=0,7f_{ctm}$	2.85	N/mm ²
design value tensile strenght	$f_{ctd}=f_{ctk0,05}/1,5$	1.90	N/mm ²
Young's modulus concrete	$E_{cm} = 22000(f_{cm}/10)^{0.3}$	37277.87	Mpa
relative shortening concrete	$\epsilon_{c3}=1,75+0,55 [(f_{ck} - 50) / 40] \text{ if } f_{ck} \geq 50$	1.75	‰
relative shortening concrete	$\epsilon_{cu3} = 2,6 + 35 [(90-f_{ck}) / 100]^4 \text{ if } f_{ck} > 50$	3.50	‰
maximum relative concrete pressure zone	$k_{xu,max} = (1-x)/1,25(0,6+1,4/\epsilon_{cu3})$	0.45	-
factor in formula	x	0.44	-
factor area of concrete pressure zone	$\alpha = \{ \epsilon_{cu3} - (\epsilon_{c3} / 2) \} / \epsilon_{cu3}$	0.75	-
factor center point of concrete pressure zone	$\beta = \{ \epsilon_{c3}^2 - (\epsilon_{c3} * \epsilon_{cu3}) + \epsilon_{c3}^2 / 3 \} / \{ 2\epsilon_{cu3}^2 - \epsilon_{c3} \epsilon_{cu3} \}$	0.39	-
tensile strength steel	f_{yk}	500.00	N/mm ²
design value tensile strength	f_{yd}	435.00	N/mm ²
Young's modulus reinforcement steel	E_s	200000.00	N/mm ²
cross sectional area of reinforcement	$A_{sl} = A_{s,low}$	603.19	mm ²
minimum allowable reinforcement ratio	$\rho_{min} = 0,26 f_{ctm} / f_{yk} \geq 0,13\%$	0.21%	-
reinforcement ratio	$\rho = A_{sl} / b d * 100 < 2\%$	0.28%	-

Further specifications can be found in annex 12.1 and 12.2.

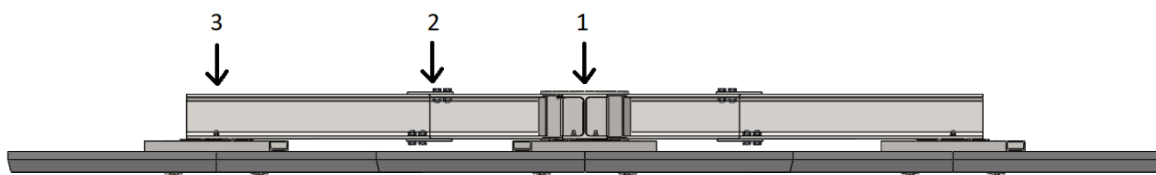
6 Calculation method

In this chapter the calculation method is presented. First all the critical locations at which strength is assessed are presented including their strength and safety factors. Next the method for calculating ultimate and fatigue strength is discussed. Some assumptions for calculating the loads are presented and the unit stresses are calculated in this chapter.

6.1 Critical locations

The structural evaluation is carried out for the most critical locations of the foundation. These are listed below and are shown in Figure 15. It should be noted that the fatigue strength evaluation will only be carried out for critical location 1a, 1b, 2c and 2d, as welds are the most prone to fatigue. The ultimate strength evaluation will be carried out for all critical locations.

1. Center of cross
 - a. HEB profile flange weld
 - b. Reinforcement plates weld
 - c. HEB profile
2. HEB profile to HEB profile connection
 - a. Connection plate
 - b. Bolt connection
 - c. Front weld
 - d. Side weld
3. End of cross
 - a. UNP profile (for concrete plate foundation)
 - b. Concrete plate (for concrete plate foundation)
 - c. HEB-profile to pile connection (for pile foundation)



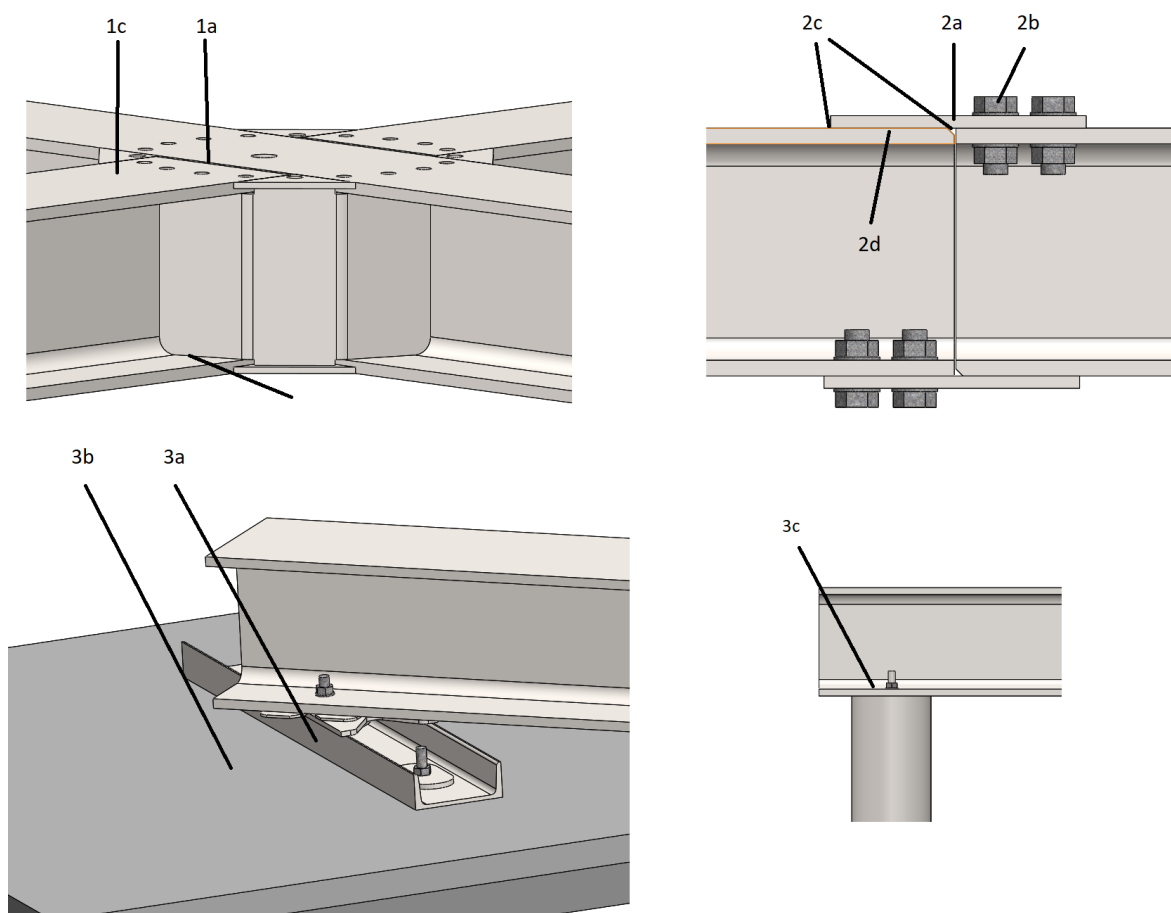


Figure 15: Overview of critical locations

For each critical location, the material fatigue and ultimate strength properties are shown in Table 6, Table 7 and Table 8.

Table 6: material fatigue and ultimate strength properties of location 1

1. Center of cross	1a. HEB profile flange weld	1b. Reinforcement plates weld	1c. HEB profile
detail category (5)	table 8.3 number 18	table 8.5 number 3	n.a.
Fatigue limit at 2E6 cycles $\sigma_{fat_{2E6}}$ [Mpa]	40	36*	n.a.
Yield strength σ_{yield} [Mpa]	235	235	235

Table 7: material fatigue and ultimate strength properties of location 2

2. HEB tot HEB profile connection	2a. Connection plate	2b. Bolt connection	2c. Front weld	2d. Side weld
detail category (5)	n.a.	n.a.	table 8.5 number 6	table 8.5 number 9
Fatigue limit at 2E6 cycles $\sigma_{fat_{2E6}}$ [Mpa]	n.a.	n.a.	36	80
Yield strength σ_{yield} [Mpa]	235	235	235	235

Table 8: material fatigue and ultimate strength properties of location 3

3. End of cross	3a. UNP profile	3b Concrete plate
detail category (5)	n.a.	n.a.
Fatigue limit at 2E6 cycles $\sigma_{fat_{2E6}}$ [Mpa]	n.a.	n.a.
Yield strength σ_{yield} [Mpa]	235	(see paragraph 5.4 for concrete properties)

6.2 Material safety factors

In accordance with IEC-61400-2 (1), the material safety factors as shown in Table 9 have been applied for ultimate and fatigue load evaluations.

Table 9: material safety factors

Material safety factor ultimate loads	$\gamma_{m_{ult}}$	1.1
Material safety factor fatigue loads	$\gamma_{m_{fat}}$	1.25

6.3 Ultimate strength evaluation

The ultimate strength was evaluated by the ratio of the highest occurring stress divided by the maximum allowable stress. The latter is the Yield strength reduced by the material safety factor for ultimate loads as described in paragraph 6.2. The loads required for this analysis are calculated using an aero-elastic model called FAST. Document 82218 describes in detail how this load set is calculated. The input for this load set is discussed in section 6.5 and 6.6. Chapter 7 gives an overview of these loads at the critical locations.

6.4 Fatigue strength evaluation

The fatigue strength of all the critical locations was determined based on EC3 (5). Hereby, a detail category was assigned to each of the critical locations. The results can be found in Table 6 and Table 7.

The fatigue damage has been determined in the following steps:

- Using FAST, the loads for several wind speeds were calculated. For the foundation, the loading at the tower bottom will be used. This is described in more detail in document 82218.
- For the critical locations that will be evaluated on fatigue strength, the unit stress has been determined. This is the stress as function of the tower bottom loading.

- A rain flow count method was applied. Hereby stress ranges have been divided into classes. For each class, the number of cycles was counted.
- A Weibull distribution was used to determine probability of each wind speed.
- For each stress range class, the number of cycles has been determined based on a lifetime of 20 years.
- The fatigue damages for one stress range class is the ratio of the number of cycles divided by the maximum allowable cycles for the given stress range class. Hereby, the material safety factor for fatigue loading as described in paragraph 6.2. has been applied.
- The total fatigue damage is the sum of the fatigue damage from all stress range classes. The result of this evaluation is presented in Chapter 9.

6.5 Foundation orientation

The tower bottom moment can occur in every direction with respect to the foundation. For this structural analysis, the worst case scenario must be evaluated. To determine the direction which leads to the worst case scenario, a comparison is made between two possible directions: one where the direction of the tower bottom moment is in line with the HEB300 profile, and one where it is in between the HEB300 profiles. This is shown in Figure 16 and Figure 17 respectively. Hereby, the red arrow indicates the direction of the tower bottom moment.

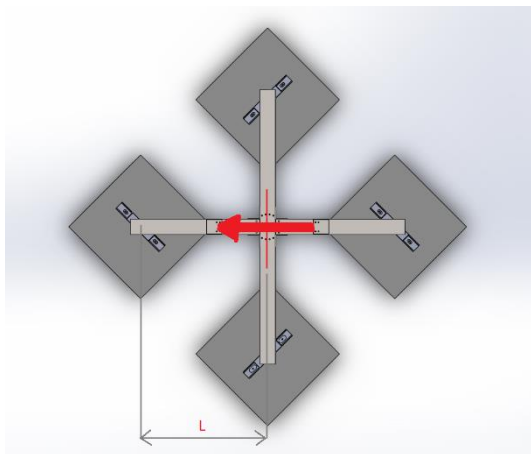


Figure 16: Moment direction is in line with HEB300 profile

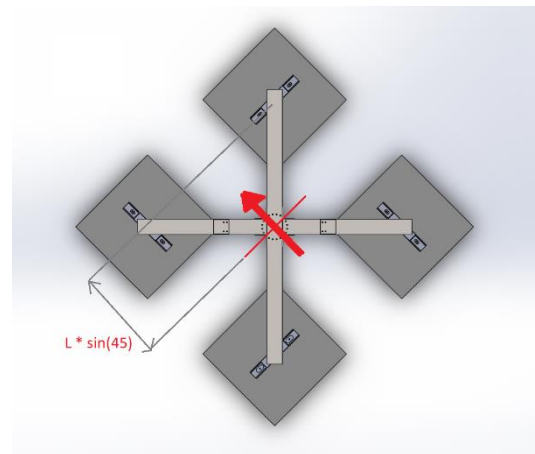


Figure 17: moment direction is in between the HEB300 profiles

In the situation of Figure 16, the reaction force is given by just one end of the cross. This reaction force becomes:

$$F_{reaction} = \frac{M}{L}$$

In the situation of Figure 17, the reaction force is given by two ends of the cross. The reaction force per cross-end becomes:

$$F_{reaction} = \frac{M}{2 \cdot \sin(45) \cdot L} = 0.707 \cdot \frac{M}{L}$$

This means that the situation where the direction of the moment is in line with the HEB300 profile leads to the highest reaction force at the end of the cross. Therefore, this situation will be used for further calculations.

6.6 Load transmission

An overview of the loads and reaction forces on the foundation are shown in Figure 18. The loads that act on the center of the foundation are:

- Tower bottom moment, which results from external loading (M_{tb})
- Vertical force, which results from the mass of the turbine (F_{mass})

These loads are transmitted throughout the span of the foundation. The equations for the vertical force and moment at each of the critical locations are shown in Table 10 and Table 11. Hereby:

- Table 10 shows the calculations for the vertical force and moment resulting solely from the tower bottom moment. This will be used for the fatigue load evaluation, as the tower bottom moment is a varying load which results from external loading
- Table 11 shows the calculations for the vertical force and moment resulting solely from the mass force from the turbine. This is a permanent loading. For the ultimate load evaluation, the loads from both the tower bottom moment and the mass force are used.

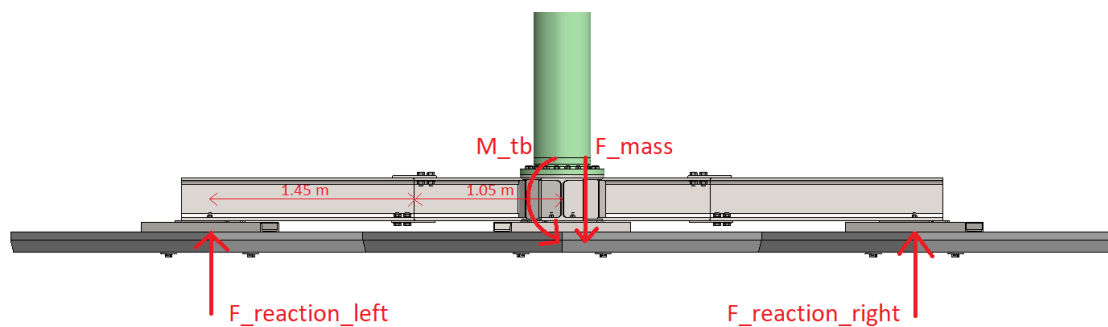


Figure 18: Overview of loads and reaction forces on the foundation

Table 10: Transmission of loads from the tower bottom moment

		Left side		Center	Right side	
		3. End of cross	2. HEB profile to HEB profile connection	1. Center of cross	2. HEB profile to HEB profile connection	3. End of cross
vertical force	[kN]	$F_{vert} = F_{reaction_{left}}$ $= \frac{M_{tb}}{5m}$	$F_{vert} = F_{reaction_{left}}$	$F_{vert} = F_{reaction_{left}}$	$F_{vert} = F_{reaction_{right}}$	$F_{vert} = F_{reaction_{right}}$ $= \frac{M_{tb}}{-5m}$
moment	[kN]	$M = F_{reaction_{left}} * 0m$	$M = F_{reaction_{left}} * 1.45m$	$M = F_{reaction_{left}} * 2.5m$	$M = F_{reaction_{right}} * 1.45m$	$M = F_{reaction_{right}} * 0m$

Table 11: Transmission of loads from the turbine mass

		Left side		Center	Right side	
		3. End of cross	2. HEB profile to HEB profile connection	1. Center of cross	2. HEB profile to HEB profile connection	3. End of cross
vertical force	[kN]	$F_{vert} = F_{reaction_{left}} = \frac{F_{mass}}{4}$	$F_{vert} = F_{reaction_{left}}$	$F_{vert} = F_{reaction_{left}}$	$F_{vert} = F_{reaction_{right}}$	$F_{vert} = F_{reaction_{right}} = \frac{F_{mass}}{4}$
moment	[kN]	$M = F_{reaction_{left}} * 0m$	$M = F_{reaction_{left}} * 1.45m$	$M = F_{reaction_{left}} * 2.5m$	$M = F_{reaction_{right}} * 1.45m$	$M = F_{reaction_{right}} * 0m$

6.7 Unit stresses

For the 3 locations which will be evaluated on fatigue strength, the unit stress has been determined. These locations are:

- 1a. HEB beam flange weld
- 1b. Reinforcement plate weld
- 2c. Front weld
- 2d. Side weld

For location 1a and 1b the unit stresses have been determined using Final Element Model (FEM) analysis. Hereby 2 FEM simulations (simulation 2 and 3) have been used. An overview of the most relevant input parameters of these FEM analyzes is shown in Table 12. For location 2c and 2d, an analytical calculation has been used.

Table 12: Overview of FEM simulations

	simulation 2	simulation 3
Tower top loading	No loading	6578.9N (resulting in a moment of 190 kNm at the tower bottom)
Tower to foundation connection	Bolted connection with minimum pre-tension of 192.5 kN per bolt	Bolted connection with maximum pre-tension of 269.5 kN per bolt
HEB profile to HEB profile connection	nominal pre-tension of 250 kN	nominal pre-tension of 250 kN
Support	Vertical and horizontal support at all 4 ends of the foundation.	

6.7.1 Unit stress from pre-tension

Critical locations 1a and 1b are subjected to stresses due to pre-tension of tower bottom flange bolts. Therefore, the unit stress from pre-tension has been determined for these locations. This has been done by FEM simulation 2. The results are shown in Table 13. The used equation is shown in Box 6. The FEM results can be seen in more detail in Annex 12.3.

Table 13: Determination of unit stresses from pre-tension

		1a. HEB beam flange weld	1b. Reinforcement plate weld
Stress from pre-tension (from simulation 2)	σ_{pre} [Mpa]	32.3	44.2
Unit stress from pre-tension	s_{pre} [Mpa]	0.1678	0.230

Box 6

Unit stress from by pre-tension:	$s_{pre} = \frac{\sigma_{pre}}{F_{pre}}$
----------------------------------	--

6.7.2 Unit stress from external loading

The unit stress from external loading for critical location 1a and 1 b has been determined through FEM simulation 3. The results are shown in Table 14. The used equations are shown in Box 7. Hereby, it should be noted that the unit stresses are defined as a function of the bending moment at the tower bottom. More detailed results of FEM simulation 3 can be seen in Annex 12.4.

Table 14: Determination of from external loading for location 1a and 1b

		1a. HEB profile flange weld	1b. Reinforcement plate weld
Total stress (from simulation 3)	σ_{tot} [Mpa]	80	91
Stress from external load	σ_{ext} [Mpa]	34.78	29.12
Unit stress from external load	s_{ext} [Mpa/kNm]	0.1831	0.1533

Box 7

Stress from external load:	$\sigma_{ext} = \sigma_{tot} - s_{pre} * 269.5kN$
Unit stress from external load:	$s_{ext} = \frac{\sigma_{ext}}{190 kNm}$

For location 2c the unit stress from external loading has been determined based on analytical calculations. The results are shown in Table 15 and the corresponding calculations in Box 8. Hereby:

- A tower bottom moment of 100 kNm was used for the purpose of this calculation
- It is assumed that:
 - o The horizontal force at the welds are taken up by the side welds
 - o The vertical force at the welds is taken up by the front weld

Table 15

		2c. Front weld	2d. Side weld
Tower bottom moment range	M_{tb} [kNm]	100	
moment at location 2	M [kNm]	29	
shear force at location 2	F_{vert} [kN]	20	
Horizontal force at weld	$F_{hor_{weld}}$ [kN]	-	96.67
Vertical force at weld	$F_{vert_{weld}}$ [kN]	10	-
Stress from external loading	σ_{ext} [Mpa]	7.86	40.28
Unit stress from external loading	s_{ext} [Mpa/kNm]	0.0786	0.4028

Box 8

Moment at location 2:	calculated as described in paragraph 6.6
Shear force at location 2:	calculated as described in paragraph 6.6
Horizontal force at weld:	$F_{hor_{weld}} = \frac{M}{h_{HEB}}$
Vertical force at weld:	$F_{vert_{weld}} = \frac{F_{vert}}{2}$
Stress from external loading (for front weld):	$\sigma_{ext} = \sqrt{\left(\frac{F_{vert_{weld}}}{0.006m * 0.3m}\right)^2 + \left(\frac{F_{hor_{weld}}}{0.006m * 0.3m}\right)^2}$
Stress from external loading (for side weld):	$\sigma_{ext} = \frac{F_{hor_{weld}}}{2 * 0.008m * 0.15m}$
Unit stress from external load:	$s_{ext} = \frac{\sigma_{ext}}{100 \text{ kNm}}$

7 Loads

All loads, ultimate and fatigue, are calculated using the aero-elastic FAST model as described in document 82218. In Table 16, the input loads for the ultimate load evaluation are shown. Hereby, the resulting tower bottom moment is a result of the external force and the vertical force is a result of the weight of the turbine.

Table 16: Overview of input loads for ultimate load evaluation

		Tower bottom
Resulting tower bottom moment xy	M_{tb} [kNm]	211.5
Vertical force from turbine masst	F_{mass} [kN]	60

The rain flow counted stress ranges over a lifetime of 20 years are shown in Annex 12.5. These are obtained as described in paragraph 6.4 and will be input for the fatigue strength evaluation.

8 Ultimate strength evaluation

8.1 Location 1: Center of cross

8.1.1 Evaluation of location 1a and 1b

The ultimate load evaluation of location 1a and 1b is shown in Table 17. The corresponding calculations are shown in Box 12Box 9.

Table 17: Evaluation of location 1a and 1b

		1a. HEB profile flange weld	1b. Reinforcement plates weld
Stress from pre-tension	σ_{pre} [Mpa]	45.22	61.88
Stress from external loading	σ_{pre} [Mpa]	38.72	32.42
Total stress	σ_{tot} [Mpa]	83.94	94.30
Evaluation	[-]	0.393	0.441

Box 9

Stress from pre-tension:	$\sigma_{pre} = F_{premax} * S_{pre}$
Shear stress:	$\sigma_{ext} = M * s_{ext}$
Equivalent stress:	$\sigma_{tot} = \sigma_{pre} + \sigma_{ext}$
Evaluation:	$\frac{\sigma_{tot}}{\sigma_{Yield}/\gamma_{m_{ult}}} > 1$

8.1.2 Evaluation of location 1c HEB profile

The ultimate load evaluation of location 1c is shown in Table 18. The corresponding calculations are shown in Box 10.

Table 18: Evaluation of the HEB profile

		1c. HEB profile
Moment	M [kN]	143.25
Vertical force	F_{vert} [kN]	57.3
Normal stress	σ [Mpa]	85.37
Shear stress	τ [Mpa]	3.84
Equivalent stress	σ_{eq} [Mpa]	85.63
Yield stress	σ_{yield} [Mpa]	235
Evaluation	[-]	0.401

Box 10

Moment:	Calculated as described in paragraph 6.6
Vertical force:	Calculated as described in paragraph 6.6
Normal stress:	$\sigma = \frac{M}{W_{HEB}}$
Shear stress:	$\tau = \frac{F_{vert}}{A_{HEB}}$
Equivalent stress:	$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$
Evaluation:	$\frac{\sigma_{eq}}{\sigma_{Yield}/\gamma_{m_{ult}}} > 1$

8.2 Location 2: HEB profile to HEB profile connection

For the ultimate loading at location 2, a bending moment and shear force at the connection have been considered (see Table 19) . These loads are transmitted from the tower bottom to location 2, which is explained in paragraph 6.6.

Table 19: Overview of ultimate loads at location 2

Transmitted loads to location 2		
shear force	F_{vert} kN	57.30
Moment	M kNm	83.09

8.2.1 Evaluation of location 1a. connection plate

The connection plate must be able to cope with the shear force and bending moment that occur at the HEB profile to HEB profile connection. A schematic overview of the forces on the connection plate is shown in Figure 19. The results are shown in Table 20, and the corresponding calculations in Box 11.

Table 20:

		2b. Bolt connection
Horizontal force:	F_{hor} [kN]	276.95
Vertical force:	$F_{vert_{plate}}$ [kN]	28.65
Distance center of plate to first bolt row	[m]	0.05
Moment	M_{plate} [kNm]	0.7163
Shear stress	τ [Mpa]	5.77
Normal stress	σ [Mpa]	113.48
Equivalent stress	σ_{eq} [Mpa]	113.92
Yield strenght	σ_{yield} [Mpa]	235
evaluation	[-]	0.533

Box 11

Horizontal force:	$F_{hor} = \frac{M}{h_{HEB}}$
Vertical force:	$F_{vert_{plate}} = F_{vert_{HEB}}/2$
Moment:	$M_{plate} = 0.05m * F_{vert_{plate}}/2$
Shear stress:	$\tau = \frac{F_{vert_{plate}}}{A_{plate}}$
Normal stress:	$\sigma = \frac{F_{hor}}{A_{plate}} + \frac{M_{plate}}{W_{plate}}$
Equivalent stress:	$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$
Evaluation:	$\frac{\sigma_{eq}}{\sigma_{Yield}/\gamma_{mult}} > 1$

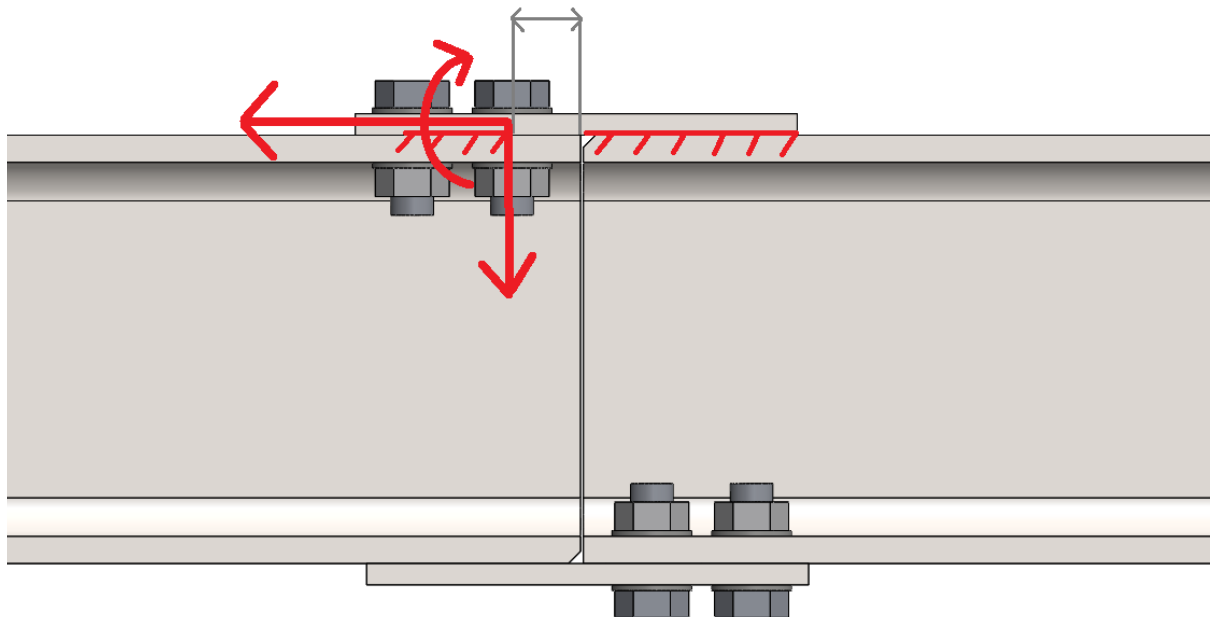


Figure 19: Schematic overview of the forces on the connection plate

8.2.2 Evaluation location 2b. bolts

The bolt has been evaluated two aspects:

- The capability to cope with the reaction force at the connection plate
- Bolt strength

The results are shown in Table 21. The corresponding calculations are shown in Box 12.

Table 21: Evaluation of the M30 bolts

Bolt pre-tension		
Friction coefficient steel/steel	f_{fric} [-]	0.50
Friction force	F_{fric} [kN]	500.00
Horizontal force at the connection plate	F_{hor} [kN]	276.95
Evaluation of the pre-tension	[-]	0.554

Bolt stress		
Normal stress	σ [Mpa]	445.63
Yield strength	σ_{yield} [Mpa]	940.00
Evaluation of bolt strength	[-]	0.521

Box 12

Friction force:	$F_{fric} = f_{fric} * 4 * F_{pre}$
Evaluation of pre-tension:	$\frac{F_{hor}}{F_{fric}} > 1$
Normal stress:	$\sigma = \frac{F_{pre}}{A_s}$
Evaluation:	$\frac{\sigma}{\sigma_{yield}/\gamma_{mult}} > 1$

8.2.3 Evaluation of location 2c and 2d

The weld at location 2c and 2d must be able to cope with the horizontal force and vertical force at the connection plate. As described earlier in paragraph 6.7.2, the assumption is made that:

- The horizontal force at the welds are taken up by the side welds
- The vertical force at the welds is taken up by the front weld

The results are shown in Table 22, and the corresponding calculations in Box 13.

Table 22: Ultimate load evaluation of location 2c and 2d

		2c. Front weld	2d. Side weld
Horizontal force at weld	$F_{hor_{weld}}$ [kN]	-	276.95
Vertical force at weld	$F_{vert_{weld}}$ [kN]	28.65	-
Stress	σ [Mpa]	22.51	115.40
Evaluation	[-]	0.105	0.540

Box 13

Vertical force at weld:	$F_{vert_{weld}} = \frac{F_{vert}}{2}$
Stress (front weld)	$\sigma = \sqrt{\left(\frac{F_{vert_{weld}}}{0.006m * 0.3m}\right)^2 + \left(\frac{F_{vert_{weld}}}{0.006m * 0.3m}\right)^2}$
Stress (side weld)	$\sigma = \frac{F_{hor_{weld}}}{2 * 0.008m * 0.15m}$
Evaluation:	$\frac{\sigma}{\sigma_{Yield}/\gamma_{m_{ult}}} > 1$

8.3 Location 3: End of cross

Depending on the value for the tower bottom moment, the reaction force at the end of the cross can be both upward or downward. The resulting downward and upward forces are shown in Table 23. These are obtained from the equations shown in paragraph 6.6.

Table 23: Resulting forces at location 3.

Reaction force downwards	[kN]	57.3
Reaction force upwards	[kN]	27.3

Location 3a. UNP profile is evaluated in paragraph 8.3.1. Location 3b and 3a are discussed in chapter 10 and 11 respectively.

8.3.1 Evaluation of 3a. UNP profile

the maximum stress at the UNP180 profile occurs when the HEB300 profile exerts a tensile force on the concrete plate. For this situation, an overview of the loading is shown in Figure 20. The evaluation is shown in Table 1 and the corresponding calculations in Box 14.

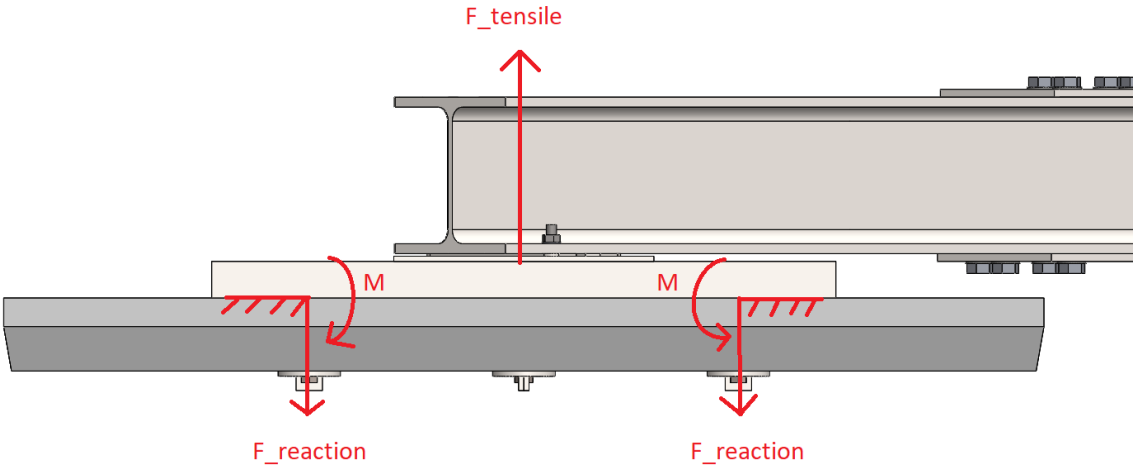


Figure 20: Overview of loading on UNP profile

Table 24: Ultimate load evaluation of location 3a

		3a. UNP profile
Reaction force:	$F_{reaction}$ [kN]	13.65
Bending moment:	M [kNm]	2.815
Normal stress	σ [MPa]	125.68
Shear stress	τ [MPa]	4.88
Equivalent stress	σ_{eq} MPa	125.97
Evaluation	[-]	0.590

Box 14

Reaction force:	$F_{reaction} = \frac{F_{tensile}}{2}$
Bending moment:	$M = \frac{F_{reaction} * d_{UNP-bolt}}{2}$
Normal stress:	$\sigma = \frac{M}{W_{UNP}}$
Shear stress:	$\tau = \frac{F_{reaction}}{A_{UNP}}$
Equivalent stress:	$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2}$
Evaluation:	$\frac{\sigma_{eq}}{\sigma_{yield} / \gamma_{m_{ult}}} > 1$

9 Fatigue strength evaluation

The fatigue strength evaluation of location 1a, 1b, 2c, and 2d is shown in Table 25.

Table 25: Fatigue strength evaluation

	1a. HEB profile flange weld	1b. Reinforcement plates weld	2c. Front weld	2d. Side weld
evaluation [-]	0.228	0.154	0.006	0.152

10 Evaluation of concrete plate

10.1 Concrete plate loading

In the extreme case, the concrete plate is subjected to

- A downward load which is distributed over the contact area between the UNP 180 profile and the concrete plate (shown in Figure 21)
- A upward load which is distributed over the area of contact between the D120 plates and the concrete plate (shown in Figure 22)

The highest internal bending moment arises from the downward loading combined with reaction q-load from the soil. This is shown in Figure 23. An overview of the ultimate loads on the concrete plate are shown in Table 26. Box 15 shows the equation used for the calculation of the bending moment in the concrete plate.

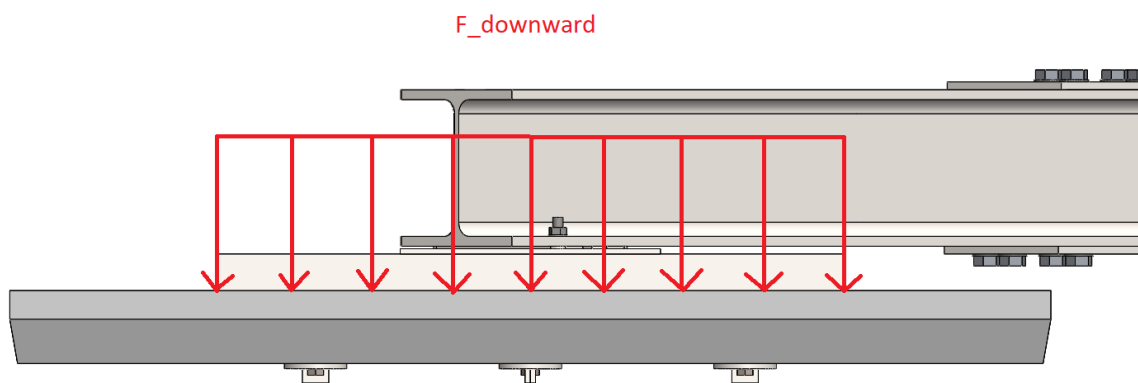


Figure 21: downward loading on the concrete plate

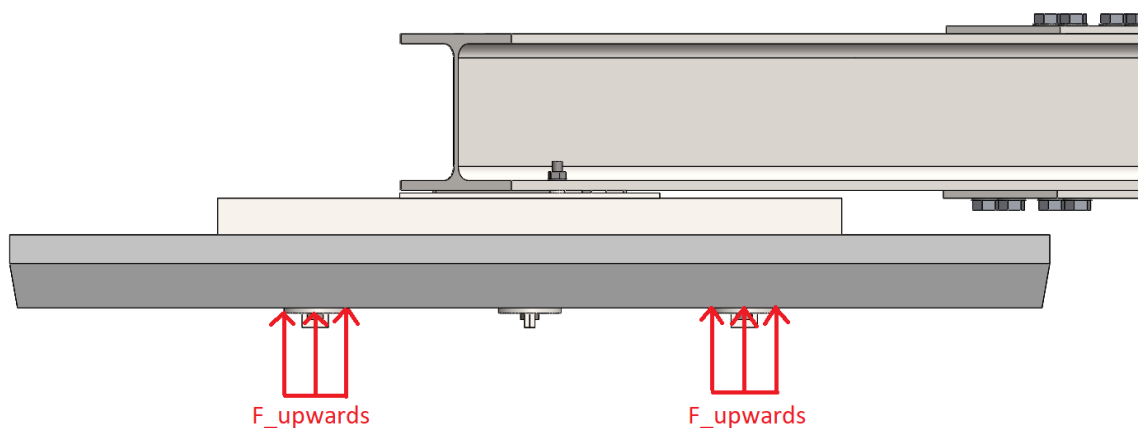


Figure 22: Upward loading on the concrete plate

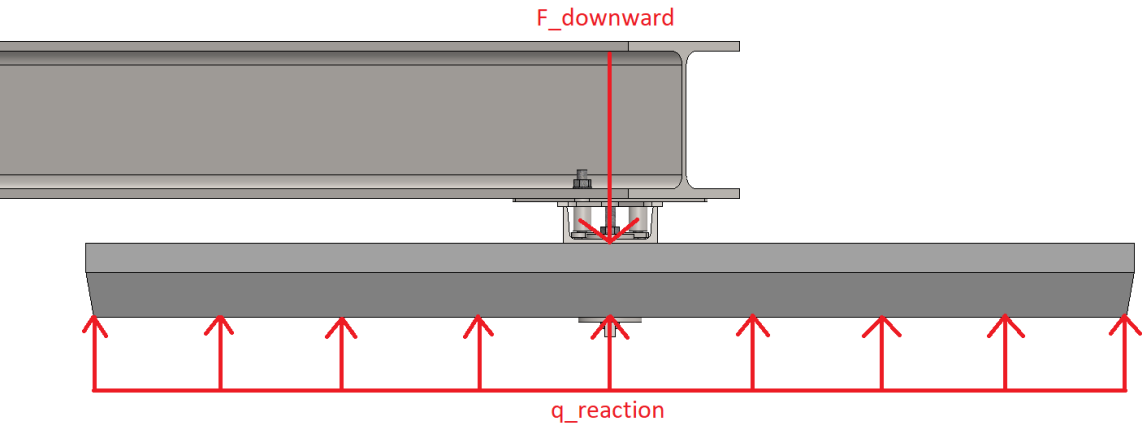


Figure 23: Downward loading and reaction q load of the ground

Table 26: Overview of concrete plate loads

		3b. Concrete plate
Vertical downward force from UNP180	F_{downward} [kN]	57.3
Vertical upward force from D120 plate	F_{upwards} [kN]	13.65
Reaction q -load from the soil (from downward force)	q_{reaction} [kN/m]	28.65
Moment in concrete plate	M [kNm]	14.33

Box 15

Width of the concrete plate:	$b = 2m$ (as described in Box 4)
Reaction force from the soil (from downward force):	$q_{\text{reaction}} = \frac{F_{\text{downward}}}{b}$
Moment in concrete plate:	$M = q_{\text{reaction}} * 0.5b * 0.25b$

10.2 Evaluation according to Eurocode 2

In the following sub-paragraphs, the concrete plate is evaluated based on the following aspects

- Punching resistance
- Bending moment

This evaluation is done based on Eurocode 2 (6).

10.2.1 Punching resistance evaluation

The evaluation of the punching resistance for the downward load is shown in Box 16. The evaluation of punching resistance for the upward load Box 17. Hereby, the y and z orientation are as shown in Figure 9, Figure 13, and Figure 14.

Box 16: evaluation of punching resistance for the UNP180 profile

factor	$k = 1 + \sqrt{200/d_{eff}} \leq 2,0$	2.00	-
dimension UNP profile	C_1	180.00	mm
dimension UNP profile	C_2	1200.00	mm
reinforcement ratio over the y-axis cross section	$\rho_{1y} = (4 \cdot D_{low}) / ((C_1 + 6d_{eff}))$	0.18%	
reinforcement ratio over the z-axis cross section	$\rho_{1z} = (8 \cdot D_{low}) / ((C_2 + 6d_{eff}))$	0.16%	
resulting reinforcement ratio	$\rho_1 = (\rho_{1y} \cdot \rho_{1z})^2$	0.17%	
factor	$C_{Rd,c} = 0,12$	0.12	-
design value punching resistance	$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3}$	0.49	N/mm ²
punching circumference	$u_1 = 2(C_1 + C_2) + 4\pi \cdot d_{eff}$	4041.77	mm
factor	$\beta = 1.15$	1.15	-
occurring load	V_{Ed}	57300.00	N
occurring shear stress	$v_{Ed} = \beta (V_{Ed} / (u_1 \cdot d_{eff}))$	0.124	N/mm ²
evaluation	$v_{Ed} / V_{Rd,c}$	0.124 / 0.49	0.253 -

Box 17: evaluation of punching resistance for the D120 plate

factor	$k = 1 + \sqrt{200/d_{eff}} \leq 2,0$	2.00	-
dimension D120 plate	C_1	120.00	mm
reinforcement ratio over the y-axis cross section	$\rho_{1y} = (4 \cdot D_{low}) / ((C_1 + 6d_{eff}))$	0.20%	
reinforcement ratio over the z-axis cross section	$\rho_{1z} = (3 \cdot D_{low}) / ((C_1 + 6d_{eff}))$	0.15%	
resulting reinforcement ratio	$\rho_1 = (\rho_{1y} \cdot \rho_{1z})^2$	0.17%	
factor	$C_{Rd,c} = 0,12$	0.12	-
design value punching resistance	$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3}$	0.49	N/mm ²
punching circumference	$u_1 = (C_1 + 4 \cdot d_{eff})\pi$	1658.76	mm
factor	$\beta = 1.15$	1.15	-
occurring load	V_{Ed}	13650.00	N
occurring shear stress	$v_{Ed} = \beta (V_{Ed} / (u_1 \cdot d_{eff}))$	0.091	N/mm ²
evaluation	$v_{Ed} / V_{Rd,c}$	0.091 / 0.49	0.186 -

10.2.2 Bending moment evaluation

The evaluation of the maximum occurring bending moment of is shown in Box 18.

Box 18: evaluation of bending moment

useful height	$d = h - C_{low} - 0,5\phi_{low}$	106.00	mm
height of concrete pressure zone	$x_u = [d - \sqrt{d^2 - 4 \beta M_{Ed} / (\alpha b f_{cd})}] / (2 \beta)$	4.90	mm
moment arm	$z = d - b x_u$	104.09	mm
maximum allowable bending moment	$M_{Rd} = A_{s,low} f_{yd} z$	27312.91	Nm
occurring bending moment	M_{Ed}	14330.00	Nm
evaluation	M_{Ed} / M_{Rd}	14330 / 27313	0.525 -

11 Evaluation of HEB-profile to pile connection

The HEB-profile to pile connection is evaluated on the following aspects:

- Evaluation of pre-tension
- Evaluation of horizontal force
- Evaluation of thread
- Evaluation of thread to concrete connection (based on Eurocode 2 (6))
- Evaluation of concrete to pile connection (based on Eurocode 2 (6))

In Box 19, it is demonstrated that the pre-tension is sufficient.

Box 19: Evaluation of pre-tension

External tensile force	$F_{tensile}$	27300	N
Pre-tension of both threads	$2 * F_{pre}$	75000	N
Evaluation	$\frac{F_{tensile}}{2 * F_{pre}}$	0.364	-

The connections capability to cope with the horizontal pile load is shown in Box 20.

Box 20: Evaluation of horizontal force

Horizontal loading	$F_{hor} = \frac{211.5 \text{ kNm}}{15\text{m} * 4}$	3525	N
Pre-tension minus external load	$2 * F_{pre} - F_{tensile}$	47700	N
Coëfficiënt of friction	μ	0.5	-
Friction force	$F_{fric} = (2 * F_{pre} - F_{tensile}) * \mu$	23850	N
Evaluation	$\frac{F_{hor}}{F_{fric}}$	0.148	-

The steel thread is evaluated in Box 21.

Box 21: Evaluation of steel thread

Stiffness factor	Φ	0.333	-
Pre-tension + external load	$F_{threat} = F_{pre} + \Phi * \frac{F_{tensile}}{2}$	42050	N
effective cross-sectional area	A_{sM20}	245	mm ²
Stress	$\sigma_s = F_{threat} / A_{sM20}$	171.6	Mpa
Yield strength	σ_{Yield}	640	Mpa
Evaluation	$\frac{\sigma_{Yield}}{\sigma_s}$	0.295	-

The evaluation of the connection between the steel thread and the concrete is shown in Box 22.

Box 22: Evaluation of steel thread to concrete connection

Stress of M20 thread	σ_s	171.6	Mpa
Maximum shear stress in attachment steel/concrete	$f_{bd} = 2.25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd}$	2.321	Mpa
Thread diameter	$\emptyset$	20	mm
Coefficient	η_1	1	-
Coefficient	η_2	1	-
Minimum required length	$l_{b,rqd} = (\emptyset/4) * (\sigma_s/f_{bd})$	370	mm
Effective length of thread	$l_{thread_{effective}}$	2750	mm
Evaluation	$l_{b,rqd}/l_{thread_{effective}}$	0.134	-

The evaluation of the connection between the concrete and the pile is shown in Box 23.

Box 23: Evaluation of concrete to pile connection

Effective length of thread	$l_{thread_{effective}}$	2750	mm
Number of threads	n_{thread}	2	-
Factor for connection to slick steel wall	c	0.0625	-
Shear stress capacity	$V_{rdi} = c * f_{ctd}$	0.0645	Mpa
Circumference inner pile	U_c	657	mm
Minimum required length	$L_c = (F_{pre}/(U_c * V_{rdi})) * n_{thread}$	1986	mm
Evaluation	$L_c/l_{thread_{effective}}$	0.722	-

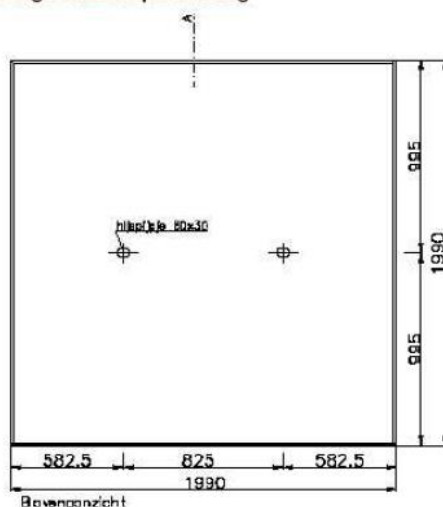
12 Annexes

12.1 Specification sheet concrete plate

vloerplaat industrie constructief met facetrand

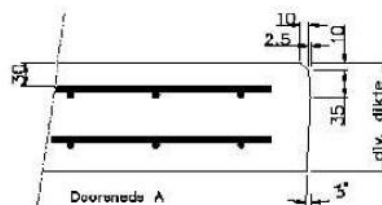
Afmetingen:

- l x b 1990x1990, 1990x1490, 1990x990 mm
- dikte 140 en 160 mm
- overige maten op aanvraag



Specificaties:

- sterkteklasse C50/60, NEN-EN 206-1 en NEN 8005
- KOMO-attest-met-productcertificaat K2415
- milieuklasse XC4, XD3 of XF4



Technische gegevens:

Structuur : Standaard een gesloten bezemstructuur.

Rand : Randafwerking splintervrij met facetrand 10x10 mm.

Maatvast : De Wernink vloerplaat voldoet aan de eisen zoals omschreven in de BRL 1104.

Wapening : Boven en onder wapening 8 mm. conform NEN 6720 hoofdstuk 9.

Hijsogen : 2 stalen rechthoekige hijsbuizen, afmetingen 60x30 mm.

Toelaatbare lasten:

Belastingklasse zoals omschreven in de BRL 1104.

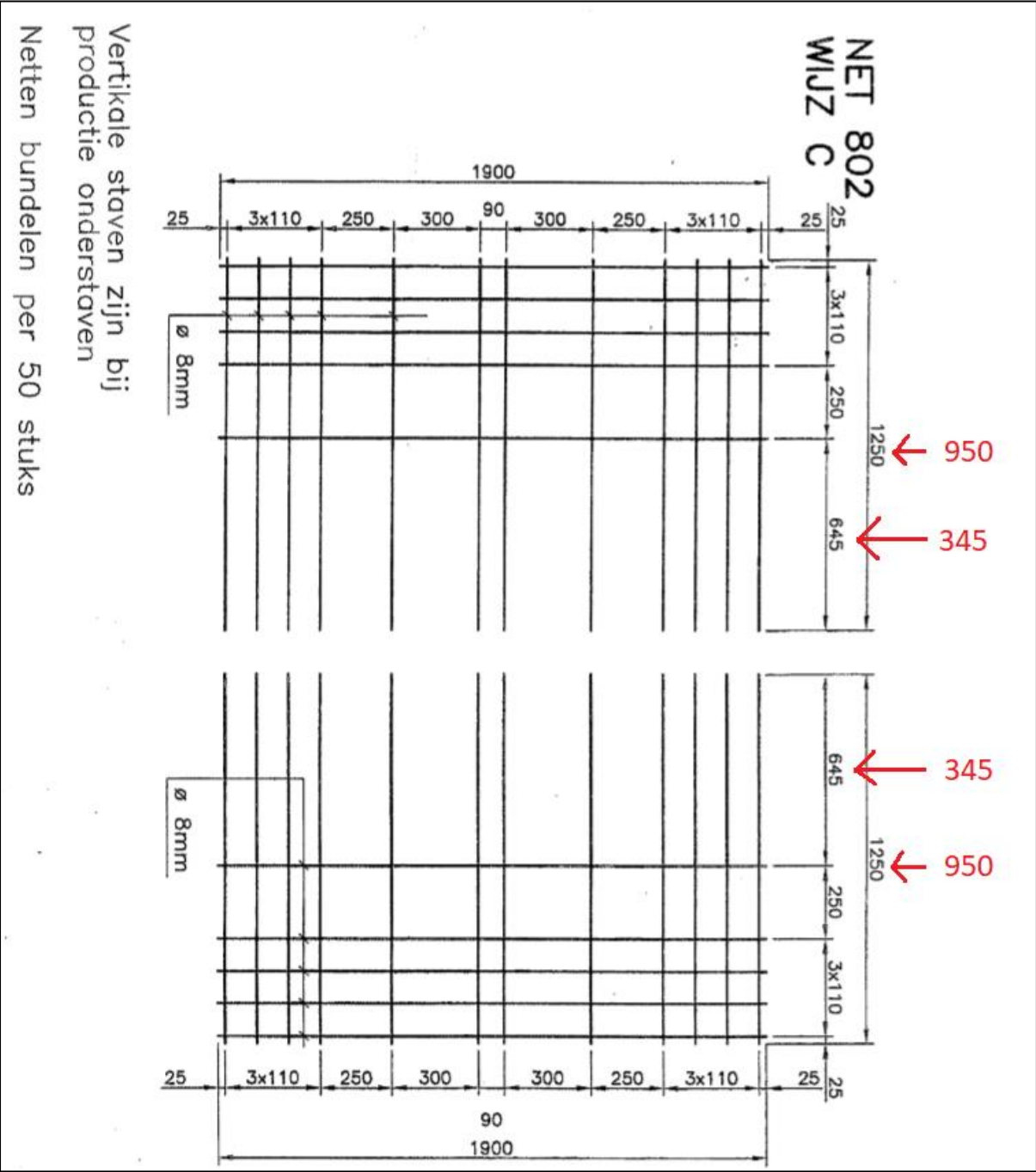
VERKEERSKLASSEN VRACHTWAGENS

KLASSE	DIKTE	GEWICHT	MAX. ASDRUK
600+	140 mm	1338 kg	220 kN – 22t
600+	160 mm	1530 kg	250 kN - 25t

HEFTRUCK EN PUNTLASTEN

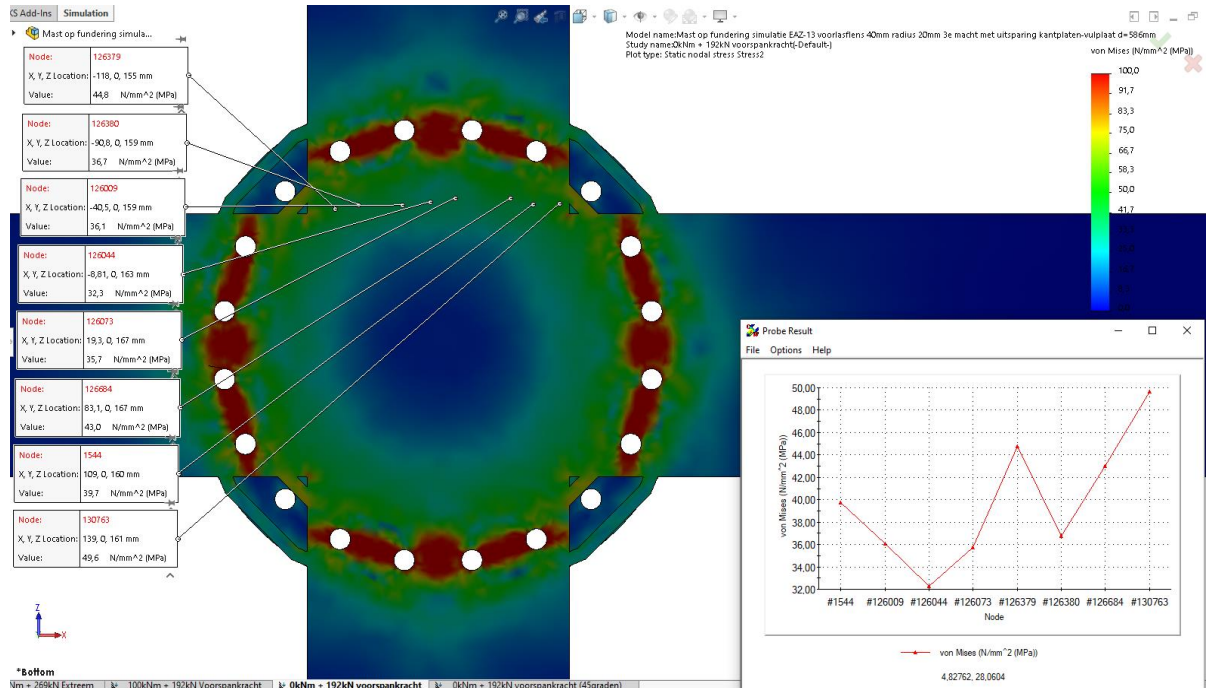
PLAATDIKTE IN MM:	140	160
Heftruck banden superelastisch	150 kN	160 kN
Heftruck banden massief	135 kN	145 kN
Puntlasten met opp. van 200x200 mm	95 kN	105 kN

12.2 Layout of the reinforcement

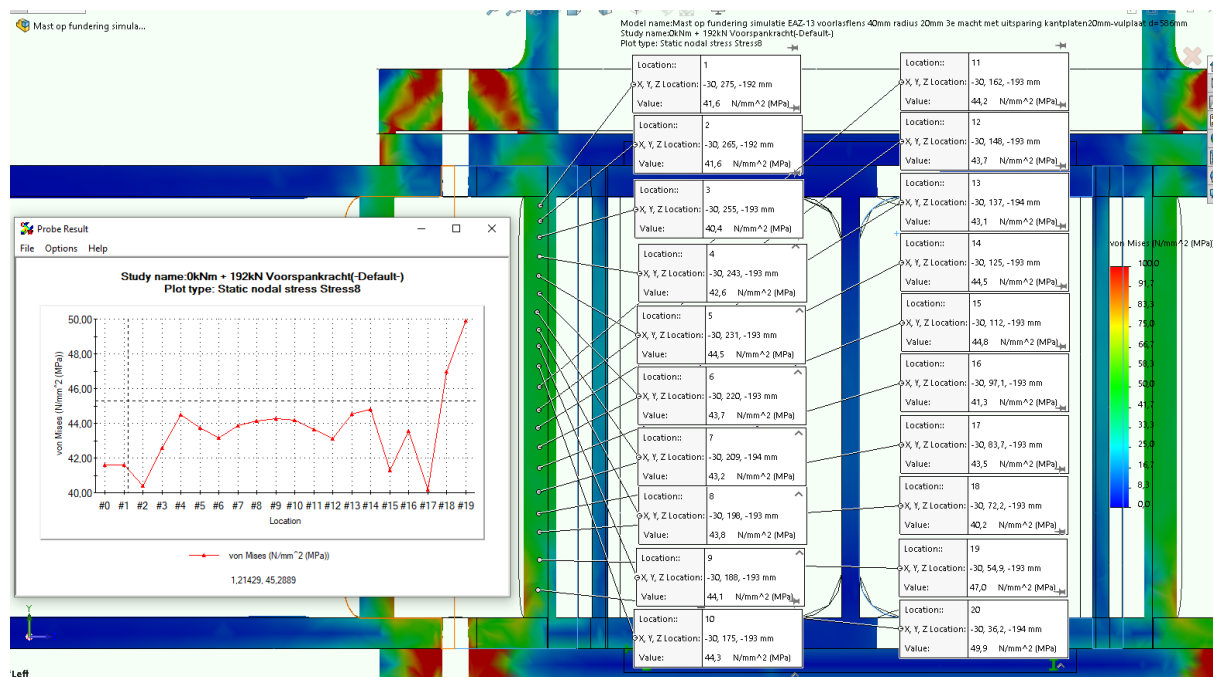


12.3 Results from FEM simulation 2

1a. HEB profile flange weld

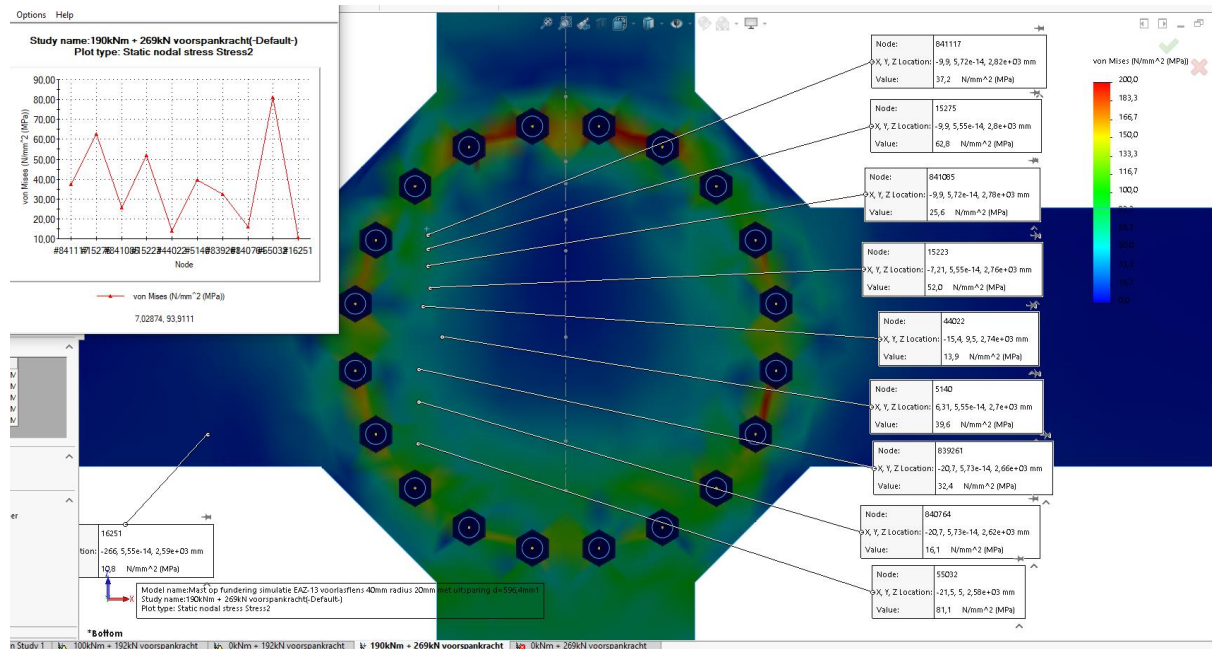


1b. Reinforcement plate weld

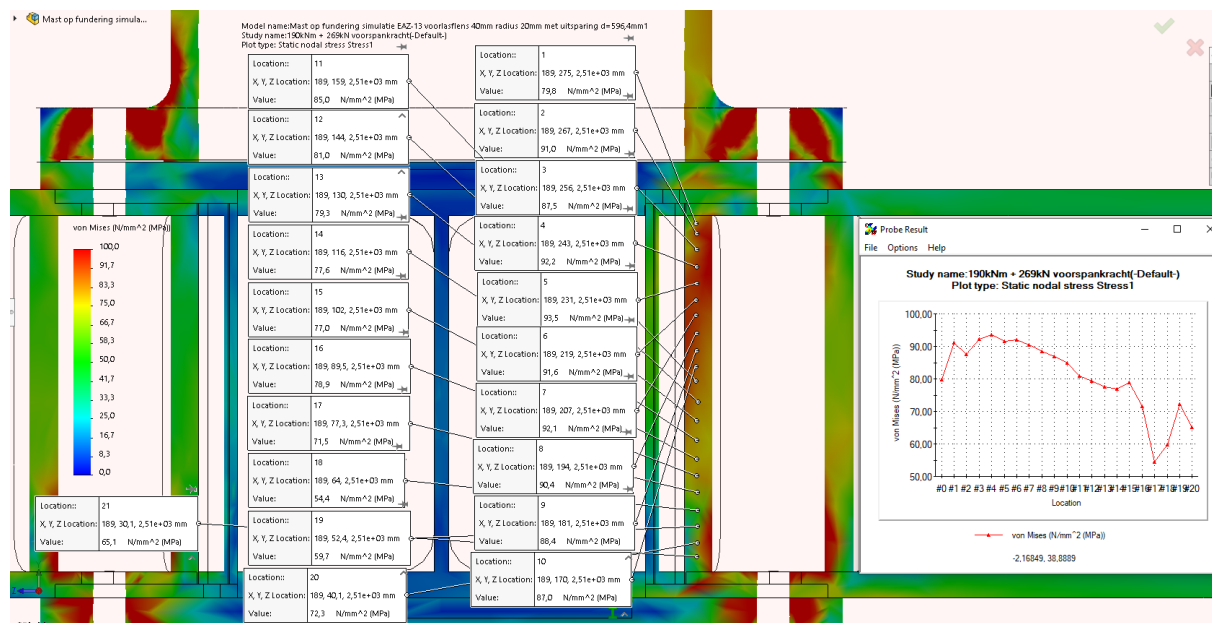


12.4 Results from FEM simulation 3

1a. HEB profile flange weld:



1b. Reinforcement plate weld:



12.5 Rain flow counts

Tower bottom	
range	cycles
[kNm]	[#]
4.4405	2.40E+09
8.881	6.64E+08
13.3215	2.16E+08
17.762	1.15E+08
22.2025	67622664
26.643	39916068
31.0835	23384474
35.524	12880586
39.9645	8308230
44.405	4338938
48.8455	3223132
53.286	2140896
57.7265	1768621
62.167	1404998
66.6075	1016515
71.048	1051479
75.4885	1033808
79.929	714609.1
84.3695	577524.5
88.81	635086.8
93.2505	436326.7
97.691	313372.6
102.1315	135587.4
106.572	135432.6
111.0125	54278.54
115.453	81939.93
119.8935	22562.24
124.334	37263.88
128.7745	32715.12
133.215	7158.159
137.6555	17315.84
142.096	4061.116
146.5365	0
150.977	0
155.4175	1548.521
159.858	0
164.2985	0
168.739	0
173.1795	0
177.62	1548.521

82218 Design loads EAZ-13.2_V3.0.docx

DESIGN LOADS EAZ-13.2 IEC-61400-2 WITH AEROELASTIC MODEL

BART VISSER

[Comments]

Version:	Author*	Chapter:	Info added/changed/deleted:	Date:	Lead engineer**	Operations mngr.	Certification mngr.
V1.0	BV		New document	14-jan-2021	BC		AD
V2.0	BV	5 7	Mass update (Table 3) DLC definition: 7.1 added (Table 8)	4-feb-2021	BC		AD
V3.0	BV	2 7	Reference 3. added DLC definition: comment at 22 m/s cases	10-mar-2021	BC		AD

**Or 2nd reviewer in case lead engineer is author)

*BV = Bart Visser

BC = Bart Claessen

AD = Aard Duivenvoorden



1 Contents

2 Introduction	2
3 Normative references.....	2
4 Terms and definitions	3
5 Turbine data.....	4
5.1 Turbine description.....	4
5.2 General data.....	5
5.3 Geometry.....	5
5.4 Masses.....	6
5.5 Rotor blade	7
5.6 Tower	8
5.7 Campbell diagram	9
5.8 Pitch system	10
5.9 Generator	12
6 Safety system.....	13
7 Design load cases.....	13
7.1 Wind class.....	13
7.2 Design Load cases.....	14
8 Loads.....	16
8.1 Fatigue loads	17
8.2 Ultimate loads.....	19
9 Annex A: FAST input files	24
10 Annex B: Airfoil data.....	30
11 Annex C: Pitch system input files.....	35
12 Annex D: Electrical brake torque.....	36
13 Annex E: Load case files	37
14 Annex F: Occurrence file	38
15 Annex F: DLC 7.1	39



2 Introduction

The EAZ-13.2 is a 15 [kW] direct drive wind turbine with passive yaw- and pitch system. The rotor diameter is 13.2 [m]. This document describes the design loads of the EAZ-13.2 wind turbine according to IEC 61400-2 ed. 3.0 (ref (1)) using a FAST V7 (ref (2)) aero-elastic model. The loads are calculated for wind class IV.

First the aero-elastic model and the applied load cases are described. The resulting design loads are documented using tables with fatigue equivalent and ultimate equivalent loads. The load set is version V174. The annexes include detailed information of the aeroelastic model and the load case files. Additional information about the aeroelastic model is given in ref. (3)

[Version 2] *The 2nd edition including some updates, e.g nacelle mass and DLC7.1.*

[Version 3] *This 3rd edition including some updates, e.g DLC1.1 explanation and reference 3 added for details of the EAZ13.2 FAST model setup.*

This document has a total of 39 pages and 7 annexes.

3 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

1. **IEC 61400-2 ed. 3 Wind turbines - Part 2: Small wind turbines. 2013.**
2. **Jonkman, Buhl. FAST User's Guide. 2005.**
3. **Visser, B. 82215 FAST_model&input EAZ-13.2_V3.0. 2021.**



4 Terms and definitions

The following abbreviations, terms and definitions apply.

V_{ref}	Reference wind speed [m/s]
V_{ave}	Annual average wind speed [m/s]
I_{15}	Turbulence at 15 [m/s] wind speed [%]
A	Turbulence model slope parameter [-]
NTM	Normal Turbulence Model
ECD	Extreme Coherent gust and Direction change
EOG1	Extreme Operation Gust, recurrence period of 1 year
EOG50	Extreme Operation Gust, recurrence period of 50 years
ECG	Extreme Coherent Gust
NCG	Normal Coherent Gust
NWP	Normal Wind Profile
EWM_1	Extreme Windspeed Model, with 1-year extreme wind speed
EWM_50	Extreme Windspeed Model, with 50-year extreme wind speed



5 Turbine data

5.1 Turbine description

The EAZ-13.2 is a 15 [kW] wind turbine with passive yaw- and pitch system. The rotor diameter is 13.2 [m]. The turbine operates with variable speed and has a direct drive PM generator with passive cooling. The power is supplied to the grid using a frequency converter.

The passive pitch system limits the aerodynamic power above rated wind speed. The blades are pitched by centrifugal and aerodynamics loads which interact with the springs and dampers of the pitch system. The three blades are connected with a gear pinion that synchronizes the pitch angles of the three blades

The EAZ-13.2 has a tail fin that aligns the rotor into the wind. The nacelle is supported by the tower top with a sliding yaw bearing.

The turbine has an electrical brake that also functions in case of a grid loss.

The EAZ-13.2 turbine is shown in Figure 1.



Figure 1 EAZ-13.2 wind turbine



5.2 General data

The general data of the EAZ-13.2 turbine is listed in Table 1.

Description	Value	Unit
Rotor diameter	13.2	[m]
Rotor surface	136.8	[m²]
Number of blades	3	[-]
Rotor position	Upwind	[-]
Hub height	15.0	[m]
Max. output power	15.0	[kW]
Max. output power speed	87.0	[rpm]
Rotation direction	Clockwise	[-]
Aerodynamic control	Pitch	[-]
Speed control	Variable speed	[-]
Yaw control	Tail fin	[-]
Cut in wind speed	2.5	[m/s]
Cut out wind speed	25.0	[m/s]
IEC design wind class	IV	[-]
Environment	Onshore	[-]

Table 1: General data of the EAZ-13.2 turbine

5.3 Geometry

The main geometry parameters of the EAZ-13.2 turbine are listed in Table 2. Detailed information is listed in Annex A: FAST input files

Description	Value	Unit
Rotor diameter	13.2	[m]
Hub height	15.0	[m]
Cone angle	0.0	[deg]
Tilt angle	4.0	[deg]
Rotor- to tower centre	0.935	[m]
Tail fin area	4.2	[m²]
Tail fin area- to tower centre	4.8	[m]

Table 2: Main geometry parameters of the EAZ-13.2 turbine



5.4 Masses

The main masses of the EAZ-13.2 turbine are listed in Table 3. Detailed information is listed in Annex A: FAST input files.

Description	Value	Unit
Blade mass	65.0	[kg]
Hub mass incl pitch system	465.0	[kg]
Generator mass	384.0	[kg]
Nacelle mass	346.0	[kg]
Generator inertia	40.0	[kgm ²]
Hub inertia	25.0	[kgm ²]
Rotor inertia	1614.8	[kgm ²]
Tower mass	2085.0	[kg]

Table 3: main masses of EAZ-13.2 turbine.



5.5 Rotor blade

The rotor blade is made out of wood. The chord, twist and airfoil distribution are listed in the table below (radial position w.r.t. rotor centre).

Radial position [m]	Chord [m]	Twist [deg]	Airfoil [-]
0.410	0.350	0	Root
1.156	0.350	0	Root
1.800	0.500	9.976	NACA4424
2.400	0.457	6.103	NACA4424
3.000	0.414	3.630	NACA4424
3.600	0.372	1.928	NACA4422
4.200	0.329	0.690	NACA4420
4.800	0.286	-0.250	NACA4418
5.400	0.243	-0.987	NACA4415
6.000	0.200	-1.300	NACA4415
6.540	0.1667	-1.435	NACA4415
6.600	0.163	-1.450	NACA4415

The radial position at 0.41 [m] is where the pitch shaft enters the steel blade clamp, see Figure 2.

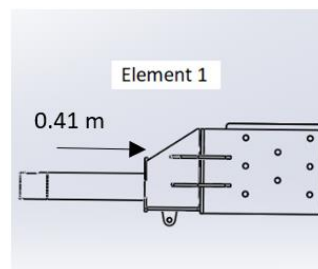


Figure 2 radial positions at blade clamp.

The root, NACA4415 and NACA4418 airfoil data is listed in Annex B: Airfoil data. The NACA4418 is airfoil data is also applied in FAST for the thicker blade sections (NACA4420 – NACA4424). See ref. (3) for the Reynolds numbers and reference for the airfoils.

The blade mass and stiffness distribution is listed in Table 4 (radial position w.r.t. rotor centre). The FAST input file for the blade is listed in Annex A: FAST input files. Annex A: FAST input files

Radial position [m]	Blade mass density [kg/m]	Flap stiffness [Nm ²]	Edge stiffness [Nm ²]
0.410	200	6500000	7500000
1.227	20	1099405	6119818
1.933	12	361837	3898357
2.595	10	207180	2575220
3.251	7.4	127209	1528175
3.914	5.8	70913	991518
4.570	4.5	34480	568617
5.226	3.2	12620	272615
5.888	2.2	3840	106672
6.600	1.2	1614	47596

Table 4: Blade mass and stiffness distribution

See ref. (3) for the SolidWorks model of the blade and the experimental validation of the blade 1st flap mode frequency.

The mass distribution results to (as generated by FAST):

Second mass moment: 380.3 kgm²

First mass moment: 155.6 kgm

5.6 Tower

The steel tower mass and bending stiffness distribution is listed in Table 5. The tower is axis symmetric. The FAST input file for the tower is listed in Annex A: FAST input files.

Height [m]	Height [-]	Diameter [m]	Thickness [m]	Mass density [kg/m]	Bending stiffness [Nm ²]
0	0.000	0.406	0.020	194.125	9.072E+07
1.6	0.106	0.406	0.020	194.125	9.072E+07
3.2	0.212	0.406	0.020	194.125	9.072E+07
4.8	0.318	0.406	0.020	194.125	9.072E+07
5	0.332	0.356	0.016	136.561	4.933E+07
6.2	0.411	0.356	0.016	136.561	4.933E+07
7.6	0.504	0.356	0.016	136.561	4.933E+07
9	0.597	0.356	0.016	136.561	4.933E+07
10.8	0.716	0.356	0.016	136.561	4.933E+07
11	0.729	0.273	0.013	81.838	1.739E+07
12.2	0.809	0.273	0.013	81.838	1.739E+07
14.1	0.935	0.273	0.013	81.838	1.739E+07
14.3	0.948	0.194	0.013	56.926	5.869E+06
15.08	1.000	0.194	0.013	56.926	5.869E+06

Table 5: tower geometry, mass and stiffness distribution



5.7 Campbell diagram

The mass and stiffness distribution of the blade and tower are implemented in FAST (ref. (1)). This results to the bending mode frequencies as listed in Table 6 and Campbell diagram in Figure 3. The blade frequencies depend on the rotor speed due to centrifugal stiffening.

Mode	Frequency at rotor speed of 0 rpm [Hz]	Frequency at rotor speed of 80 rpm [Hz]
1 st flap	6.06	6.33
2 nd flap	15.40	15.63
1 st edge	16.61	16.68
1 st tower	0.955	0.955
2 nd tower	7.24	7.24

Table 6: bending mode frequencies of blade and tower

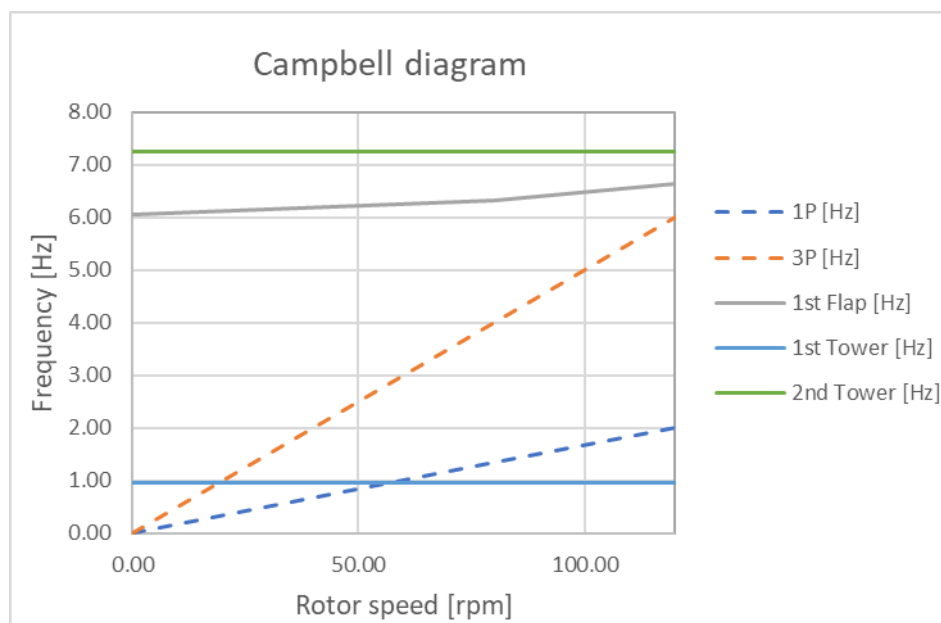


Figure 3: Campbell diagram EAZ-13.2 wind turbine

The Campbell diagram shows that the tower frequency equals the 1P frequency at about 59 [rpm].

The design load cases for the EAZ-13.2 are simulated with FAST using the DOF for 1st flap and 1st and 2nd tower. The structural damping for blade and tower is set at 1.0% (1st blade flap), 0.5% (1st tower) and 1% (2nd tower) of the critical damping.

The 2nd flap, 1st edge and drive train torsion mode are not included because these are not significant for the loading (high frequency, no interaction, see ref. (3)). The 1st edge and drive train torsion DOF are only switched ON for the overspeed-brake simulations. This is done to include the overshoot in the response to the stepwise brake torque loading.



5.8 Pitch system

The EAZ-13.2 has a passive pitch system. The blades are pitched by centrifugal and aerodynamics loads which interact with the springs and dampers of the pitch system. The three blade are connected with a gear pinion that synchronizes the pitch angles of the three blades.

The centrifugal load causes a pitch moment because the c.o.g. of the blade has an offset to the pitch axis in upwind and trailing edge direction.

The c.o.g. of the blade and blade clamp is defined in the coordinate system as shown in Figure 4.

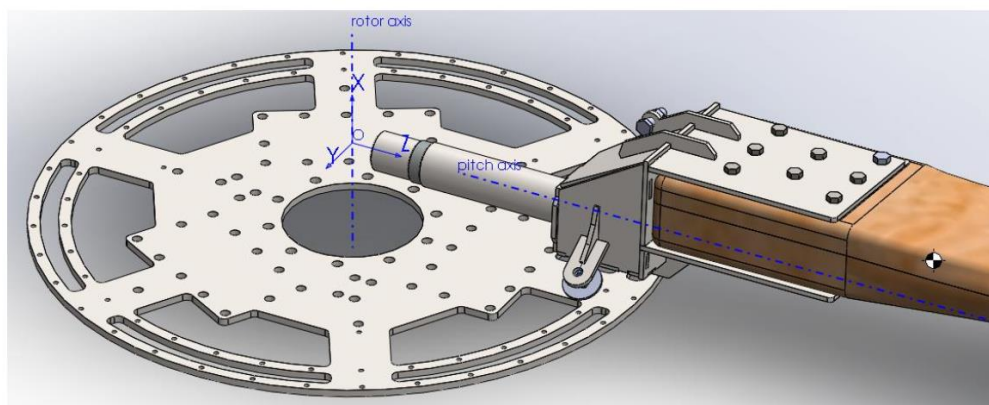


Figure 4: Blade clamp coordinate system

The positions of the c.o.g. are:

0.066 cm x-pos

-0.040 cm y-pos

1.338 cm z-pos

The blade is positioned such that the $\frac{1}{4}$ chord is about 3.5 [cm] behind the pitch axis (in trailing edge direction). So a downwind blade thrust load contributes to pitching towards vane position.

The damping of the pitch system is introduced with six dampers. The damping is asymmetric: the inward and outward damping moments are different, see Figure 5. This way, the damping towards vane is lower compared to fine direction. Numerical values are listed in Annex C: Pitch system input files. See ref. (3) for the EAZ work shop test of the dampers.

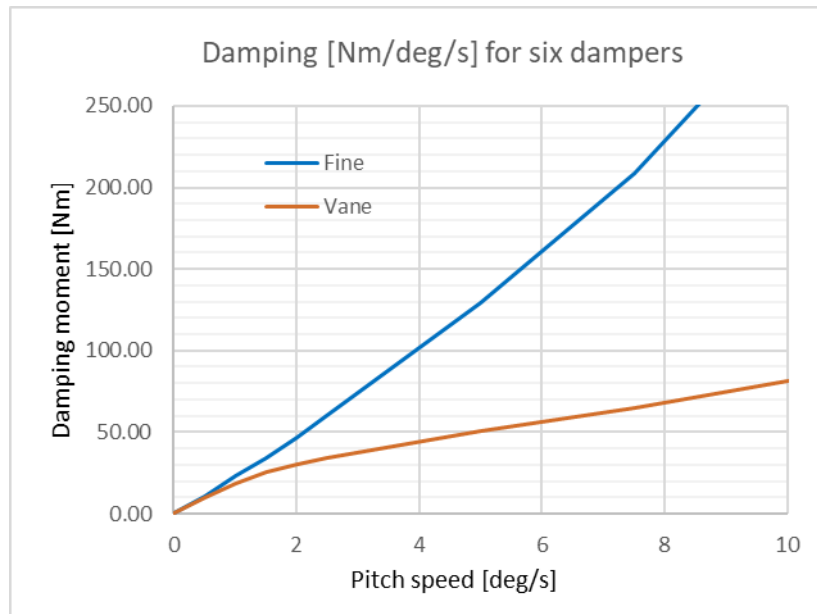


Figure 5: damping of pitch system as function of pitch speed and direction

The spring counteracts the aerodynamic and centrifugal pitch moment. The spring torque depends on the pitch angle, as shown in Figure 6 below (torque for one blade). Numerical values are listed in Annex C: Pitch system input files.

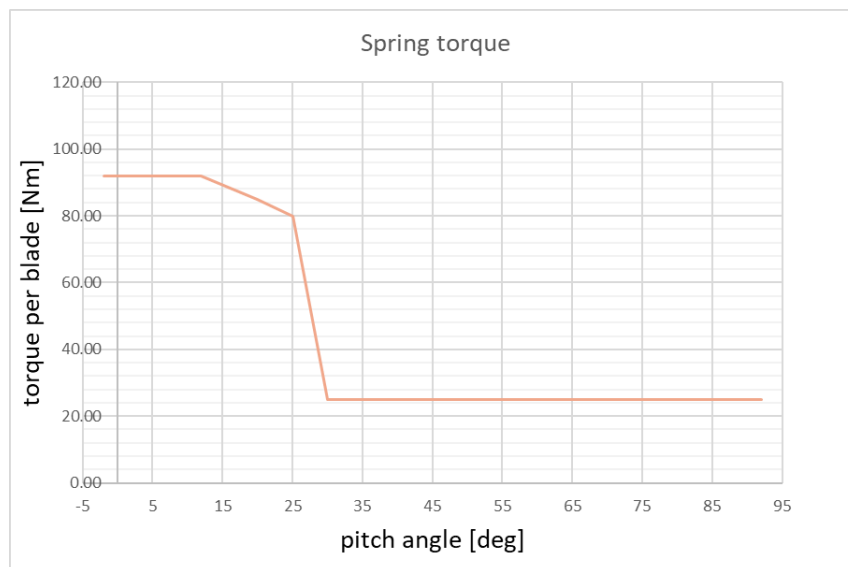


Figure 6: pitch system spring torque

The friction in the pitch system is modelled with a constant value of 50 Nm.

5.9 Generator

The EAZ-13.2 has a 15 [kW] PM generator. The losses in the generator are modelled as function of the electrical current (I) and generator resistance of $R=2.7$ [Ohm]: $P_{loss} = I^2 \cdot R$. The losses in the converter are modelled as function of the electrical current (I): $P_{loss} = I \cdot 0.6$. The graph below shows the rotor- and the electrical power together with the losses in the generator. Numerical values are listed in Annex A: FAST input files.

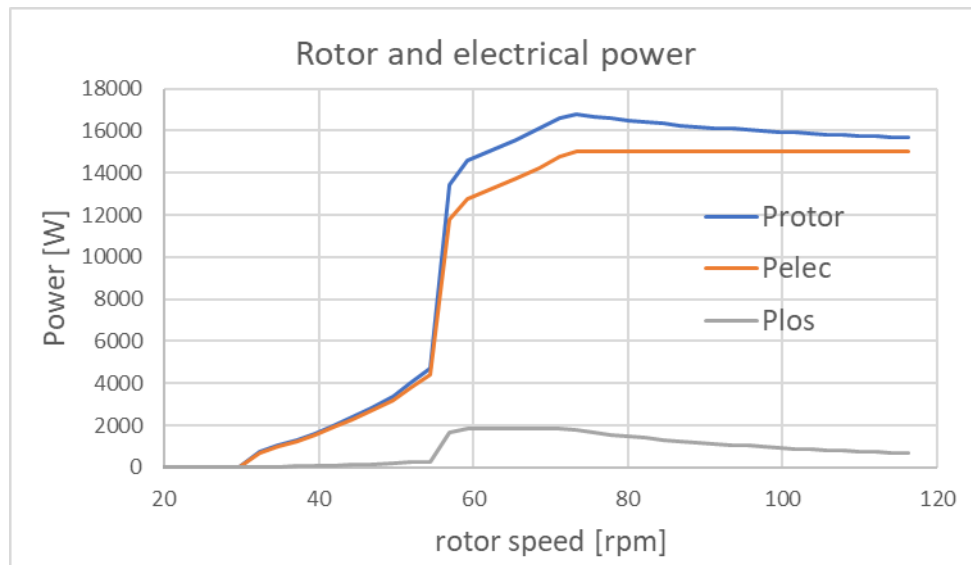


Figure 7: rotor and electrical power with corresponding power loss

The power curve is such that the rotor runs at $TSR=7.6$ at speed < 55 rpm.

6 Safety system

The safety system of the EAZ-13.2 turbine includes an electrical brake (generator) that is applied in case the rotor speed exceeds 120 [rpm] or grid loss. The maximum brake torque is 7.06 kNm. The electrical brake torque, as function of generator rpm is listed in Annex D: Electrical brake torque.

7 Design load cases

The design load cases (DLC) are defined according to the IEC 61400-2 ed. 3.0 (ref. (1)). The definition is done for the application of an aero-elastic simulation model, since the simulation tool FAST (ref. (2)) is applied.

7.1 Wind class

Wind class IV is applied for the EAZ-13.2 load case definition. The corresponding IEC 61400-2 ed. 3 (ref. (1)) values are listed in Table 7 below.

SWT class	IV	
Vref	30	m/s
Vave	6	m/s
I15	18	[%]
a	2	[-]

Table 7: design wind class values



7.2 Design Load cases

The design load cases (DLC) are defined according to the IEC-61400-2 ed.3 (ref. (1)) and listed in Table 8.

Design situation	DL C	Wind and other condition	File name example	Type of analysis
Power production	1.1	NTM, 2 t/m 24 [m/s] with steps of 2 [m/s], 6 seeds per wind bin, 600 sec simulation ³⁾	Vh10_s1.out	F, U
	1.2	ECD, 2 t/m 10 [m/s] met steps of 2 [m/s], (including Vdes = 8.4 [m/s])	ECD_10a.out	U
	1.3	EOG50, 2 t/m 24 [m/s] with steps of 2 [m/s]	EOG50_10.out	U
	1.4	EDC50, 2 t/m 24 [m/s] with steps of 2 [m/s]	EDC50_10.out	U
	1.5	ECG, Vdes = 8.4 [m/s]	ECG_08.out	U
Power production plus occurrence of fault	2.1	NCG (Normal Coherent Gust of 5 m/s) Blocked pitch and brake at 120 rpm, with 1 sec delay. 8, 10, 12, 18 [m/s]	NCG_10_OS.out	U
	2.2	Not applicable for EAZ-13.2 ¹⁾		F, U
	2.3	EOG1 with grid loss (brake applied) 2 t/m 24 [m/s] with step of 2 [m/s]	EOG1_10a.out	U
Normal shut down	3.1	Not applied (no influence) ²⁾		F
	3.2	EOG1 and stop Not applied: same as DLC 2.3		U
Emergency or manual shutdown	4.1	NWP and emergency stop, Brake torque 7000 Nm	NWP_10_stop1	U
Extreme wind loading	5.1	EWM_50, no grid	EWM_42.out	U
	5.2	NTM 0.7*Vref, is part of DLC 1.1	Vh24_s1.out	F
Parked and fault	6.1	EWM_1, parked with grid loss		U
Transport, assembly, maintenance and repair	7.1	To be stated by the manufacturer: see Annex F: DLC 7.1		U

Table 8: design load cases EAZ-13.2

- 1) DLC2.2 is not applied because the EAZ-13.2 turbine doesn't have a protection or internal electrical system that can lead to significant fatigue damage in case of faults. This is because the EAZ-13.2 has a very simple passive yaw system and a synchronized pitch system (no single pitch runaway or single pitch offset).
- 2) DLC3.1 is not applied because of the remark in the the IEC 61400-2 ed.3 (ref. (1)): *For passively controlled turbines there might not be an automatic shutdown, in those cases the fatigue load case can be ignored.*
- 3) The 22 m/s load cases in DLC1.1 is not simulated. The occurrence of the 22 m/s load cases are included in the occurrences of the 24 m/s load cases. This is done because the contribution to fatigue is very small and to save computational time.



In addition, the following conditions are applied in accordance with the IEC 61400-2 ed.3 (ref. (1)):

- Air density of 1.225 [kg/m³]
- Vertical inflow angle of 8 [deg]
- Kaimal spectral wind model
- 6 seeds per wind bin
- Vertical wind shear exponent 0.2 [-]
- Tower shadow model of FAST
- Aerodynamic blade imbalance: blade angles 0.0, 1.0, -1.0 [deg]
- Mass imbalance: tip masses 0.3, 0.1, 0.1 [kg]

The FAST V7 (ref. (2)) code is applied for the DLC simulations. The version V7 is applied since it includes the tail functionality, as required for the EAZ-13.2 turbine.

The load factors are defined in accordance with the IEC 61400-2 ed.3:

Load determination method	Fatigue loads, γ_f	Ultimate loads, γ_f
Simulation model	1.0	1.35

Table 9: partial safety factors for loads

The loads are calculated for a life time of 20 years.

The load set is version V174. The applied FAST input files for DLC1.1 are listed in Annex A: FAST input files.

The complete list of load cases and the number of occurrence in 20 years is listed in Annex E: Load case files , and Annex F: Occurrence file.



8 Loads

The loads are defined in the FAST (ref (2)) coordinate systems as shown in Figure 8.

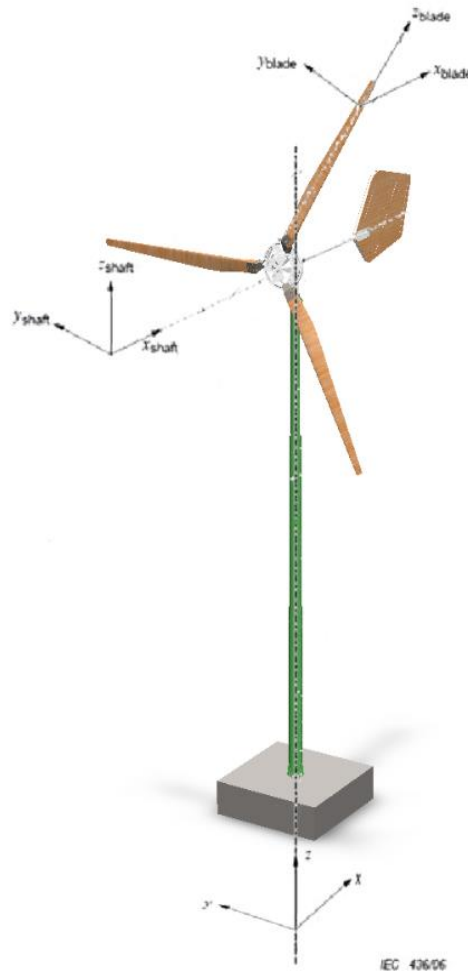


Figure 8: loads coordinate system

The blade loads are defined at the root (0.41 m from rotor centre) in:

c = in rotor plane

b = along chord line with twist relative to rotor plane

The shaft loads are defined in:

a = rotating shaft system

s = nonrotating shaft system

The nacelle loads are defined in:

n = yaws with the nacelle

The tower loads are defined in:

t = tower-base



8.1 Fatigue loads

The fatigue loads are listed in Table 10 as fatigue equivalent values for different S-N curve slopes and 5.e6 cycles [N]. The occurrences of each file is listed in Annex F: Occurrence file.

slope		3	4	5	7	9
RotTorq	del	1.188	1.147	1.163	1.222	1.281
RotThrust	del	6.658	5.797	5.645	5.703	5.873
RootFxb1	del	4.679	3.530	3.155	3.015	3.118
RootFyb1	del	14.133	9.456	7.432	5.646	4.849
RootMxb1	del	15.487	10.374	8.163	6.218	5.358
RootMyb1	del	14.740	10.958	9.905	9.648	9.959
RootFxb2	del	4.840	3.669	3.283	3.132	3.218
RootFyb2	del	14.105	9.438	7.418	5.636	4.841
RootMxb2	del	15.388	10.307	8.110	6.178	5.323
RootMyb2	del	14.823	11.150	10.160	9.942	10.231
RootFxb3	del	4.811	3.626	3.240	3.098	3.209
RootFyb3	del	14.131	9.455	7.431	5.645	4.848
RootMxb3	del	15.389	10.308	8.111	6.179	5.323
RootMyb3	del	15.000	11.081	9.979	9.688	9.988
LSShftFxa	del	6.658	5.797	5.645	5.703	5.873
LSShftFya	del	93.640	62.628	49.202	37.350	32.052
LSShftFza	del	93.640	62.628	49.201	37.348	32.050
LSShftFys	del	5.496	3.863	3.247	2.800	2.677
LSShftFzs	del	4.731	3.120	2.515	2.077	1.946
LSShftMxa	del	1.188	1.147	1.163	1.222	1.281
LSSTipMya	del	26.377	18.497	15.355	13.041	12.453
LSSTipMza	del	25.895	18.132	15.047	12.790	12.230
LSSTipMys	del	19.651	13.929	11.911	10.845	10.940
LSSTipMzs	del	15.499	10.469	8.576	7.240	6.902
LSSGagMya	del	18.776	13.279	11.277	10.062	9.993
LSSGagMza	del	18.740	13.233	11.236	10.032	9.979



LSSGagMys	del		19.591		13.913		11.915		10.866		10.968	
LSSGagMzs	del		15.126		10.219		8.373		7.072		6.747	
YawBrFxn	del		7.598		6.325		6.050		6.073		6.276	
YawBrFyn	del		7.597		5.475		4.679		4.105		3.967	
YawBrFzn	del		2.250		1.550		1.290		1.115		1.085	
YawBrMxn	del		2.209		1.681		1.558		1.552		1.602	
YawBrMyn	del		27.765		18.799		15.543		13.548		13.366	
YawBrMzn	del		3.038		2.184		1.833		1.545		1.434	
TwHt1MLxt	del		72.103		56.351		50.196		46.409		47.712	
TwHt1MLyt	del		70.793		60.353		57.624		57.653		59.624	
TwHt2MLxt	del		32.698		23.805		20.589		18.579		18.724	
TwHt2MLyt	del		38.776		28.916		26.082		25.049		25.363	
TwHt3MLxt	del		11.676		8.293		7.153		6.735		7.083	
TwHt3MLyt	del		27.760		18.805		15.569		13.561		13.290	
TwrBsFxt	del		14.177		9.852		8.399		7.657		7.688	
TwrBsFyt	del		12.733		8.852		7.432		6.496		6.359	
TwrBsFzt	del		2.255		1.558		1.300		1.129		1.100	
TwrBsMxt	del		126.001		94.807		83.282		76.014		77.148	
TwrBsMyt	del		129.108		102.601		95.493		94.072		96.890	
TwrBsMzt	del		3.038		2.184		1.833		1.545		1.434	

Table 10: fatigue equivalent loads



8.2 Ultimate loads

The ultimate loads (top 5 highest values) are listed in Table 11 including the load factor(second column). Tower loads are processed with load factor 1.50 instead of 1.35 to include the wind load at the tower (not included in FAST). The additional wind load at the tower is calculated with a drag coefficient of 0.7. The load case numbers are listed in Annex E: Load case files.

	rank	l_fact	1	2	3	4	5
Time	max	1.00	660.0	630.0	630.0	630.0	630.0
(s)	case		45	66	65	64	63
TotWindV	max	1.00	42.0	39.9	39.8	37.3	37.1
(m/s)	case		183	64	88	65	63
HorWindDir	max	1.00	180.0	180.0	180.0	180.0	179.8
(deg)	case		70	69	68	67	6
RotSpeed	max	1.00	127.4	123.5	122.8	121.3	119.7
(-)	case		114	113	115	71	137
PtchPMzc1	max	1.00	89.9	89.7	72.4	71.5	70.6
(deg)	case		183	184	181	64	180
PtchPMzc2	max	1.00	90.9	90.7	73.4	72.5	71.6
(deg)	case		183	184	181	64	180
PtchPMzc3	max	1.00	88.9	88.7	71.4	70.5	69.6
(deg)	case		183	184	181	64	180
RotTorq	max	1.00	12.9	12.9	12.9	12.8	12.8
(kNm)	case		180	176	175	182	181
RotThrust	max	1.00	8.5	8.3	8.0	8.0	7.9
(kN)	case		71	40	67	68	69
RotPwr	max	1.00	163.0	160.6	159.8	116.7	116.7
(kW)	case		114	113	115	165	164
GenPwr	max	1.00	15.7	15.7	15.7	15.7	15.6
(kW)	case		74	83	84	82	76
TipDxc1	max	100.00	28.6	28.5	28.2	26.9	25.5
(m)	case		40	72	71	69	39
TipDxc2	max	100.00	26.9	25.7	25.6	25.3	24.8
(m)	case		72	40	70	39	71
TipDxc3	max	100.00	30.2	30.1	29.3	26.6	25.9
(m)	case		72	40	71	69	42
NacYawP	max	1.00	235.3	-208.7	-200.6	-200.5	-158.2
(deg)	case		70	69	68	67	71
NacYawV	max	1.00	50.5	-40.7	35.0	33.8	33.5
(deg/s)	case		70	71	39	128	104
NacYawA	max	1.00	101.9	-83.2	-82.5	-82.4	79.1
(deg/s^2)	case		71	70	128	43	41
TTDspFA	max	1.00	-0.1	-0.1	-0.1	0.1	0.1
(m)	case		69	67	68	40	80
TTDspSS	max	1.00	-0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
(m)	case		71	62	61	65	64
TTDspAx	max	1.00	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
(m)	case		71	62	69	67	61
YawBrTAXp	max	1.00	-2.8	2.5	-2.0	1.9	1.9
(m/s^2)	case		62	40	65	41	38
YawBrTAYp	max	1.00	3.8	3.6	-3.4	2.9	2.5



(m/s^2)	case			62	65	61	64	66
YawBrTAzp	max	1.00	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
(m/s^2)	case		71	62	65	61	64	
TTDspRoll	max	1.00	1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	
(deg)	case		71	62	61	65	64	
TTDspPtch	max	1.00	-1.0	-0.9	-0.9	0.8	0.8	
(deg)	case		69	67	68	40	80	
TTDspTwstt	max	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
(deg)	case		184	183	182	181	180	
YawBrRAxp	max	1.00	182.0	130.8	-121.9	-114.2	-104.9	
(deg/s^2)	case		71	16	128	72	41	
YawBrRAyp	max	1.00	-125.0	-97.6	92.9	-87.7	-87.2	
(deg/s^2)	case		71	13	33	15	16	
YawBrRAzp	max	1.00	0.9	-0.9	0.8	0.8	-0.7	
(deg/s^2)	case		113	71	16	114	14	
TwHt1ALxt	max	1.00	-2.8	2.0	-1.9	1.8	-1.8	
(m/s^2)	case		71	13	33	15	40	
TwHt1ALyt	max	1.00	3.9	-2.6	2.6	-2.5	2.1	
(m/s^2)	case		71	128	16	72	70	
TwHt2ALxt	max	1.00	-5.2	3.6	-3.5	-3.4	3.3	
(m/s^2)	case		71	13	43	33	16	
TwHt2ALyt	max	1.00	7.1	-4.8	-4.6	4.5	4.1	
(m/s^2)	case		71	128	72	16	70	
TwHt3ALxt	max	1.00	-2.6	2.4	-2.1	2.0	2.0	
(m/s^2)	case		62	40	43	182	71	
TwHt3ALyt	max	1.00	3.5	3.2	3.0	-2.6	2.5	
(m/s^2)	case		62	65	61	64	71	
RootFxc1	max	1.35	7.0	6.2	5.9	5.6	5.5	
(kN)	case		71	72	40	43	104	
RootFyc1	max	1.35	-4.5	-4.3	-4.3	-4.2	-4.2	
(kN)	case		179	176	175	178	177	
RootFxyc1	max	1.35	7.0	6.2	6.0	5.6	5.5	
(kN)	case		71	72	40	43	104	
RootFzc1	max	1.35	51.2	50.2	50.1	48.4	47.7	
(kN)	case		114	113	115	71	137	
RootFxb1	max	1.35	6.9	6.2	5.9	5.5	5.4	
(kN)	case		71	72	40	43	104	
RootFyb1	max	1.35	-3.7	-3.7	-3.7	-3.7	-3.6	
(kN)	case		175	165	166	176	163	
RootFxyb1	max	1.35	7.0	6.2	6.0	5.6	5.5	
(kN)	case		71	72	40	43	104	
RootMxc1	max	1.35	9.7	-9.1	-8.1	-8.0	7.8	
(kNm)	case		183	88	65	87	180	
RootMyc1	max	1.35	17.5	17.4	17.4	15.2	15.0	
(kNm)	case		72	40	71	104	43	
RootMxyc1	max	1.35	17.6	17.5	17.5	15.2	15.2	
(kNm)	case		72	40	71	104	69	
RootMzc1	max	1.35	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	
(kNm)	case		88	64	61	66	87	
RootMxb1	max	1.35	6.5	6.4	6.0	6.0	6.0	
(kNm)	case		175	176	166	177	165	
RootMyb1	max	1.35	17.6	17.5	17.4	15.2	15.0	
(kNm)	case		72	40	71	104	42	
RootMxyb1	max	1.35	17.6	17.5	17.4	15.2	15.2	



(kNm)	case		72		40		71		104		69	
RootFxc2	max		1.35		6.5		6.0		5.3		5.3	
(kN)	case				71		72		104		40	
RootFyc2	max		1.35		-4.0		-3.9		-3.8		-3.8	
(kN)	case				182		171		166		181	
RootFxyc2	max		1.35		6.6		6.0		5.3		5.3	
(kN)	case				71		72		104		40	
RootFzc2	max		1.35		53.2		49.6		48.2		48.0	
(kN)	case				114		113		115		71	
RootFxb2	max		1.35		6.6		6.0		5.3		5.2	
(kN)	case				71		72		40		70	
RootFyb2	max		1.35		-3.6		-3.6		-3.6		-3.5	
(kN)	case				166		163		164		165	
RootFxyb2	max		1.35		6.6		6.0		5.3		5.3	
(kN)	case				71		72		104		40	
RootMxc2	max		1.35		-9.9		9.9		-8.4		-8.0	
(kNm)	case				88		183		64		65	
RootMyc2	max		1.35		17.4		17.0		15.6		15.6	
(kNm)	case				71		72		70		40	
RootMxyc2	max		1.35		17.5		17.0		15.7		15.6	
(kNm)	case				71		72		70		40	
RootMzc2	max		1.35		-0.2		-0.2		-0.2		-0.2	
(kNm)	case				88		64		87		65	
RootMxb2	max		1.35		6.2		5.9		5.9		5.8	
(kNm)	case				182		163		164		165	
RootMyb2	max		1.35		17.5		17.0		15.6		15.6	
(kNm)	case				71		72		70		40	
RootMxyb2	max		1.35		17.5		17.0		15.7		15.6	
(kNm)	case				71		72		70		40	
RootFxc3	max		1.35		6.7		6.7		6.3		6.1	
(kN)	case				71		72		40		74	
RootFyc3	max		1.35		-4.6		-4.6		-4.5		-4.2	
(kN)	case				182		181		180		179	
RootFxyc3	max		1.35		6.7		6.7		6.3		6.1	
(kN)	case				71		72		40		74	
RootFzc3	max		1.35		52.5		48.6		48.2		48.0	
(kN)	case				114		71		115		113	
RootFxb3	max		1.35		6.7		6.6		6.3		6.0	
(kN)	case				71		72		40		43	
RootFyb3	max		1.35		-3.7		-3.6		-3.6		-3.6	
(kN)	case				180		163		165		164	
RootFxyb3	max		1.35		6.7		6.7		6.3		6.1	
(kN)	case				71		72		40		74	
RootMxc3	max		1.35		10.7		-8.7		-8.6		7.8	
(kNm)	case				183		64		88		182	
RootMyc3	max		1.35		18.7		18.6		18.6		16.8	
(kNm)	case				72		71		40		43	
RootMxyc3	max		1.35		18.8		18.7		18.7		16.8	
(kNm)	case				72		71		40		43	
RootMzc3	max		1.35		-0.2		-0.2		-0.2		-0.2	
(kNm)	case				88		64		65		87	
RootMxb3	max		1.35		6.5		6.5		6.3		6.3	
(kNm)	case				180		181		179		182	
RootMyb3	max		1.35		18.8		18.7		18.6		16.8	



(kNm)	case		72		71		40		43		104	
RootMxyb3	max		1.35		18.8		18.7		16.9		16.4	
(kNm)	case				72		71		40		43	
LSShftFxa	max		1.35		11.4		11.2		10.8		10.8	
(kN)	case				71		40		67		68	
LSShftFya	max		1.35		-14.4		-14.0		13.8		-13.8	
(kN)	case				71		128		13		17	
LSShftFza	max		1.35		-14.4		14.1		13.8		13.8	
(kN)	case				71		128		38		45	
LSShftFyza	max		1.35		15.7		14.7		14.2		14.1	
(kN)	case				71		128		39		45	
LSShftFys	max		1.35		5.9		5.9		5.7		-5.4	
(kN)	case				61		62		64		183	
LSShftFzs	max		1.35		-15.7		-14.6		-14.2		-14.1	
(kN)	case				71		128		39		45	
LSShftFyzs	max		1.35		15.7		14.8		14.2		14.1	
(kN)	case				71		128		39		45	
LSShftMxa	max		1.35		17.3		17.3		17.3		17.3	
(kNm)	case				180		176		175		182	
LSSTipMya	max		1.35		15.8		-13.9		13.0		-12.9	
(kNm)	case				71		75		37		72	
LSSTipMza	max		1.35		-17.3		-16.3		-15.8		-14.9	
(kNm)	case				71		72		73		75	
LSSTipMyza	max		1.35		18.3		16.5		16.1		16.1	
(kNm)	case				71		72		75		73	
LSSTipMys	max		1.35		18.1		-16.5		16.1		15.9	
(kNm)	case				71		72		75		73	
LSSTipMzs	max		1.35		-8.8		7.8		-7.8		-7.6	
(kNm)	case				43		128		41		71	
LSSTipMyzs	max		1.35		18.3		16.5		16.1		16.1	
(kNm)	case				71		72		75		73	
LSSGagMya	max		1.35		-15.1		14.4		14.0		-13.3	
(kNm)	case				71		72		70		74	
LSSGagMza	max		1.35		-18.0		-16.4		-16.2		-16.0	
(kNm)	case				72		70		74		128	
LSSGagMyza	max		1.35		18.2		17.9		16.5		16.3	
(kNm)	case				72		71		70		74	
LSSGagMys	max		1.35		-18.2		-17.4		-16.5		-16.1	
(kNm)	case				72		71		70		74	
LSSGagMzs	max		1.35		-8.8		-7.6		7.5		7.5	
(kNm)	case				43		41		128		70	
LSSGagMyzs	max		1.35		18.2		17.9		16.5		16.4	
(kNm)	case				72		71		70		74	
YawBrFxn	max		1.35		11.8		11.2		10.7		10.6	
(kN)	case				71		40		67		69	
YawBrFyn	max		1.35		8.8		8.7		7.4		7.2	
(kN)	case				61		62		65		64	
YawBrFyn	max		1.35		11.8		11.4		10.7		10.6	
(kN)	case				71		40		67		69	
YawBrFzn	max		1.35		-22.7		-22.5		-22.4		-22.3	
(kN)	case				71		69		70		68	
YawBrMxn	max		1.35		9.7		9.7		9.7		9.7	
(kNm)	case				115		113		166		114	
YawBrMyn	max		1.35		-31.0		-23.7		-23.2		-22.7	



(kNm)	case		71		128		72		129		74	
YawBrMxyn	max		1.35		31.1		23.7		23.2		22.7	
(kNm)	case				71		128		72		129	
YawBrMzn	max		1.35		-2.2		1.8		1.7		1.7	
(kNm)	case				71		72		128		129	
TwHt1MLxt	max		1.50		128.3		-122.4		-109.4		-103.6	
(kN)	case				71		62		61		65	
TwHt1MLyt	max		1.50		-121.7		-114.6		-111.8		109.1	
(kN)	case				69		67		68		40	
TwHt1MLxyt	max		1.50		130.6		123.5		121.9		115.5	
(kN)	case				71		62		69		40	
TwHt2MLxt	max		1.50		63.8		-48.4		-44.3		-40.1	
(kN)	case				71		62		61		65	
TwHt2MLyt	max		1.50		-51.7		-43.3		-42.8		40.6	
(kN)	case				69		67		68		71	
TwHt2MLxyt	max		1.50		66.5		51.8		48.4		44.3	
(kN)	case				71		69		62		61	
TwHt3MLxt	max		1.50		32.2		23.7		21.2		16.6	
(kN)	case				71		72		73		128	
TwHt3MLyt	max		1.50		33.5		-21.4		-20.0		-19.4	
(kN)	case				71		128		70		129	
TwHt3MLxyt	max		1.50		38.0		25.0		23.7		23.0	
(kN)	case				71		128		72		129	
TwrBsFxt	max		1.50		13.4		-12.6		12.5		-12.2	
(kN)	case				40		69		32		67	
TwrBsFyt	max		1.50		-16.4		13.5		12.1		12.0	
(kN)	case				71		62		72		61	
TwrBsFxyt	max		1.50		16.9		14.4		13.5		12.9	
(kN)	case				71		40		62		43	
TwrBsFzt	max		1.50		-56.0		-55.9		-55.7		-55.7	
(kN)	case				71		69		68		67	
TwrBsMxt	max		1.50		208.2		-191.5		-171.0		-159.9	
(kNm)	case				71		62		61		65	
TwrBsMyt	max		1.50		-186.6		-177.9		177.9		-173.7	
(kNm)	case				69		67		40		68	
TwrBsMxyt	max		1.50		211.5		193.0		189.6		186.8	
(kNm)	case				71		62		40		69	
TwrBsMzt	max		1.50		-2.5		1.9		1.9		1.8	
(kNm)	case				71		72		128		129	

Table 11: ultimate loads



9 Annex A: FAST input files

FAST main input file for DLC 1.1

```
-----
----- FAST INPUT FILE -----
FAST certification Test #07: EAZ 12 with many DOFs with free yaw and FF turbulence.
Many parameters are pure fiction. Compatible with FAST v7.02.00.
----- SIMULATION CONTROL -----
False      Echo      - Echo input data to "echo.out" (flag)
1          ADAMSPrep - ADAMS preprocessor mode {1: Run FAST, 2: use FAST as a preprocessor to crea
1          AnalMode  - Analysis mode {1: Run a time-marching simulation, 2: create a periodic line
3          NumBl     - Number of blades (-)
630.0      TMax      - Total run time (s)
0.005      DT        - Integration time step (s)
----- TURBINE CONTROL -----
0          YCMode    - Yaw control mode {0: none, 1: user-defined from routine UserYawCont, 2: use
9999.9     TYCon     - Time to enable active yaw control (s) [unused when YCMode=0]
1          PCMode    - Pitch control mode {0: none, 1: user-defined from routine PitchCntrl, 2: us
0          TPCOn     - Time to enable active pitch control (s) [unused when PCMode=0]
2          VSContrl  - Variable-speed control mode {0: none, 1: simple VS, 2: user-defined from ro
80.0       VS_RtGnSp - Rated generator speed for simple variable-speed generator control (HSS side
1500.0     VS_RtTq   - Rated generator torque/constant generator torque in Region 3 for simple var
0.234      VS_Rgn2K  - Generator torque constant in Region 2 for simple variable-speed generator c
2.0        VS_SlPc   - Rated generator slip percentage in Region 2 1/2 for simple variable-speed g
1          GenModel  - Generator model {1: simple, 2: Thevenin, 3: user-defined from routine UserG
True       GenTiStr  - Method to start the generator {T: timed using TimGenOn, F: generator speed
True       GenTiStp  - Method to stop the generator {T: timed using TimGenOf, F: when generator po
9999.9     SpdGenOn  - Generator speed to turn on the generator for a startup (HSS speed) (rpm) [u
0.0        TimGenOn  - Time to turn on the generator for a startup (s) [used only when GenTiStr=Tr
9999.9     TimGenOf  - Time to turn off the generator (s) [used only when GenTiStp=True]
1          HSSBrMode - HSS brake model {1: simple, 2: user-defined from routine UserHSSBr, 3: user
9999.9     THSSBrDp - Time to initiate deployment of the HSS brake (s)
9999.9     TiDynBrk  - Time to initiate deployment of the dynamic generator brake [CURRENTLY IGNOR
9999.9     TTPBrDp(1) - Time to initiate deployment of tip brake 1 (s)
9999.9     TTPBrDp(2) - Time to initiate deployment of tip brake 2 (s)
9999.9     TTPBrDp(3) - Time to initiate deployment of tip brake 3 (s) [unused for 2 blades]
9999.9     TBDepISp(1) - Deployment-initiation speed for the tip brake on blade 1 (rpm)
9999.9     TBDepISp(2) - Deployment-initiation speed for the tip brake on blade 2 (rpm)
9999.9     TBDepISp(3) - Deployment-initiation speed for the tip brake on blade 3 (rpm) [unused for
9999.9     TYawManS  - Time to start override yaw maneuver and end standard yaw control (s)
9999.9     TYawManE  - Time at which override yaw maneuver reaches final yaw angle (s)
0.0        NacYawF   - Final yaw angle for yaw maneuvers (degrees)
9999.9     TPitManS(1) - Time to start override pitch maneuver for blade 1 and end standard pitch co
9999.9     TPitManS(2) - Time to start override pitch maneuver for blade 2 and end standard pitch co
9999.9     TPitManS(3) - Time to start override pitch maneuver for blade 3 and end standard pitch co
9999.9     TPitManE(1) - Time at which override pitch maneuver for blade 1 reaches final pitch (s)
9999.9     TPitManE(2) - Time at which override pitch maneuver for blade 2 reaches final pitch (s)
9999.9     TPitManE(3) - Time at which override pitch maneuver for blade 3 reaches final pitch (s) [
0.00       BlPitch(1) - Blade 1 initial pitch (degrees)
0.00       BlPitch(2) - Blade 2 initial pitch (degrees)
0.00       BlPitch(3) - Blade 3 initial pitch (degrees) [unused for 2 blades]
0.00       BlPitchF(1) - Blade 1 final pitch for pitch maneuvers (degrees)
0.00       BlPitchF(2) - Blade 2 final pitch for pitch maneuvers (degrees)
0.00       BlPitchF(3) - Blade 3 final pitch for pitch maneuvers (degrees) [unused for 2 blades]
----- ENVIRONMENTAL CONDITIONS -----
9.80665    Gravity   - Gravitational acceleration (m/s^2)
----- FEATURE FLAGS -----
True       FlapDOF1  - First flapwise blade mode DOF (flag)
False     FlapDOF2  - Second flapwise blade mode DOF (flag)
False     EdgeDOF   - First edgewise blade mode DOF (flag)
False     TeetDOF   - Rotor-teeter DOF (flag) [unused for 3 blades]
False     DrTrDOF   - Drivetrain rotational-flexibility DOF (flag)
True      GenDOF     - Generator DOF (flag)
True      YawDOF     - Yaw DOF (flag)
True      TwFADOF1   - First fore-aft tower bending-mode DOF (flag)
True      TwFADOF2   - Second fore-aft tower bending-mode DOF (flag)
True      TwSSDOF1   - First side-to-side tower bending-mode DOF (flag)
True      TwSSDOF2   - Second side-to-side tower bending-mode DOF (flag)
True      CompAero   - Compute aerodynamic forces (flag)
False     CompNoise  - Compute aerodynamic noise (flag)
----- INITIAL CONDITIONS -----
0.0        OoPDefl  - Initial out-of-plane blade-tip displacement (meters)
0.0        IPDefl   - Initial in-plane blade-tip deflection (meters)
0.0        TeetDefl - Initial or fixed teeter angle (degrees) [unused for 3 blades]
0.0        Azimuth  - Initial azimuth angle for blade 1 (degrees)
80.00      RotSpeed  - Initial or fixed rotor speed (rpm)
```



0.0	NacYaw	- Initial or fixed nacelle-yaw angle (degrees)
0.0	TTDspFA	- Initial fore-aft tower-top displacement (meters)
0.0	TTDspSS	- Initial side-to-side tower-top displacement (meters)
----- TURBINE CONFIGURATION -----		
6.60	TipRad	- The distance from the rotor apex to the blade tip (meters)
0.41	HubRad	- The distance from the rotor apex to the blade root (meters)
1	PSPnElN	- Number of the innermost blade element which is still part of the pitchable
0.0	UndSling	- Undersling length [distance from teeter pin to the rotor apex] (meters) [un
0.278	HubCM	- Distance from rotor apex to hub mass [positive downwind] (meters)
-0.935	OverHang	- Distance from yaw axis to rotor apex [3 blades] or teeter pin [2 blades] (m
-0.430	NacCMxn	- Downwind distance from the tower-top to the nacelle CM (meters)
0.0	NacCMyn	- Lateral distance from the tower-top to the nacelle CM (meters)
0.1	NacCMzn	- Vertical distance from the tower-top to the nacelle CM (meters)
15.08	TowerHt	- Height of tower above ground level [onshore] or MSL [offshore] (meters)
0.0	Twr2Shft	- Vertical distance from the tower-top to the rotor shaft (meters)
0.0	TwrRBHt	- Tower rigid base height (meters)
-4.0	ShftTilt	- Rotor shaft tilt angle (degrees)
0.0	Delta3	- Delta-3 angle for teetering rotors (degrees) [unused for 3 blades]
0.0	PreCone(1)	- Blade 1 cone angle (degrees)
0.0	PreCone(2)	- Blade 2 cone angle (degrees)
0.0	PreCone(3)	- Blade 3 cone angle (degrees) [unused for 2 blades]
0.0	AzimBlUp	- Azimuth value to use for I/O when blade 1 points up (degrees)
----- MASS AND INERTIA -----		
0.0	YawBrMass	- Yaw bearing mass (kg)
286.0	NacMass	- Nacelle mass (kg)
514.4	HubMass	- Hub mass (kg)
0.3	TipMass(1)	- Tip-brake mass, blade 1 (kg)
0.1	TipMass(2)	- Tip-brake mass, blade 2 (kg)
0.1	TipMass(3)	- Tip-brake mass, blade 3 (kg) [unused for 2 blades]
205.0	NacYIner	- Nacelle inertia about yaw axis (kg m^2)
45.0	GenIner	- Generator inertia about HSS (kg m^2)
25.0	HubIner	- Hub inertia about rotor axis [3 blades] or teeter axis [2 blades] (kg m^2)
----- DRIVETRAIN -----		
100.0	GBoxEff	- Gearbox efficiency (%)
89.4	GenEff	- Generator efficiency [ignored by the Thevenin and user-defined generator mo
1.0	GBRatio	- Gearbox ratio (-)
False	GBRevers	- Gearbox reversal {T: if rotor and generator rotate in opposite directions}
9999.9	HSSBrTqF	- Fully deployed HSS-brake torque (N-m)
9999.9	HSSBrDt	- Time for HSS-brake to reach full deployment once initiated (sec) [used only
"unused"	DynBrkFi	- File containing a mech-gen-torque vs HSS-speed curve for a dynamic brake [C
6.0E5	DTTorSpr	- Drivetrain torsional spring (N-m/rad)
1.0E5	DTTorDmp	- Drivetrain torsional damper (N-m/(rad/s))
----- SIMPLE INDUCTION GENERATOR ----- Crude approximation		
2.222	SIG_SlPc	- Rated generator slip percentage (%) [used only when VSContrl=0 and GenModel
80.0	SIG_SySp	- Synchronous (zero-torque) generator speed (rpm) [used only when VSContrl=0
1500.0	SIG_RtTq	- Rated torque (N-m) [used only when VSContrl=0 and GenModel=1]
1.75	SIG_PORT	- Pull-out ratio (Tpullout/Trated) (-) [used only when VSContrl=0 and GenMode
----- THEVENIN-EQUIVALENT INDUCTION GENERATOR -----		
50.0	TEC_Freq	- Line frequency [50 or 60] (Hz) [used only when VSContrl=0 and GenModel=2]
4	TEC_NPol	- Number of poles [even integer > 0] (-) [used only when VSContrl=0 and GenMo
4.92E-02	TEC_SRes	- Stator resistance [>0] (ohms) [used only when VSContrl=0 and GenModel=2]
5.34E-04	TEC_RRes	- Rotor resistance [>0] (ohms) [used only when VSContrl=0 and GenModel=2]
480.0	TEC_VLL	- Line-to-line RMS voltage (volts) [used only when VSContrl=0 and GenModel=2]
1.00E-04	TEC_SLR	- Stator leakage reactance (ohms) [used only when VSContrl=0 and GenModel=2]
1.00E-04	TEC_RLR	- Rotor leakage reactance (ohms) [used only when VSContrl=0 and GenModel=2]
4.49E-03	TEC_MR	- Magnetizing reactance (ohms) [used only when VSContrl=0 and GenModel=2]
----- PLATFORM -----		
0	PtfmModel	- Platform model {0: none, 1: onshore, 2: fixed bottom offshore, 3: floating
"unused"	PtfmFile	- Name of file containing platform properties (quoted string) [unused when Pt
----- TOWER -----		
25	TwrNodes	- Number of tower nodes used for analysis (-)
"EAZ_Tower.dat"	TwrFile	- Name of file containing tower properties (quoted string)
----- NACELLE-YAW -----		
0.0	YawSpr	- Nacelle-yaw spring constant (N-m/rad)
0.0615	YawDamp	- Nacelle-yaw damping constant (N-m/(rad/s))
0.0	YawNeut	- Neutral yaw position--yaw spring force is zero at this yaw (degrees)
----- FURLING -----		
True	Furling	- Read in additional model properties for furling turbine (flag)
"EAZ_Furl.dat"	FurlFile	- Name of file containing furling properties (quoted string) [unused when
----- ROTOR-TEETER -----		
0	TeetMod	- Rotor-teeter spring/damper model {0: none, 1: standard, 2: user-defined fro
0.0	TeetDmpP	- Rotor-teeter damper position (degrees) [used only for 2 blades and when Tee
0.0	TeetDmp	- Rotor-teeter damping constant (N-m/(rad/s)) [used only for 2 blades and whe
0.0	TeetCDmp	- Rotor-teeter rate-independent Coulomb-damping moment (N-m) [used only for 2
0.0	TeetSSStP	- Rotor-teeter soft-stop position (degrees) [used only for 2 blades and when
0.0	TeetHStP	- Rotor-teeter hard-stop position (degrees) [used only for 2 blades and when
0.0	TeetSSSSp	- Rotor-teeter soft-stop linear-spring constant (N-m/rad) [used only for 2 bl
0.0	TeetHSSp	- Rotor-teeter hard-stop linear-spring constant (N-m/rad) [used only for 2 bl
----- TIP-BRAKE -----		
0.0	TBDrConN	- Tip-brake drag constant during normal operation, Cd*Area (m^2)
0.0	TBDrConD	- Tip-brake drag constant during fully-deployed operation, Cd*Area (m^2)




```

0.0      TpBrDT      - Time for tip-brake to reach full deployment once released (sec)
----- BLADE -----
"EAZ_Blade1.dat"      BldFile(1) - Name of file containing properties for blade 1 (quoted string)
"EAZ_Blade2.dat"      BldFile(2) - Name of file containing properties for blade 2 (quoted string)
"EAZ_Blade3.dat"      BldFile(3) - Name of file containing properties for blade 3 (quoted string) [
----- AERODYN -----
"EAZ_AD_Vh08_sl.ipt"      ADFile      - Name of file containing AeroDyn input parameters (quoted st
----- NOISE -----
"unused"      NoiseFile      - Name of file containing aerodynamic noise input parameters (quoted string)
----- ADAMS -----
"AOC_ADAMS.dat"      ADAMSFile      - Name of file containing ADAMS-specific input parameters (quoted
----- LINEARIZATION CONTROL -----
"AOC_Linear.dat"      LinFile      - Name of file containing FAST linearization parameters (quoted st
----- OUTPUT -----
True      SumPrint      - Print summary data to "<RootName>.fsm" (flag)
1      OutFileFmt      - Format for tabular (time-marching) output file(s) (1: text file [<RootName>
True      TabDelim      - Use tab delimiters in text tabular output file? (flag)
"ES10.3E2"      OutFmt      - Format used for text tabular output (except time). Resulting field should
30.0      TStart      - Time to begin tabular output (s)
10      DecFact      - Decimation factor for tabular output {1: output every time step} (-)
5.0      SttsTime      - Amount of time between screen status messages (sec)
0.0      NcIMUxn      - Downwind distance from the tower-top to the nacelle IMU (meters)
0.0      NcIMUyn      - Lateral distance from the tower-top to the nacelle IMU (meters)
0.0      NcIMUzn      - Vertical distance from the tower-top to the nacelle IMU (meters)
0.155      ShftGagL      - Distance from rotor apex [3 blades] or teeter pin [2 blades] to shaft strai
3      NTwGages      - Number of tower nodes that have strain gages for output [0 to 9] (-)
9,19,24      TwrGagNd      - List of tower nodes that have strain gages [1 to TwrNodes] (-) [unused if
9      NBlGages      - Number of blade nodes that have strain gages for output [0 to 9] (-)
1,2,3,4,5,6,7,8,9      BldGagNd      - List of blade nodes that have strain gages [1 to BldNodes] (-) [
OutList      - The next line(s) contains a list of output parameters. See OutList.xlsx fo
"TotWindV,HorWndDir,Azimuth,RotSpeed,TSR" - Total wind speed, Rotor speed and blade tip speed ratio
"PtchPMzc1,PtchPMzc2,PtchPMzc3"          - Blade pitch angle
"RotTorq,RotThrust,RotPwr,GenPwr"        - Rotor torque, power, and thrust coefficients
"RotCq,RotCp,RotCt"                      - Tail fin dynamic pressure and tangential and normal
"TFinDnPrs,TFinCPFx,TFinCPFy"
for
"TipDxc1,TipDxc2,TipDxc3"                - Blade tip out of plane deflection
"NacYawP,NacYawV,NacYawA"                - Nacelle yaw position (angle),Nacelle yaw rate and
accel
"TTDspFA,TTDspSS,TTDspAx"                - Yaw position in fixed tower system (m)
"YawBrTAXp,YawBrTAYp,YawBrTAzp"          - Yaw acceleration in fixed tower system(m/s2)
"TTDspRoll,TTDspPtch,TTDspTwstt"        - Yaw rotation (deg)
"YawBrRAXp,YawBrRAYp,YawBrRAzp"        - Yaw acceleration in fixed tower system(deg/s2)
"TwHt1ALxt,TwHt1ALyt,TwHt2ALxt"        - tower accelerations
"TwHt2ALyt,TwHt3ALxt,TwHt3ALyt"          - tower accelerations
"RootFxc1,RootFyc1,RootFzc1,RootFxb1,RootFyb1" - blade loads
"RootMxc1,RootMyc1,RootMzc1,RootMxb1,RootMyb1" - blade loads
"RootFxc2,RootFyc2,RootFzc2,RootFxb2,RootFyb2" - blade loads
"RootMxc2,RootMyc2,RootMzc2,RootMxb2,RootMyb2" - blade loads
"RootFxc3,RootFyc3,RootFzc3,RootFxb3,RootFyb3" - blade loads
"RootMxc3,RootMyc3,RootMzc3,RootMxb3,RootMyb3" - blade loads
"LSShftFxa,LSShftFya,LSShftFza,LSShftFys,LSShftFzs" - shaft loads hub centre, a=rotating s=fi
"LSShftMxa,LSSTipMya,LSSTipMza,LSSTipMys,LSSTipMzs" - shaft loads hub centre, a=rotating s=fi
"LSGagMya,LSGagMza,LSGagMys,LSGagMzs"      - shaft loads at gauge
position, a=rotati
"YawBrFxn,YawBrFyn,YawBrFzn"            - rotating yaw loads
"YawBrMxn,YawBrMyn,YawBrMzn"            - rotating yaw loads
"TwHt1MLxt,TwHt1MLyt,TwHt2MLxt"        - tower loads at gauge position
"TwHt2MLyt,TwHt3MLxt,TwHt3MLyt"        - tower loads at gauge position
"TwrBsFxt,TwrBsFyt,TwrBsFzt"            - Tower-base roll and pitch moments
"TwrBsMxt,TwrBsMyt,TwrBsMzt"            - Tower-base roll and pitch moments
END of FAST input file (the word "END" must appear in the first 3 columns of this last line).
-----

```



FAST blade input files

EAZ aerodynamic parameters for FAST Certification Test #7.

```
SI                      SysUnits - System of units for used for input and out
BEDDOES                StallMod - Dynamic stall included [BEDDOES or STEADY]
USE_CM                  UseCm    - Use aerodynamic pitching moment model? [U
DYNIN                   InfModel - Inflow model [DYNIN or EQUIL] (unquoted st
SWIRL                   IndModel - Induction-factor model [NONE or WAKE or SW
0.005                  AToler   - Induction-factor tolerance (convergence cr
PRANDtl                TLModel  - Tip-loss model (EQUIL only) [PRANDtl, GTEC
PRANDtl                HLModel  - Hub-loss model (EQUIL only) [PRANDtl or NO
"Wind/EAZ/vh08_s1.wnd" WindFile - Name of file containing wind data (quoted
15.0                   HH       - Wind reference (hub) height [TowerHt+Twr2S
0.25                   TwrShad  - Tower-shadow velocity deficit (-)
0.15                   ShadHwid - Tower-shadow half width (m)
1.0                    T_Shad_Refpt - Tower-shadow reference point (m)
1.225                 AirDens  - Air density (kg/m^3)
1.4639e-5             KinVisc  - Kinematic air viscosity (m^2/sec)
0.005                 DTAero   - Time interval for aerodynamic calculations
4                     NumFoil  - Number of airfoil files (-)
"AeroData/EAZ/root.DAT" FoilNm  - Names of the airfoil files [NumFoil lines]
"AeroData/EAZ/NACA4418.DAT"
"AeroData/EAZ/NACA4415.DAT"
"AeroData/EAZ/tail.DAT"
```

```
9                      BldNodes - Number of blade nodes used for analysis (-)
RNodes  AeroTwst DRNodes Chord NFOil PrnElm
0.836    0.000    0.852    0.350    1      NOPRINT
1.612    3.960    0.700    0.410    2      NOPRINT
2.291    7.061    0.658    0.464    2      NOPRINT
2.945    4.030    0.650    0.426    2      NOPRINT
3.600    2.055    0.660    0.371    2      NOPRINT
4.255    0.672    0.650    0.325    2      NOPRINT
4.909   -0.347    0.658    0.278    3      NOPRINT
5.564   -1.005    0.652    0.233    3      NOPRINT
6.245   -1.337    0.710    0.187    3      NOPRINT
```

----- FAST INDIVIDUAL BLADE FILE -----

EAZ-13.2 blade file.

```
----- BLADE PARAMETERS -----
10      NBlInpSt - Number of blade input stations (-)
True     CalcBMode - Calculate blade mode shapes internally {T: ignore mode shapes from below, F: use
mode shapes from below} [CURRENTLY IGNORED] (flag)
1.0      BldFlDmp(1) - Blade flap mode #1 structural damping in percent of critical (%)
1.0      BldFlDmp(2) - Blade flap mode #2 structural damping in percent of critical (%)
1.0      BldEdDmp(1) - Blade edge mode #1 structural damping in percent of critical (%)
----- BLADE ADJUSTMENT FACTORS -----
1.0      FlStTunr(1) - Blade flapwise modal stiffness tuner, 1st mode (-)
1.0      FlStTunr(2) - Blade flapwise modal stiffness tuner, 2nd mode (-)
1.0      AdjBlMs   - Factor to adjust blade mass density (-)
1.0      AdjFlSt   - Factor to adjust blade flap stiffness (-)
1.0      AdjEdSt   - Factor to adjust blade edge stiffness (-)
----- DISTRIBUTED BLADE PROPERTIES -----
BlFract  AeroCent StrcTwst BMassDen FlpStff  EdgStff  GJStff  EASTff  Alpha  FlpIner  EdgIner  PrecrvRef
PreswpRef
(-)      (-)      (-)      (deg)      (kg/m)      (Nm^2)      (Nm^2)      (Nm^2)      (N)      (-)      (kg.m)      (kg.m)
(m)      (m)      (m)      (m)      (m)      (m)      (m)
0.000    0.25    0.00    200.00    6500000    7500000    3378740    622569    0 0.01 0.01 0 0 0 0 0 0
0.132    0.25    0.00    34.53    1099405    6119818    3378740    622569    0 0.01 0.01 0 0 0 0 0 0
0.246    0.25    9.62    16.10    361837    3898357    1894970    580625    0 0.01 0.01 0 0 0 0 0 0
0.353    0.25    5.85    10.60    207180    2575220    1231360    532090    0 0.01 0.01 0 0 0 0 0 0
0.459    0.25    3.52    8.10    127209    1528175    811170    458613    0 0.01 0.01 0 0 0 0 0 0
0.566    0.25    1.92    6.63    70913    991518    533290    384911    0 0.01 0.01 0 0 0 0 0 0
0.672    0.25    0.78    5.27    34480    568617    328360    316752    0 0.01 0.01 0 0 0 0 0 0
0.778    0.25    -0.07    3.67    12620    272615    189050    264023    0 0.01 0.01 0 0 0 0 0 0
0.885    0.25    -0.35    2.33    3840    106672    100220    211218    0 0.01 0.01 0 0 0 0 0 0
1.000    0.25    -0.71    1.63    1614    47596    43060    149950    0 0.01 0.01 0 0 0 0 0 0
----- BLADE MODE SHAPES -----
0.2506    BldFl1Sh(2) - Flap mode 1, coeff of x^2
1.2150    BldFl1Sh(3) - , coeff of x^3
-2.0261    BldFl1Sh(4) - , coeff of x^4
2.7203    BldFl1Sh(5) - , coeff of x^5
-1.1598    BldFl1Sh(6) - , coeff of x^6
-2.3421    BldFl2Sh(2) - Flap mode 2, coeff of x^2
5.0047    BldFl2Sh(3) - , coeff of x^3
-25.9119    BldFl2Sh(4) - , coeff of x^4
40.8648    BldFl2Sh(5) - , coeff of x^5
-16.6154    BldFl2Sh(6) - , coeff of x^6
```



```

1.8381 BldEdgSh(2) - Edge mode 1, coeff of x^2
-2.0103 BldEdgSh(3) - , coeff of x^3
0.9662 BldEdgSh(4) - , coeff of x^4
0.9933 BldEdgSh(5) - , coeff of x^5
-0.7874 BldEdgSh(6) - , coeff of x^6-----
-----

```

FAST tower input file

```

----- FAST TOWER FILE -----
EAZ tower data.
----- TOWER PARAMETERS -----
14 NtwInpSt - Number of input stations to specify tower geometry
True CalcMode - Calculate tower mode shapes internally {T: ignore mode shapes from below, F: use mode shapes from below} [CURRENTLY IGNORED] (flag)
0.5 TwrFADmp(1) - Tower 1st fore-aft mode structural damping ratio (%)
1.0 TwrFADmp(2) - Tower 2nd fore-aft mode structural damping ratio (%)
0.5 TwrSSDmp(1) - Tower 1st side-to-side mode structural damping ratio (%)
1.0 TwrSSDmp(2) - Tower 2nd side-to-side mode structural damping ratio (%)
----- TOWER ADJUSTMENT FACTORS -----
1.0 FASStunr(1) - Tower fore-aft modal stiffness tuner, 1st mode (-)
1.5 FASStunr(2) - Tower fore-aft modal stiffness tuner, 2nd mode (-)
1.0 SSStTunr(1) - Tower side-to-side stiffness tuner, 1st mode (-)
1.0 SSStTunr(2) - Tower side-to-side stiffness tuner, 2nd mode (-)
1.0 AdjTwMa - Factor to adjust tower mass density (-)
1.0 AdjFASSt - Factor to adjust tower fore-aft stiffness (-)
1.0 AdjSSSt - Factor to adjust tower side-to-side stiffness (-)
----- DISTRIBUTED TOWER PROPERTIES -----
HtFract TMassDen TwFASTif TwSSStif TwGJStif TwEASTif TwFAlner TwSSIner TwFACgOf TwSScgOf
(-) (kg/m) (Nm^2) (Nm^2) (Nm^2) (N) (kg m) (kg m) (m) (m)
0.000 194.125 9.072E+07 9.072E+07 4.536E+07 1.512E+07 0 0 0
0.106 194.125 9.072E+07 9.072E+07 4.536E+07 1.512E+07 0 0 0
0.212 194.125 9.072E+07 9.072E+07 4.536E+07 1.512E+07 0 0 0
0.318 194.125 9.072E+07 9.072E+07 4.536E+07 1.512E+07 0 0 0
0.332 136.561 4.933E+07 4.933E+07 2.466E+07 8.221E+06 0 0 0
0.411 136.561 4.933E+07 4.933E+07 2.466E+07 8.221E+06 0 0 0
0.504 136.561 4.933E+07 4.933E+07 2.466E+07 8.221E+06 0 0 0
0.597 136.561 4.933E+07 4.933E+07 2.466E+07 8.221E+06 0 0 0
0.716 136.561 4.933E+07 4.933E+07 2.466E+07 8.221E+06 0 0 0
0.729 81.838 1.739E+07 1.739E+07 8.697E+06 2.899E+06 0 0 0
0.809 81.838 1.739E+07 1.739E+07 8.697E+06 2.899E+06 0 0 0
0.935 81.838 1.739E+07 1.739E+07 8.697E+06 2.899E+06 0 0 0
0.948 56.926 5.869E+06 5.869E+06 2.934E+06 9.781E+05 0 0 0
1.000 56.926 5.869E+06 5.869E+06 2.934E+06 9.781E+05 0 0 0
----- TOWER FORE-AFT MODE SHAPES -----
1.0495 TwFAM1Sh(2) - Mode 1, coefficient of x^2 term
0.0694 TwFAM1Sh(3) - , coefficient of x^3 term
-0.2890 TwFAM1Sh(4) - , coefficient of x^4 term
0.3003 TwFAM1Sh(5) - , coefficient of x^5 term
-0.1301 TwFAM1Sh(6) - , coefficient of x^6 term
-25.1012 TwFAM2Sh(2) - Mode 2, coefficient of x^2 term
20.1243 TwFAM2Sh(3) - , coefficient of x^3 term
0.9012 TwFAM2Sh(4) - , coefficient of x^4 term
16.6452 TwFAM2Sh(5) - , coefficient of x^5 term
-11.5696 TwFAM2Sh(6) - , coefficient of x^6 term
----- TOWER SIDE-TO-SIDE MODE SHAPES -----
1.0495 TwSSM1Sh(2) - Mode 1, coefficient of x^2 term
0.0694 TwSSM1Sh(3) - , coefficient of x^3 term
-0.2890 TwSSM1Sh(4) - , coefficient of x^4 term
0.3003 TwSSM1Sh(5) - , coefficient of x^5 term
-0.1301 TwSSM1Sh(6) - , coefficient of x^6 term
-25.1012 TwSSM2Sh(2) - Mode 2, coefficient of x^2 term
20.1243 TwSSM2Sh(3) - , coefficient of x^3 term
0.9012 TwSSM2Sh(4) - , coefficient of x^4 term
16.6452 TwSSM2Sh(5) - , coefficient of x^5 term
-11.5696 TwSSM2Sh(6) - , coefficient of x^6 term

```



FAST generator torque input file

RRPM and Torque (Nm) 25A V3

3.30	0.00	0.00
5.49	0.00	0.00
7.69	0.00	0.00
9.89	0.00	0.00
12.09	0.00	0.00
14.29	0.00	0.00
16.48	0.00	0.00
18.68	0.00	0.00
20.88	0.00	0.00
23.08	0.00	0.00
25.27	0.00	0.00
27.47	0.00	0.00
29.67	0.00	0.00
33.10	210.65	8.72
35.76	279.68	12.67
38.31	326.90	15.32
40.92	380.30	18.56
43.58	438.66	22.35
46.30	501.02	26.66
49.00	556.72	30.52
51.83	625.41	35.78
54.78	704.87	42.40
57.70	776.62	48.46
71.14	1806.68	228.09
74.52	1869.25	235.46
77.07	1869.40	227.67
79.62	1869.55	220.39
82.17	1869.69	213.55
84.71	1869.82	207.13
86.88	1844.42	195.67
88.68	1795.41	180.20
90.51	1748.84	166.31
92.37	1704.52	153.79
94.25	1662.31	142.50
96.15	1622.07	132.28
98.07	1583.67	123.01
100.00	1546.99	114.59
101.95	1511.92	106.92
103.91	1478.37	99.92
105.89	1446.24	93.52
107.88	1415.44	87.66
109.88	1385.90	82.28
111.89	1357.54	77.33
113.91	1330.29	72.77
115.93	1304.10	68.57
117.97	1278.90	64.69
120.01	1254.64	61.10
122.06	1231.26	57.77
124.12	1208.73	54.68
126.18	1187.00	51.81
200	600	0.00



10 Annex B: Airfoil data

This annex lists the airfoil data as applied in the EAZ-13.2 FAST model.

NACA4415

```
EAZ-13.2 file generated by bvis at 17-aug-2018
NACA4415 Rn 700000
1      Number of airfoil tables in this file
0      Table ID parameter
15.5   Stall angle (deg)
0      No longer used, enter zero
0      No longer used, enter zero
0      No longer used, enter zero
-4.70  Angle of attack for zero Cn for linear Cn curve (deg)
5.30   Cn slope for zero lift for linear Cn curve (1/rad)
1.38   Cn at stall value for positive angle of attack for linear Cn curve
-1.15  Cn at stall value for negative angle of attack for linear Cn curve
2.5    Angle of attack for minimum CD (deg)
0.0089 Zero lift drag
-180.000000    0.00000000    0.00000000    0.00000000    angle of attack, Cl, Cd, Cm
-175.000000    0.367300004    4.06999998E-02    3.12500000E-02
-170.000000    0.734600008    0.117299996    6.25000000E-02
-165.000000    0.692300022    0.224700004    9.37500000E-02
-160.000000    0.840200007    0.355300009    0.125000000
-155.000000    0.948899984    0.502099991    0.156250000
-150.000000    1.020300003    0.658900023    0.187500000
-145.000000    1.05659997    0.820599973    0.218750000
-140.000000    1.05999994    0.982100010    0.250000000
-135.000000    1.03310001    1.13929999    0.281250000
-130.000000    0.978500009    1.28849995    0.312500000
-125.000000    0.899200022    1.42649996    0.343750000
-120.000000    0.797999978    1.55030000    0.375000000
-115.000000    0.678099990    1.65760005    0.406250000
-110.000000    0.542599976    1.74660003    0.437500000
-105.000000    0.394800007    1.81550002    0.468750000
-100.000000    0.238000005    1.86319995    0.500000000
-95.0000000    7.54999965E-02    1.88900006    0.528499961
-90.0000000    -8.92999992E-02    1.89250004    0.556999981
-85.0000000    -0.252999991    1.87349999    0.537500024
-80.0000000    -0.412400007    1.83249998    0.518000007
-75.0000000    -0.564000010    1.77020001    0.493000001
-70.0000000    -0.704599977    1.68760002    0.467999995
-65.0000000    -0.831099987    1.58630002    0.437500000
-60.0000000    -0.940299988    1.46809995    0.407000005
-55.0000000    -1.02939999    1.33529997    0.370499998
-50.0000000    -1.09539998    1.19050002    0.333999991
-45.0000000    -1.13559997    1.03069997    0.294000000
-40.0000000    -1.14760005    0.857200027    0.250000000
-35.0000000    -1.12890005    0.678799987    0.192000002
-30.0000000    -1.05350006    0.504499972    0.136000007
-28.0000000    -1.00940001    0.438100010    0.111600004
-26.0000000    -0.960799992    0.374300003    8.72000009E-02
-24.0000000    -0.909200013    0.313899994    6.26000017E-02
-22.0000000    -0.855499983    0.257400006    3.78000028E-02
-20.0000000    -0.800999999    0.205400005    1.30000003E-02
-18.0000000    -0.747500002    0.158399999    -1.79999992E-02
-16.0000000    -0.699999988    0.117100000    -4.69999984E-02
-14.0000000    -0.709999979    8.17999989E-02    -7.10000023E-02
-13.5000000    -0.709999979    7.40000010E-02    -7.59999976E-02
-13.0000000    -0.709999979    6.66000023E-02    -8.01428556E-02
-12.5000000    -0.694999993    5.97000010E-02    -8.40714276E-02
-12.0000000    -0.680000007    5.31000011E-02    -8.79999995E-02
-11.5000000    -0.654999971    4.71000001E-02    -8.82499963E-02
-11.0000000    -0.629999995    4.14000005E-02    -8.85000005E-02
-10.5000000    -0.589999974    3.62000018E-02    -8.87500048E-02
-10.0000000    -0.550000012    3.15000005E-02    -8.90000015E-02
-9.50000000    -0.495000005    2.73000002E-02    -8.90000015E-02
-9.00000000    -0.439999998    2.36000009E-02    -8.90000015E-02
-8.50000000    -0.389999986    2.04000007E-02    -8.90000015E-02
-8.00000000    -0.340000004    1.75999999E-02    -8.90000015E-02
-7.50000000    -0.284999996    1.53000001E-02    -8.87500048E-02
-7.00000000    -0.230000004    1.36000002E-02    -8.85000005E-02
-6.50000000    -0.180000007    1.22999996E-02    -8.82499963E-02
-6.00000000    -0.129999995    1.15999999E-02    -8.79999995E-02
-5.50000000    -7.99999982E-02    1.10999998E-02    -8.74999985E-02
-5.00000000    -2.99999993E-02    1.07000005E-02    -8.69999975E-02
-4.50000000    1.99999996E-02    1.04000000E-02    -8.65000039E-02
-4.00000000    7.00000003E-02    1.00999996E-02    -8.60000029E-02
-3.50000000    0.119999997    9.99999978E-03    -8.57499987E-02
-3.00000000    0.170000002    9.99999978E-03    -8.55000019E-02
-2.50000000    0.215000004    9.89999995E-03    -8.52500051E-02
-2.00000000    0.259999990    9.80000012E-03    -8.50000009E-02
-1.50000000    0.310000002    9.70000029E-03    -8.44999999E-02
-1.00000000    0.360000014    9.70000029E-03    -8.39999989E-02
-0.50000000    0.405000001    9.49999969E-03    -8.34999979E-02
0.00000000    0.449999988    9.39999986E-03    -8.29999968E-02
0.50000000    0.500000000    9.30000003E-03    -8.27500001E-02
1.00000000    0.550000012    9.10000037E-03    -8.24999958E-02
1.50000000    0.595000029    8.99999961E-03    -8.22499990E-02
2.00000000    0.639999986    8.89999978E-03    -8.20000023E-02
2.50000000    0.685000002    8.89999978E-03    -8.17500055E-02
```



3.00000000	0.730000019	8.89999978E-03	-8.15000013E-02
3.50000000	0.769999981	8.99999961E-03	-8.12499970E-02
4.00000000	0.810000002	9.20000020E-03	-8.10000002E-02
4.50000000	0.850000024	9.60000046E-03	-7.99999982E-02
5.00000000	0.889999986	9.99999978E-03	-7.89999962E-02
5.50000000	0.930000007	1.04999999E-02	-7.80000016E-02
6.00000000	0.970000029	1.09999999E-02	-7.69999996E-02
6.50000000	1.005000000	1.15999999E-02	-7.64999986E-02
7.00000000	1.039999996	1.21999998E-02	-7.60000050E-02
7.50000000	1.075000005	1.27999997E-02	-7.55000040E-02
8.00000000	1.110000001	1.35000004E-02	-7.50000030E-02
8.50000000	1.134999999	1.40000004E-02	-7.37500042E-02
9.00000000	1.159999997	1.46000003E-02	-7.25000054E-02
9.50000000	1.190000006	1.51000004E-02	-7.12499991E-02
10.00000000	1.220000003	1.56999994E-02	-7.00000003E-02
10.50000000	1.245000000	1.64999999E-02	-6.94999993E-02
11.00000000	1.269999998	1.78999994E-02	-6.90000057E-02
11.50000000	1.289999996	1.97999999E-02	-6.85000047E-02
12.00000000	1.309999994	2.21999995E-02	-6.80000037E-02
12.50000000	1.330000004	2.52000000E-02	-6.65000007E-02
13.00000000	1.350000002	2.86999997E-02	-6.49999976E-02
13.50000000	1.360000001	3.28000002E-02	-6.39999956E-02
14.00000000	1.370000000	3.73999998E-02	-6.30000010E-02
14.50000000	1.375000000	4.27000001E-02	-6.19999990E-02
15.00000000	1.380000000	4.83999997E-02	-6.10000007E-02
15.50000000	1.380000000	5.46999983E-02	-6.04999997E-02
16.00000000	1.380000000	6.15000017E-02	-5.99999987E-02
16.50000000	1.375000000	6.88999966E-02	-6.04999997E-02
17.00000000	1.370000000	7.68999979E-02	-6.10000007E-02
17.50000000	1.355000002	8.54000002E-02	-6.54999986E-02
18.00000000	1.340000003	9.44999978E-02	-7.00000003E-02
18.50000000	1.327600000	0.104099996	-7.40000010E-02
19.00000000	1.316900001	0.114299998	-7.80000016E-02
19.50000000	1.306800001	0.125000000	-8.20000023E-02
20.00000000	1.297099995	0.136199996	-8.60000029E-02
20.50000000	1.287799995	0.147900000	-9.07500014E-02
21.00000000	1.278800001	0.160200000	-9.54999998E-02
21.50000000	1.270100000	0.172999993	-0.100249998
22.00000000	1.261600002	0.186199993	-0.104999997
24.00000000	1.230200005	0.244200006	-0.126333326
26.00000000	1.202499999	0.309300005	-0.147399992
28.00000000	1.179100004	0.380400002	-0.168200001
30.00000000	1.160799998	0.456699997	-0.188999996
32.00000000	1.149099995	0.536700010	-0.205400005
34.00000000	1.146900006	0.619099975	-0.221799999
36.00000000	1.157400001	0.702700019	-0.238800004
38.00000000	1.165799998	0.786099970	-0.256399989
40.00000000	1.169100005	0.868099988	-0.273999989
45.00000000	1.155599995	1.060999999	-0.310000002
50.00000000	1.113199995	1.228000004	-0.344999999
55.00000000	1.044499999	1.375900003	-0.379999995
60.00000000	0.952300012	1.511199995	-0.412000000
65.00000000	0.839399993	1.631500001	-0.441000015
70.00000000	0.709100008	1.734300002	-0.469999999
75.00000000	0.564300001	1.817800005	-0.493499994
80.00000000	0.408499986	1.880599998	-0.517000020
85.00000000	0.245000005	1.921399995	-0.432647079
90.00000000	7.71000013E-02	1.939499997	-0.421764702
95.00000000	-9.17000026E-02	1.934800003	-0.410882354
100.00000000	-0.257999986	1.907099996	-0.400000006
105.00000000	-0.418300003	1.856999999	-0.375000000
110.00000000	-0.569199979	1.785200000	-0.349999994
115.00000000	-0.707400024	1.693099998	-0.325000018
120.00000000	-0.829400003	1.582200005	-0.300000012
125.00000000	-0.932099998	1.454499996	-0.275000006
130.00000000	-1.012400003	1.312600002	-0.250000000
135.00000000	-1.067100005	1.159299997	-0.225000009
140.00000000	-1.093500002	0.998000026	-0.200000003
145.00000000	-1.088799995	0.832599998	-0.174999997
150.00000000	-1.050400002	0.667200029	-0.150000006
155.00000000	-0.976000011	0.507000029	-0.125000000
160.00000000	-0.863499999	0.357499987	-0.100000001
165.00000000	-0.710900009	0.224900007	-7.50000030E-02
170.00000000	-0.734600008	0.116200000	-5.00000007E-02
175.00000000	-0.367300004	3.95000018E-02	-2.50000004E-02
180.00000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000

angle of attack, C_l, C_d, C_m



NACA4418

EAZ-13.2 file generated by bvis at 17-aug-2018

NACA4418 Rn 1e6

```
1      Number of airfoil tables in this file
0      Table ID parameter
13.5   Stall angle (deg)
0      No longer used, enter zero
0      No longer used, enter zero
0      No longer used, enter zero
-4.40  Angle of attack for zero Cn for linear Cn curve (deg)
5.30   Cn slope for zero lift for linear Cn curve (1/rad)
1.32   Cn at stall value for positive angle of attack for linear Cn curve
-1.15  Cn at stall value for negative angle of attack for linear Cn curve
2.5    Angle of attack for minimum CD (deg)
0.009  Zero lift drag
-180.000000  0.00000000  0.00000000  0.00000000  angle of attack, Cl, Cd, Cm
-175.000000  0.314999998  4.27000001E-02  2.85714287E-02
-170.000000  0.629999995  0.120600000  5.71428575E-02
-165.000000  0.686299980  0.228900000  8.57142881E-02
-160.000000  0.832199991  0.359800011  0.114285715
-155.000000  0.939100027  0.506600022  0.142857149
-150.000000  1.008900005  0.663100004  0.171428576
-145.000000  1.04359996  0.824000001  0.200000003
-140.000000  1.04569995  0.984600008  0.228571430
-135.000000  1.01769996  1.14059997  0.257142872
-130.000000  0.962300003  1.28849995  0.285714298
-125.000000  0.882300019  1.42490005  0.314285725
-120.000000  0.780799985  1.54719996  0.342857152
-115.000000  0.660799980  1.65289998  0.371428579
-110.000000  0.525399983  1.74020004  0.400000006
-105.000000  0.377900004  1.80750000  0.439249992
-100.000000  0.221699998  1.85370004  0.478500009
-95.0000000  5.99999987E-02  1.87810004  0.517749965
-90.0000000  -0.103799999  1.88020003  0.556999981
-85.0000000  -0.266400009  1.86000001  0.537500024
-80.0000000  -0.424400002  1.81799996  0.518000007
-75.0000000  -0.574599981  1.75479996  0.493000001
-70.0000000  -0.713699996  1.67170000  0.467999995
-65.0000000  -0.838599980  1.57000005  0.437500000
-60.0000000  -0.946200013  1.45159996  0.407000005
-55.0000000  -1.03369999  1.31889999  0.370499998
-50.0000000  -1.09809995  1.17449999  0.333999991
-45.0000000  -1.13689995  1.01580000  0.294000000
-40.0000000  -1.14750004  0.819199979  0.250000000
-35.0000000  -1.12769997  0.579299986  0.192000002
-30.0000000  -1.07190001  0.391499996  0.136000007
-28.0000000  -1.04130006  0.326000005  0.111600004
-26.0000000  -1.00870001  0.263500005  8.72000009E-02
-24.0000000  -0.975600004  0.202299997  6.26000017E-02
-22.0000000  -0.942099988  0.149100006  3.78000028E-02
-20.0000000  -0.908900023  0.104400001  1.30000003E-02
-18.0000000  -0.877300024  6.85999990E-02  -1.79999992E-02
-16.0000000  -0.850300014  4.17999998E-02  -4.69999984E-02
-14.0000000  -0.848200023  2.38000005E-02  -7.10000023E-02
-13.5000000  -0.863900006  2.07000002E-02  -7.59999976E-02
-13.0000000  -0.859799981  1.82000007E-02  -8.01428556E-02
-12.5000000  -0.838000000  1.61000006E-02  -8.40714276E-02
-12.0000000  -0.801800013  1.46000003E-02  -8.79999995E-02
-11.5000000  -0.755900025  1.35000004E-02  -8.82499963E-02
-11.0000000  -0.702300012  1.29000004E-02  -8.85000005E-02
-10.5000000  -0.644200027  1.27999997E-02  -8.87500048E-02
-10.0000000  -0.585300028  1.26999998E-02  -8.90000015E-02
-9.50000000  -0.527599990  1.26000000E-02  -8.90000015E-02
-9.00000000  -0.471599996  1.20999999E-02  -8.90000015E-02
-8.50000000  -0.415800005  1.16999997E-02  -8.90000015E-02
-8.00000000  -0.361900002  1.13000004E-02  -8.90000015E-02
-7.50000000  -0.308999985  1.09000001E-02  -8.87500048E-02
-7.00000000  -0.257099986  1.07000005E-02  -8.85000005E-02
-6.50000000  -0.206300005  1.04000000E-02  -8.82499963E-02
-6.00000000  -0.156299993  1.00999996E-02  -8.79999995E-02
-5.50000000  -0.106399998  9.89999995E-03  -8.74999985E-02
-5.00000000  -5.75000010E-02  9.70000029E-03  -8.69999975E-02
-4.50000000  -9.30000003E-03  9.60000046E-03  -8.65000039E-02
-4.00000000  3.88999991E-02  9.39999986E-03  -8.60000029E-02
-3.50000000  8.69999975E-02  9.30000003E-03  -8.57499987E-02
-3.00000000  0.135199994  9.30000003E-03  -8.55000019E-02
-2.50000000  0.183799997  9.20000020E-03  -8.52500051E-02
-2.00000000  0.232500002  9.20000020E-03  -8.50000009E-02
-1.50000000  0.280600011  9.20000020E-03  -8.44999999E-02
-1.00000000  0.328700006  9.20000020E-03  -8.39999989E-02
-0.50000000  0.366299987  9.20000020E-03  -8.34999979E-02
0.00000000  0.403899997  9.20000020E-03  -8.29999968E-02
0.50000000  0.454800010  9.20000020E-03  -8.27500001E-02
1.00000000  0.504700005  9.10000037E-03  -8.24999958E-02
1.50000000  0.550899982  9.10000037E-03  -8.22499990E-02
2.00000000  0.595600009  8.99999961E-03  -8.20000023E-02
2.50000000  0.640799999  8.99999961E-03  -8.17500055E-02
3.00000000  0.688000023  8.99999961E-03  -8.15000013E-02
3.50000000  0.734600008  9.10000037E-03  -8.12499970E-02
4.00000000  0.780600011  9.30000003E-03  -8.10000002E-02
4.50000000  0.825399995  9.70000029E-03  -7.99999982E-02
5.00000000  0.869199991  9.89999995E-03  -7.89999962E-02
5.50000000  0.912000000  1.02000004E-02  -7.80000016E-02
```



6.00000000	0.953199983	1.05999997E-02	-7.69999996E-02
6.50000000	0.993300021	1.10999998E-02	-7.64999986E-02
7.00000000	1.03199995	1.16999997E-02	-7.60000050E-02
7.50000000	1.06930006	1.22999996E-02	-7.55000040E-02
8.00000000	1.10490000	1.31000001E-02	-7.50000030E-02
8.50000000	1.13859999	1.40000004E-02	-7.37500042E-02
9.00000000	1.17040002	1.51000004E-02	-7.25000054E-02
9.50000000	1.19990003	1.63000003E-02	-7.12499991E-02
10.00000000	1.22720003	1.77999996E-02	-7.00000003E-02
10.50000000	1.25179994	1.96000002E-02	-6.94999993E-02
11.00000000	1.27289999	2.17000004E-02	-6.90000057E-02
11.50000000	1.29089999	2.41000000E-02	-6.85000047E-02
12.00000000	1.30480003	2.70000007E-02	-6.80000037E-02
12.50000000	1.31500006	3.04000005E-02	-6.65000007E-02
13.00000000	1.32169998	3.42999995E-02	-6.49999976E-02
13.50000000	1.32389998	3.90000008E-02	-6.39999956E-02
14.00000000	1.32389998	4.41999994E-02	-6.30000010E-02
14.50000000	1.32099998	5.02999984E-02	-6.19999990E-02
15.00000000	1.31529999	5.70000000E-02	-6.10000007E-02
15.50000000	1.30840003	6.40999973E-02	-6.04999997E-02
16.00000000	1.30040002	7.19999969E-02	-5.99999987E-02
16.50000000	1.29050004	7.99999982E-02	-6.04999997E-02
17.00000000	1.27460003	8.82999972E-02	-6.10000007E-02
17.50000000	1.25720000	9.70999971E-02	-6.54999986E-02
18.00000000	1.24800003	0.105200000	-7.00000003E-02
18.50000000	1.23199999	0.114900000	-7.40000010E-02
19.00000000	1.22660005	0.122800000	-7.80000016E-02
19.50000000	1.21850002	0.131699994	-8.20000023E-02
20.00000000	1.20439994	0.141800001	-8.60000029E-02
20.50000000	1.20790005	0.149100006	-9.07500014E-02
21.00000000	1.20420003	0.157700002	-9.54999998E-02
21.50000000	1.19190001	0.168099999	-0.100249998
22.00000000	1.19330005	0.174899995	-0.104999997
24.00000000	1.20529997	0.207800001	-0.126333326
26.00000000	1.21210003	0.236900002	-0.147399992
28.00000000	1.20770001	0.269199997	-0.168200001
30.00000000	1.19410002	0.309300005	-0.188999996
32.00000000	1.17729998	0.361299992	-0.205400005
34.00000000	1.16299999	0.432000011	-0.221799999
36.00000000	1.15730000	0.531400025	-0.238800004
38.00000000	1.16310000	0.661099970	-0.256399989
40.00000000	1.16670001	0.793200016	-0.273999989
45.00000000	1.15409994	1.04229999	-0.310000002
50.00000000	1.11269999	1.21529996	-0.344999999
55.00000000	1.04509997	1.36259997	-0.379999995
60.00000000	0.954100013	1.49769998	-0.412000000
65.00000000	0.842499971	1.61780000	-0.441000015
70.00000000	0.713400006	1.72070003	-0.469999999
75.00000000	0.569999993	1.80439997	-0.493499994
80.00000000	0.415399998	1.86749995	-0.517000020
85.00000000	0.252999991	1.90890002	-0.487750024
90.00000000	8.61999989E-02	1.92780006	-0.458500028
95.00000000	-8.16999972E-02	1.92390001	-0.429250002
100.00000000	-0.247099996	1.89719999	-0.400000006
105.00000000	-0.406699985	1.84819996	-0.375000000
110.00000000	-0.557099998	1.77760005	-0.349999994
115.00000000	-0.694899976	1.68669999	-0.325000018
120.00000000	-0.816799998	1.57700002	-0.300000012
125.00000000	-0.919499993	1.45060003	-0.275000006
130.00000000	-1.00000000	1.30990005	-0.250000000
135.00000000	-1.05519998	1.15779996	-0.225000009
140.00000000	-1.08220005	0.997600019	-0.200000003
145.00000000	-1.07830000	0.833100021	-0.174999997
150.00000000	-1.04100001	0.668500006	-0.150000006
155.00000000	-0.967800021	0.508899987	-0.125000000
160.00000000	-0.856700003	0.359699994	-0.100000001
165.00000000	-0.705699980	0.227100000	-7.50000030E-02
170.00000000	-0.629999995	0.118100002	-5.00000007E-02
175.00000000	-0.314999998	4.06999998E-02	-2.50000004E-02
180.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000

angle of attack, Cl, Cd, Cm



ROOT

EAZ-13.2 file generated by bvis at 17-aug-2018
ROOT Rn 700000
1 Number of airfoil tables in this file
0 Table ID parameter
10 Stall angle (deg)
0 No longer used, enter zero
0 No longer used, enter zero
0 No longer used, enter zero
-5 Angle of attack for zero Cn for linear Cn curve (deg)
0.1 Cn slope for zero lift for linear Cn curve (1/rad)
0.1 Cn at stall value for positive angle of attack for linear Cn curve
0.1 Cn at stall value for negative angle of attack for linear Cn curve
0 Angle of attack for minimum CD (deg)
0.6 Zero lift drag
-180 0 0.6 0.0 angle of attack, Cl, Cd, Cm
0 0 0.6 0.0
180 0 0.6 0.0 angle of attack, Cl, Cd, Cm

TAIL

EAZ-13.2 file generated by bvis at 17-aug-2018
tail Rn 700000
1 Number of airfoil tables in this file
0 Table ID parameter
45 Stall angle (deg)
0 No longer used, enter zero
0 No longer used, enter zero
0 No longer used, enter zero
0.0 Angle of attack for zero Cn for linear Cn curve (deg)
1.0 Cn slope for zero lift for linear Cn curve (1/rad)
1.0 Cn at stall value for positive angle of attack for linear Cn curve
-1.0 Cn at stall value for negative angle of attack for linear Cn curve
0.0 Angle of attack for minimum CD (deg)
0.0 Zero lift drag
-180 0.0000 2.0000 0.0 angle of attack, Cl, Cd
-170 -0.1736 1.9848 0.0
-160 -0.3420 1.9397 0.0
-150 -0.5000 1.8660 0.0
-140 -0.6428 1.7660 0.0
-130 -0.7660 1.6428 0.0
-120 -0.8660 1.5000 0.0
-110 -0.9397 1.3420 0.0
-100 -0.9848 1.1736 0.0
-90 -1.0000 1.0000 0.0
-80 -0.9848 0.8264 0.0
-70 -0.9397 0.6580 0.0
-60 -0.8660 0.5000 0.0
-50 -0.7660 0.3572 0.0
-40 -0.6428 0.2340 0.0
-30 -0.5000 0.1340 0.0
-20 -0.3420 0.0603 0.0
-10 -0.1736 0.0152 0.0
0 0.0000 0.0000 0.0
10 0.1736 0.0152 0.0
20 0.3420 0.0603 0.0
30 0.5000 0.1340 0.0
40 0.6428 0.2340 0.0
50 0.7660 0.3572 0.0
60 0.8660 0.5000 0.0
70 0.9397 0.6580 0.0
80 0.9848 0.8264 0.0
90 1.0000 1.0000 0.0
100 0.9848 1.1736 0.0
110 0.9397 1.3420 0.0
120 0.8660 1.5000 0.0
130 0.7660 1.6428 0.0
140 0.6428 1.7660 0.0
150 0.5000 1.8660 0.0
160 0.3420 1.9397 0.0
170 0.1736 1.9848 0.0
180 0.0000 2.0000 0.0



11 Annex C: Pitch system input files

The pitch system spring values are listed in Table 12.

Pitch angle [deg]	Spring moment [Nm]
-2	276
0	276
6	276
12	276
20	255
25	240
30	75
36	75
48	75
70	75
92	75

Table 12: pitch system spring moment (summed for 3 blades)

The pitch system damping is listed in Table 13.

Pitch speed [deg/s]	Damping moment to vane [Nm/deg/s]	Damping moment to fine [Nm/deg/s]
0.0	0.0	0.0
0.5	10.2	10.8
1.0	18.8	23.0
1.5	25.6	34.6
2.0	30.0	46.8
2.5	34.0	59.8
5.0	50.4	129.6
7.5	64.8	208.8
10.0	81.6	309.6

Table 13: pitch system damping (summed for 3 blades)



12 Annex D: Electrical brake torque

The electrical brake torque depends on the generator rpm as shown below:

Generator speed [rpm]	P [kW]	Tbrake [kNm]
20	9.10	4.34
30	18.20	5.79
40	27.80	6.64
50	36.70	7.01
60	44.40	7.07
70	51.00	6.96
80	56.40	6.73
90	60.50	6.42
100	64.30	6.14
110	67.50	5.86
120	70.20	5.59

Table 14: electrical brake torque



13 Annex E: Load case files

1	vh02_s1.out	41	vh14_s5.out	81	EOG50_10.out	121	EOG1_02c.out	161	EOG1_24c.out
2	vh02_s2.out	42	vh14_s6.out	82	EOG50_12.out	122	EOG1_02d.out	162	EOG1_24d.out
3	vh02_s3.out	43	vh16_s1.out	83	EOG50_14.out	123	EOG1_04a.out	163	NWP_08_stop1.out
4	vh02_s4.out	44	vh16_s2.out	84	EOG50_16.out	124	EOG1_04b.out	164	NWP_08_stop2.out
5	vh02_s5.out	45	vh16_s3.out	85	EOG50_18.out	125	EOG1_04c.out	165	NWP_08_stop3.out
6	vh02_s6.out	46	vh16_s4.out	86	EOG50_20.out	126	EOG1_04d.out	166	NWP_08_stop4.out
7	vh04_s1.out	47	vh16_s5.out	87	EOG50_22.out	127	EOG1_06a.out	167	NWP_12_stop1.out
8	vh04_s2.out	48	vh16_s6.out	88	EOG50_24.out	128	EOG1_06b.out	168	NWP_12_stop2.out
9	vh04_s3.out	49	vh18_s1.out	89	EDC50_02a.out	129	EOG1_06c.out	169	NWP_12_stop3.out
10	vh04_s4.out	50	vh18_s2.out	90	EDC50_02b.out	130	EOG1_06d.out	170	NWP_12_stop4.out
11	vh04_s5.out	51	vh18_s3.out	91	EDC50_04a.out	131	EOG1_08a.out	171	NWP_16_stop1.out
12	vh04_s6.out	52	vh18_s4.out	92	EDC50_04b.out	132	EOG1_08b.out	172	NWP_16_stop2.out
13	vh06_s1.out	53	vh18_s5.out	93	EDC50_06a.out	133	EOG1_08c.out	173	NWP_16_stop3.out
14	vh06_s2.out	54	vh18_s6.out	94	EDC50_06b.out	134	EOG1_08d.out	174	NWP_16_stop4.out
15	vh06_s3.out	55	vh20_s1.out	95	EDC50_08a.out	135	EOG1_10a.out	175	NWP_20_stop1.out
16	vh06_s4.out	56	vh20_s2.out	96	EDC50_08b.out	136	EOG1_10b.out	176	NWP_20_stop2.out
17	vh06_s5.out	57	vh20_s3.out	97	EDC50_10a.out	137	EOG1_10c.out	177	NWP_20_stop3.out
18	vh06_s6.out	58	vh20_s4.out	98	EDC50_10b.out	138	EOG1_10d.out	178	NWP_20_stop4.out
19	vh08_s1.out	59	vh20_s5.out	99	EDC50_12a.out	139	EOG1_12a.out	179	NWP_24_stop1.out
20	vh08_s2.out	60	vh20_s6.out	100	EDC50_12b.out	140	EOG1_12b.out	180	NWP_24_stop2.out
21	vh08_s3.out	61	vh24_s1.out	101	EDC50_14a.out	141	EOG1_12c.out	181	NWP_24_stop3.out
22	vh08_s4.out	62	vh24_s2.out	102	EDC50_14b.out	142	EOG1_12d.out	182	NWP_24_stop4.out
23	vh08_s5.out	63	vh24_s3.out	103	EDC50_16a.out	143	EOG1_14a.out	183	EWM_42.out
24	vh08_s6.out	64	vh24_s4.out	104	EDC50_16b.out	144	EOG1_14b.out	184	EWM_32.out
25	vh10_s1.out	65	vh24_s5.out	105	EDC50_18a.out	145	EOG1_14c.out		
26	vh10_s2.out	66	vh24_s6.out	106	EDC50_18b.out	146	EOG1_14d.out		
27	vh10_s3.out	67	ECD_02a.out	107	EDC50_20a.out	147	EOG1_16a.out		
28	vh10_s4.out	68	ECD_02b.out	108	EDC50_20b.out	148	EOG1_16b.out		
29	vh10_s5.out	69	ECD_04a.out	109	EDC50_22a.out	149	EOG1_16c.out		
30	vh10_s6.out	70	ECD_04b.out	110	EDC50_22b.out	150	EOG1_16d.out		
31	vh12_s1.out	71	ECD_06a.out	111	EDC50_24a.out	151	EOG1_18a.out		
32	vh12_s2.out	72	ECD_06b.out	112	EDC50_24b.out	152	EOG1_18b.out		
33	vh12_s3.out	73	ECD_08a.out	113	NCG_08_OS.out	153	EOG1_18c.out		
34	vh12_s4.out	74	ECD_08b.out	114	NCG_10_OS.out	154	EOG1_18d.out		
35	vh12_s5.out	75	ECD_10a.out	115	NCG_12_OS.out	155	EOG1_20a.out		
36	vh12_s6.out	76	ECD_10b.out	116	NCG_18_OS.out	156	EOG1_20b.out		
37	vh14_s1.out	77	EOG50_02.out	117	NCG_18_OS.out	157	EOG1_20c.out		
38	vh14_s2.out	78	EOG50_04.out	118	NCG_18_OS.out	158	EOG1_20d.out		
39	vh14_s3.out	79	EOG50_06.out	119	EOG1_02a.out	159	EOG1_24a.out		
40	vh14_s4.out	80	EOG50_08.out	120	EOG1_02b.out	160	EOG1_24b.out		

Table 15: list of load cases



14 Annex F: Occurrence file

The list below shows the occurrence of each fatigue load case in 20 years, based on Rayleigh distribution and simulations of 600 [sec].

1	31255.16	37	3097.042
2	31255.16	38	3097.042
3	31255.16	39	3097.042
4	31255.16	40	3097.042
5	31255.16	41	3097.042
6	31255.16	42	3097.042
7	42449.15	43	973.8452
8	42449.15	44	973.8452
9	42449.15	45	973.8452
10	42449.15	46	973.8452
11	42449.15	47	973.8452
12	42449.15	48	973.8452
13	41420.07	49	253.7449
14	41420.07	50	253.7449
15	41420.07	51	253.7449
16	41420.07	52	253.7449
17	41420.07	53	253.7449
18	41420.07	54	253.7449
19	30247.44	55	54.96542
20	30247.44	56	54.96542
21	30247.44	57	54.96542
22	30247.44	58	54.96542
23	30247.44	59	54.96542
24	30247.44	60	54.96542
25	17434.72	61	11.41613
26	17434.72	62	11.41613
27	17434.72	63	11.41613
28	17434.72	64	11.41613
29	17434.72	65	11.41613
30	17434.72	66	11.41613
31	8122.233		
32	8122.233		
33	8122.233		
34	8122.233		
35	8122.233		
36	8122.233		

Table 16: occurrences of fatigue load cases



15 Annex F: DLC 7.1

DLC 7.1 considers the loads during transport, assembly, maintenance and repair.

The transport is such that the loads at all components are low. All parts are well supported. Maintenance and repair is done without loading of the turbine. The nacelle is reached by a cherry picker (hydraulic hoist).

During assembly the tower and nacelle are tilted from horizontal to vertical position. This is done with a hydraulic tool that clamps the lower tower section. The loads at the tower are calculated for the horizontal position, using the masses and the cog positions from the solid works model, relative to tower bottom. The masses and cog positions are listed below. The loads include a dynamic amplification factor of 2.0, according to ref. (1).

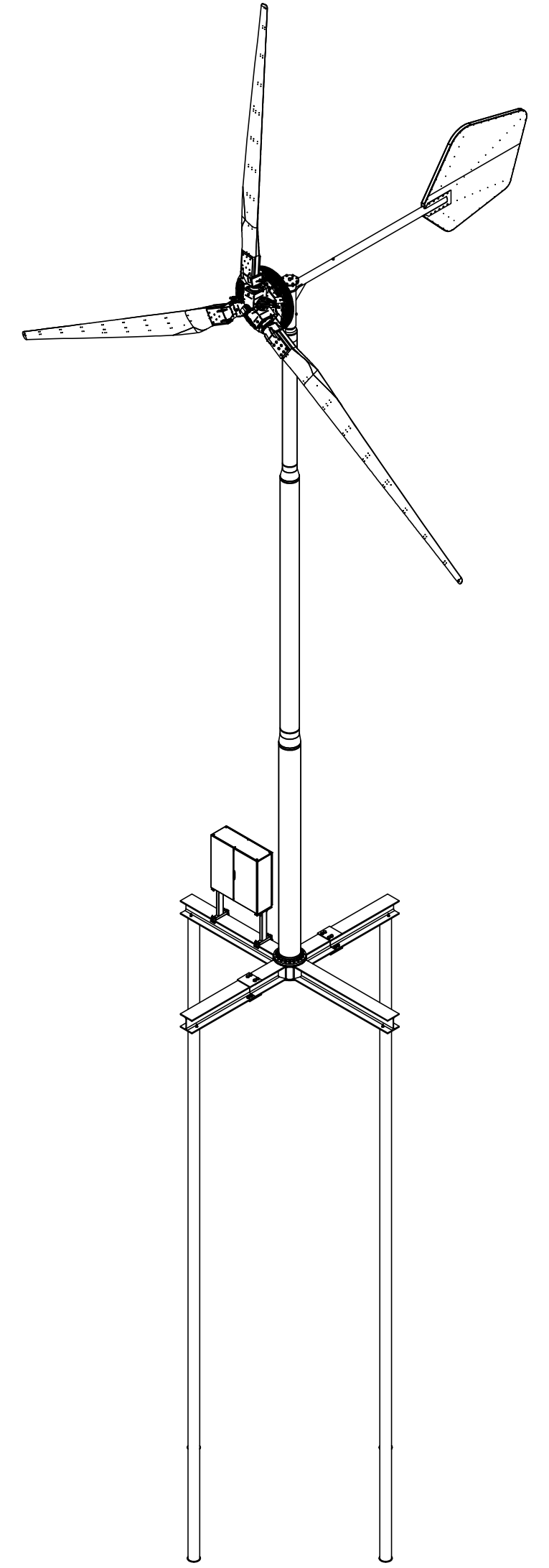
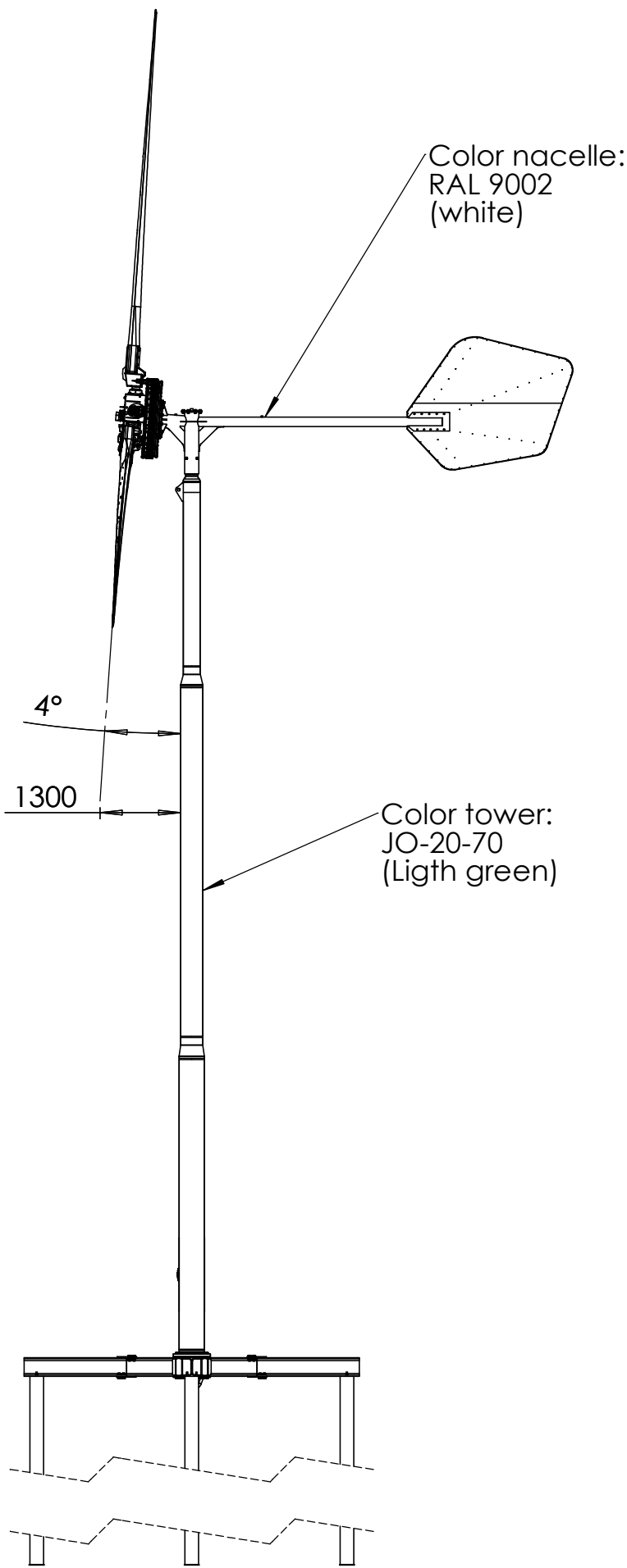
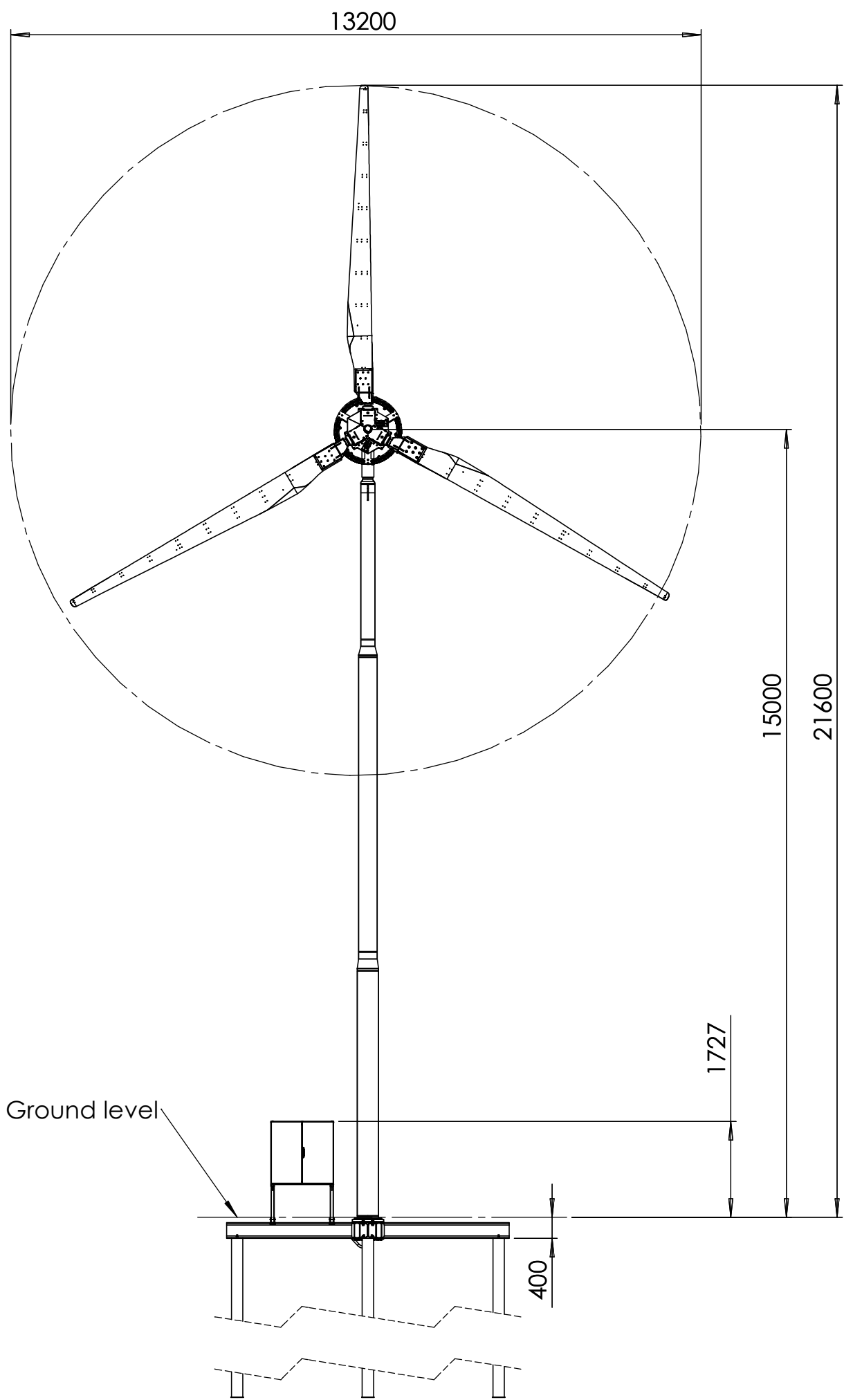
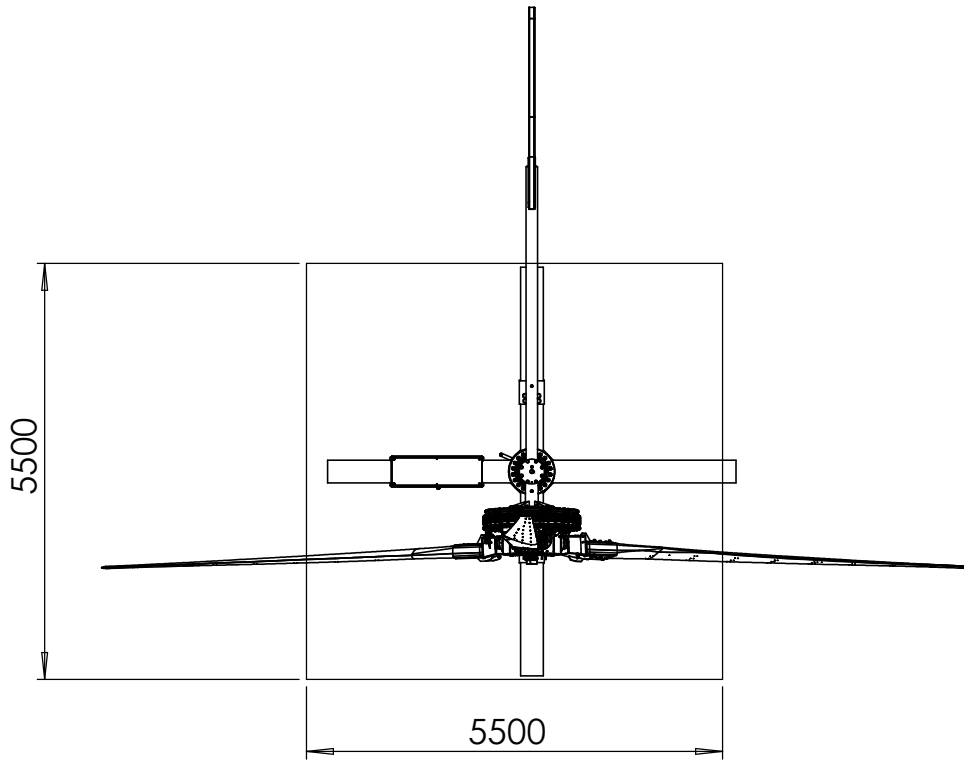
Component	Mass [kg]	C.o.g. [m]
Bottom flange	58.71	0.027
Section 1	889.44	2.445
Reducer 1	51.91	4.969
Section 2	749.94	7.978
Reducer 2	34.2	10.947
Section 3	239.21	12.632
Reducer 3	8.72	14.164
Section 4	55.03	14.734
Nacelle + Rotor	1400	15.200

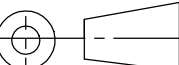
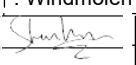
Table 17: component mass and cog

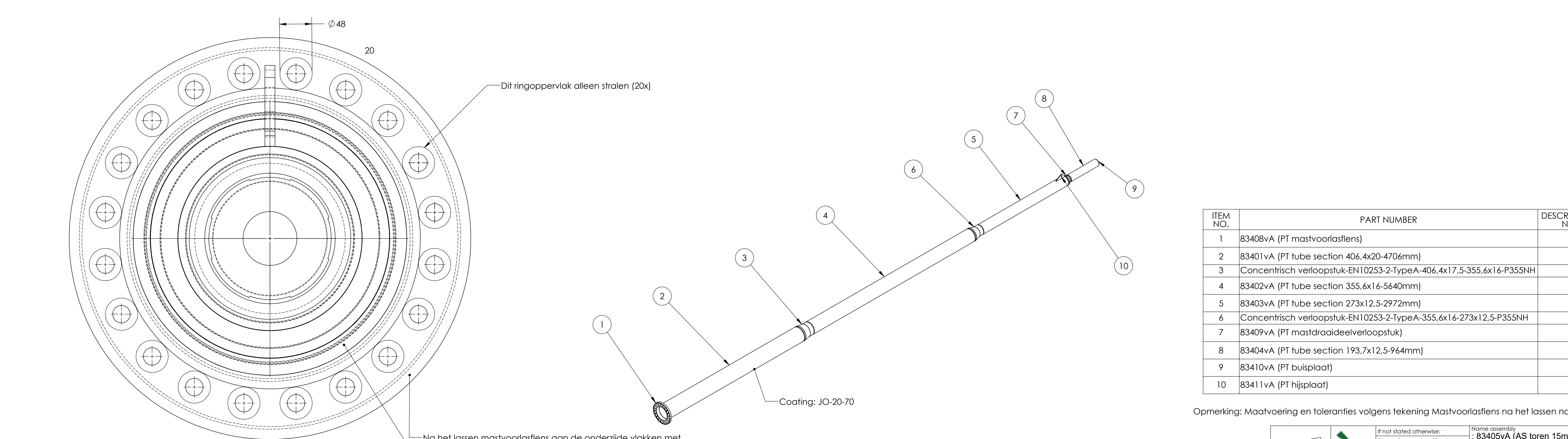
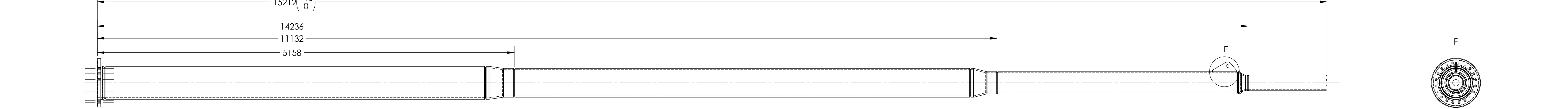
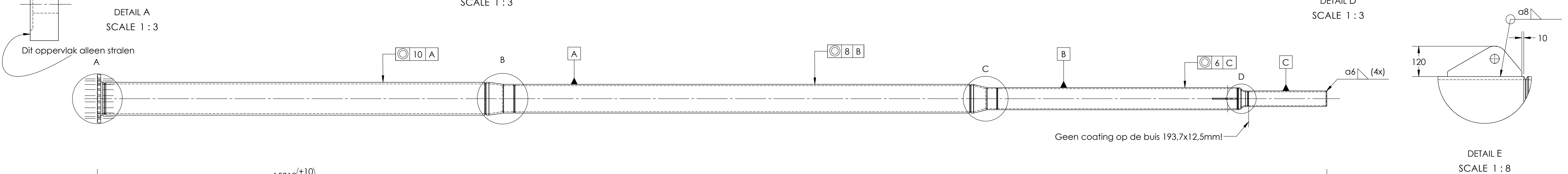
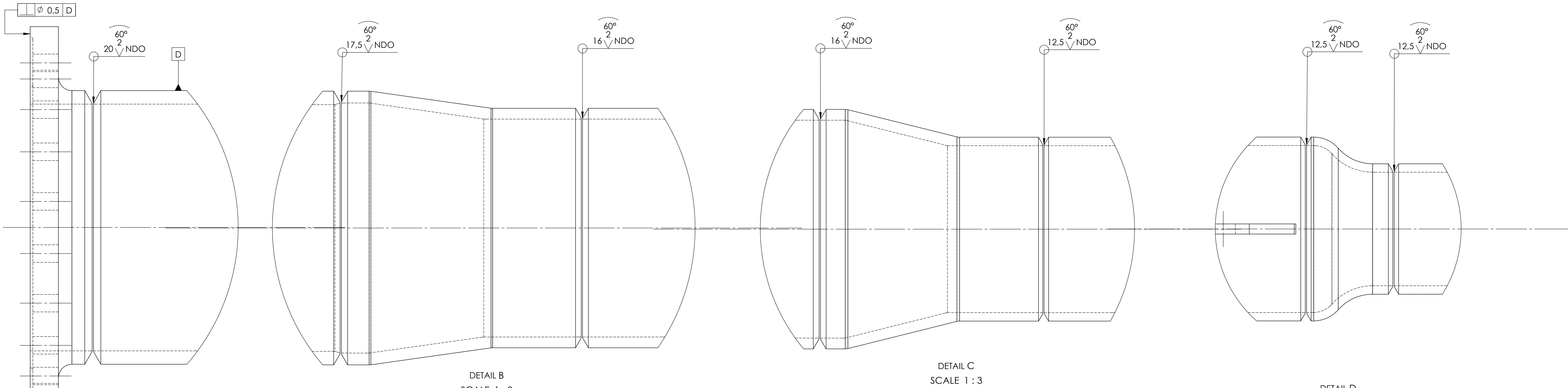
Position	height [m]	Bending moment [kNm]
Hoist support	3.149	468.06
Conical Transition	5.024	374.71
Upper weld	5.156	368.27
Conical Transition	11.006	127.40
Upper weld	11.13	123.25
Conical Transition	14.204	27.93
Upper weld	14.234	27.07

Table 18: bending moment during installation



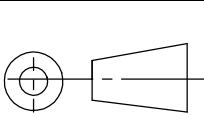


 Third Angle projection	 EAZ Wind info@eazwind.nl	If not stated otherwise: Dimensions are in millimeters Tolerance: +/- 10		Name assembly 83103vA (AS Overview EAZ - 13,2 Tower 15m pile foundation	
		Material :	Size : A2	Subject: Windturbine EAZ - 13,2	
		Date : 08/06/2021	Scale : 1:100	Windmolen EAZ - 13,2	
		Remarks	Approved by 	Weight (kg): 11479.56	
			Drawn :	Version : A	



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTIO N	
1	83408vA (PT mastvoortasflens)		1
2	83401vA (PT tube section 406,4x20-4706mm)		1
3	Concentrisch verloopstuk-EN10253-2-TypeA-406,4x17,5-355,6x16-P355NH		1
4	83402vA (PT tube section 355,6x16-5640mm)		1
5	83403vA (PT tube section 273x12,5-2972mm)		1
6	Concentrisch verloopstuk-EN10253-2-TypeA-355,6x16-273x12,5-P355NH		1
7	83409vA (PT mastdraaideelverloopstuk)		1
8	83404vA (PT tube section 193,7x12,5-964mm)		1
9	83410vA (PT buisplaat)		1
10	83411vA (PT hijsplaat)		1

Opmerking: Maatvoering en toleranties volgens tekening Mastvoortasflens na het lassen nameten!



Third Angle projection

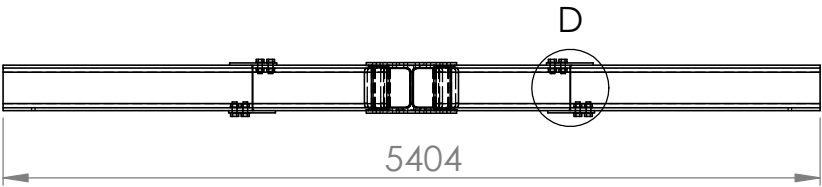
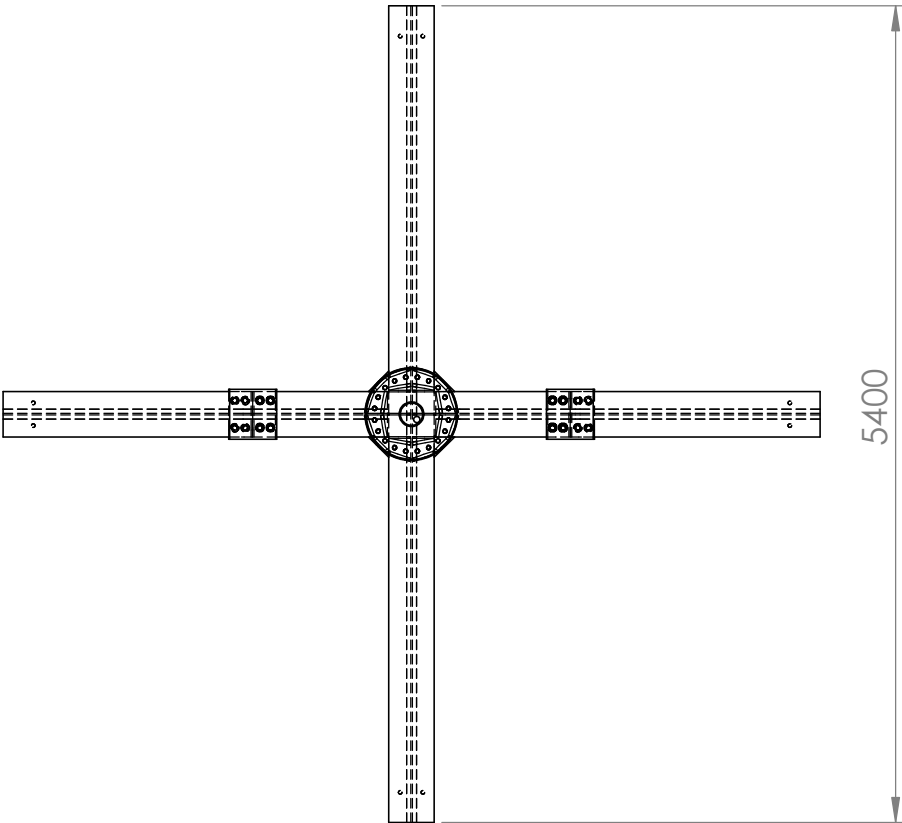


EAZ Wind
info@eazwind.nl

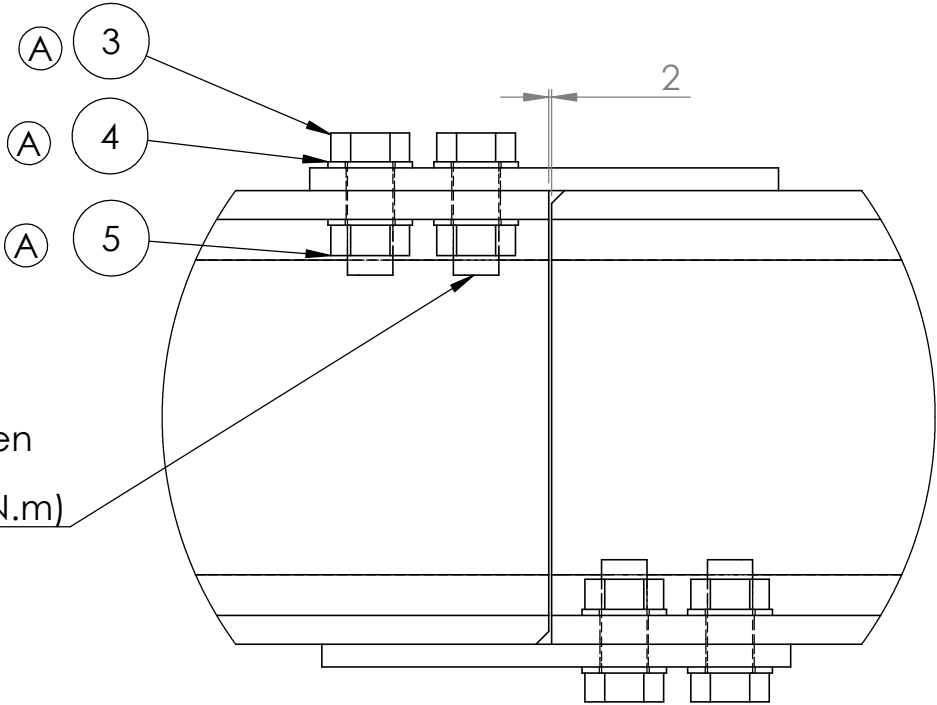
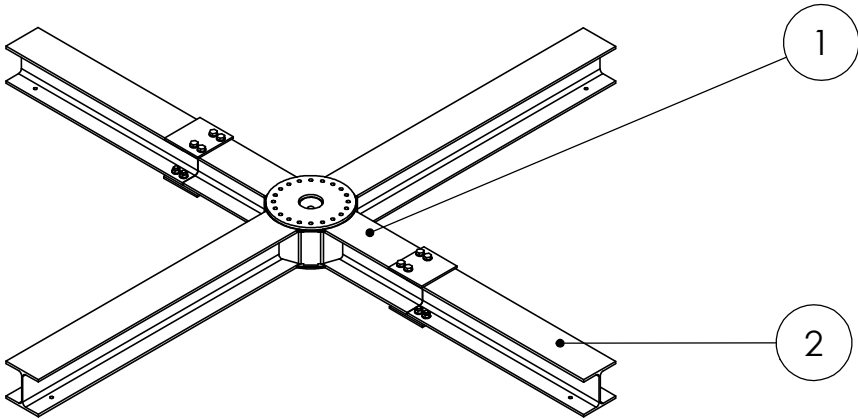
If not stated otherwise:
Dimensions are in millimeters
Tolerance: +/- 1

Material :	Size : A1	Subject: EAZ-13.2
Date : 08/06/2021	Scale : 1:25	Scale : 83405vA (AS tower 15m)
Remarks : NEN 1090-2 EXC 3	Approved by :	Weight [kg] : 2087757
	Drawn :	Version : A

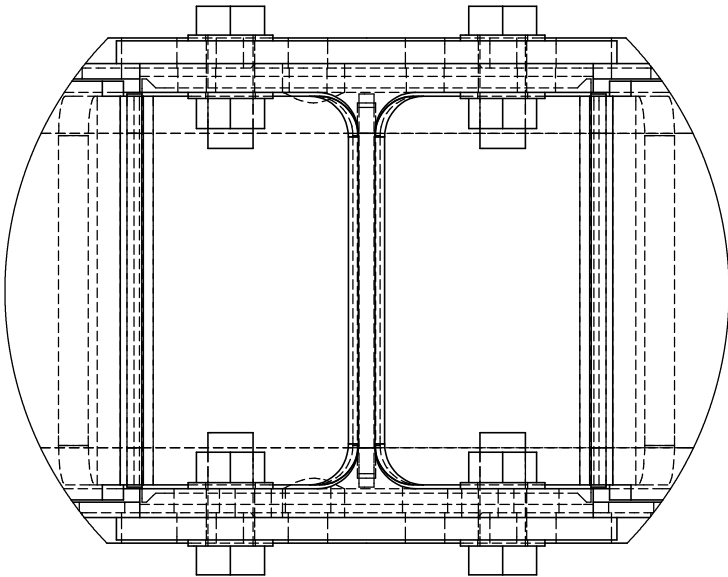
REVISIONS				
ZONE	REV.	DESCRIPTION	DATE	APPROVED
F4	A	M20 bout,moer en ring vervangen voor M30 bout, moer en ring	28/02/2019	



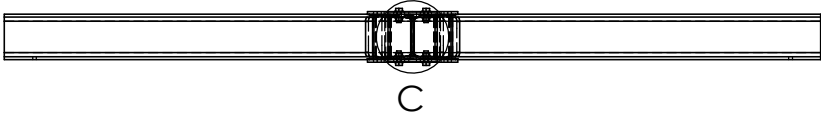
16 x M30 voorspankracht bouten
Kwaliteit 10.9
voorspankracht: 250 kN (1500 N.m)



DETAIL D
SCALE 1 : 5



DETAIL C
SCALE 1 : 5



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Lassamenstelling funderingkruis 15m EAZ-13,2		1
2	HooAssFunderingHkoppelbalk		2
3	HooFunderingM30bout-75mm10.9		16
4	HooFunderingM30sluitering10.9		32
5	HooFunderingM30moer10.9		16

Third Angle projection

FAZ WIND

EAZ Wind
info@eazwind.nl

If not stated otherwise:
Dimensions are in millimeters
Tolerance: +- 1

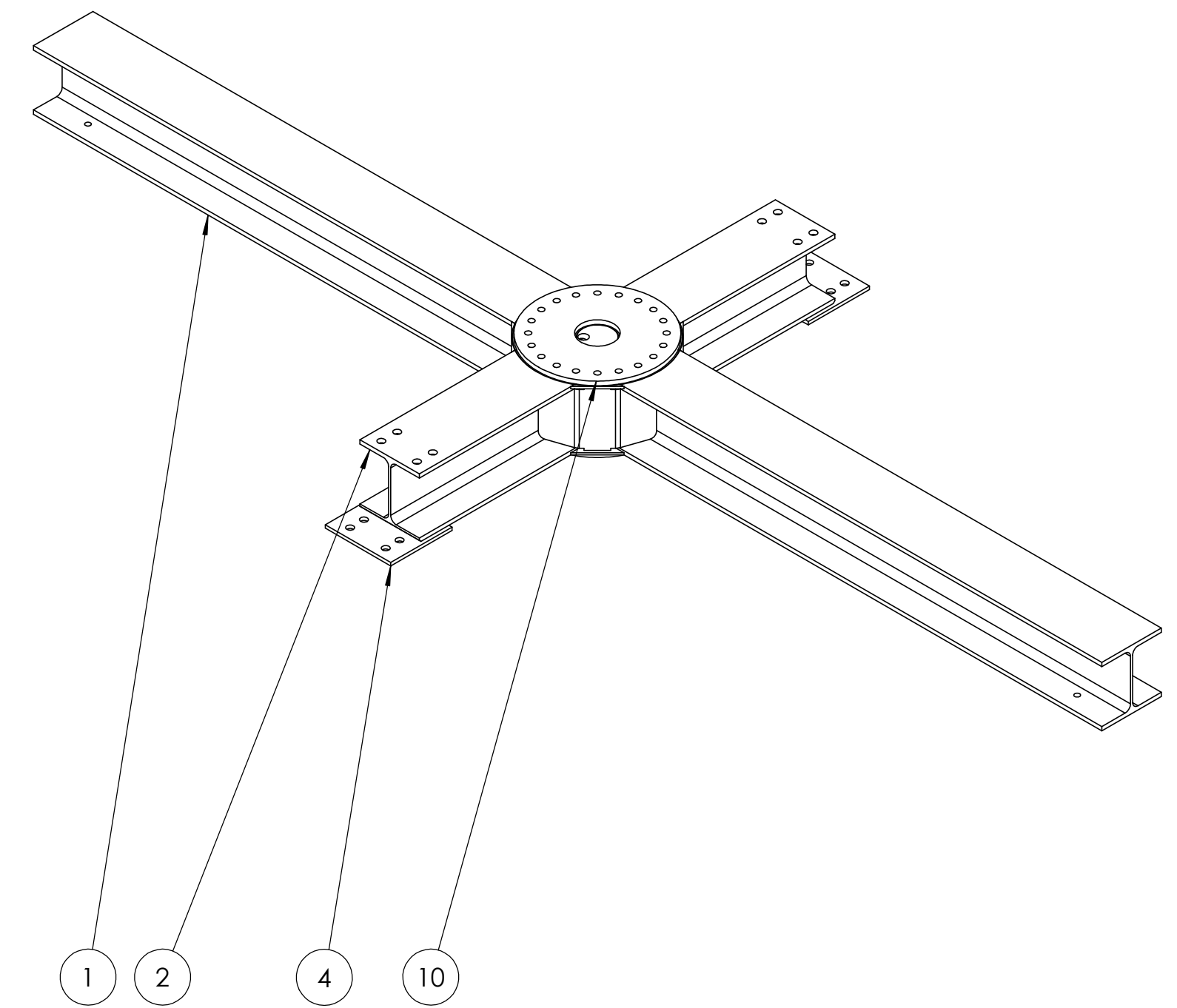
Material

Date: 22/02/2019

Remarks :

Name assembly / part
: 83502 Montage H-balkverbinding
v20201207

Size : A3	Subject:Fundering 15m mast
Scale : 1:50	: 83502 HooAssFunderingHbalken
Approved by :	Weight(kg): 1493
Drawn :	SW Version : 14



Technical drawing of a mechanical component, likely a valve or actuator, showing a top view and a side view.

Top View:

- Overall width: $\varnothing 606,4$
- Central cavity width: $\varnothing 153$
- Overall height: 334
- Detail callout: **DETAIL C**, SCALE 1:3
- Surface texture: 0,1 *

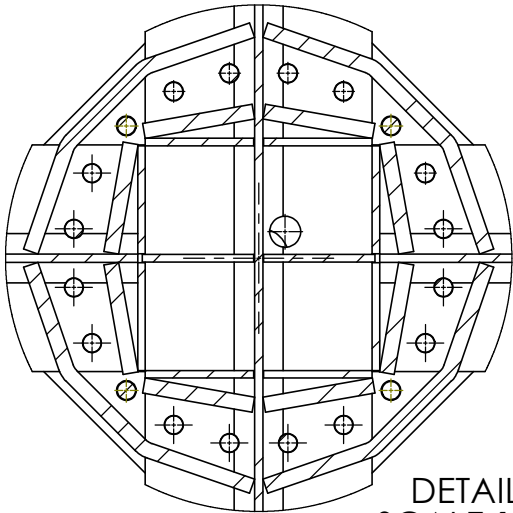
Side View:

- Overall length: 2420
- Detail callout: **C**

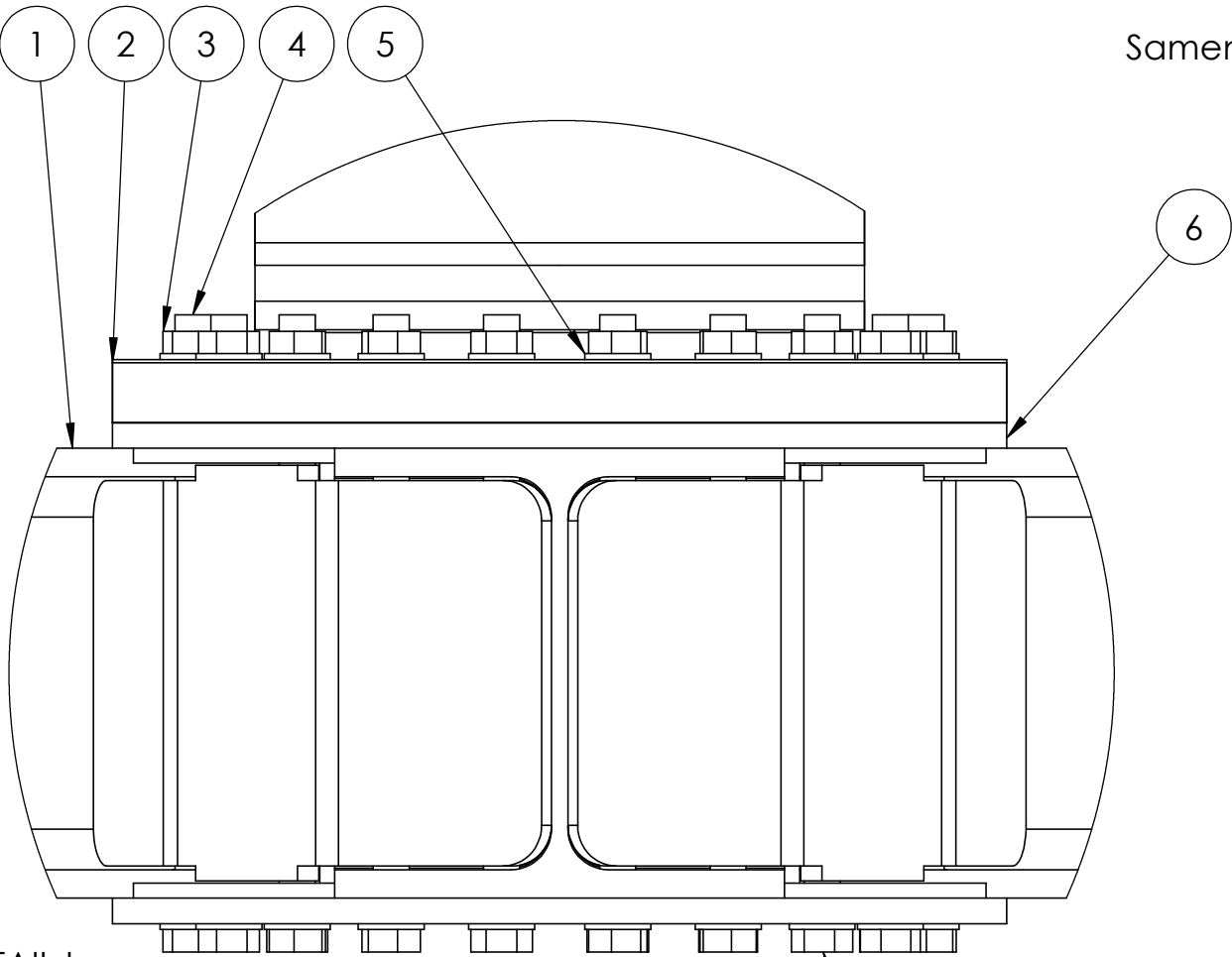
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Breedflensbalk-EN10025-HEB300-5400-S235JR		1
2	Breedflensbalk-EN10025-HEB300-890-S235JR		2
3	Balkkruisplaat-EN10025-2-297x280x10-S235JR2+M		2
4	Balkverbindplaat-EN10025-2-331x310x15-S235JR2+M		2
5	Balklijfverstijver-EN10025-2-260x147,5x10-S235JR2+M		2
6	Balkhoekverstijverbinnen-EN10025-2-257x147x20-S235JR2+M		8
7	Balkhoekverstijverbuiten-EN10025-2-410x277x20-S235JR2+M		4
8	Balkverstijver-EN10025-2-260x140,5x10-S235JR2+M		4
9	Balkdriehoekplaat-EN10025-2-134,35x134,35x10-S235JR2+M		8
10	Balkvulplaatverstijver-EN10025-2-596,4-163x20-S235JR2+M		2

 Third Angle projection	 EAZ Wind info@eazwind.nl	If not stated otherwise: Dimensions are in millimeters Tolerance: ± 1	83504 Lassasamenstelling funderingskruis 15m EAZ-13,2 v20210222	
		Material Date : 02/12/2020 Remarks: NEN 1090-2 EXC 3	Subject: Fundering 15m mast Size : A1 Scale : 1:10 Approved by:  Drawn : 	83504 Lassasamenstelling funderingskruis 15m <u>EAZ-13,2</u> Weight [kg] : 1072356,29 SW Version : 1

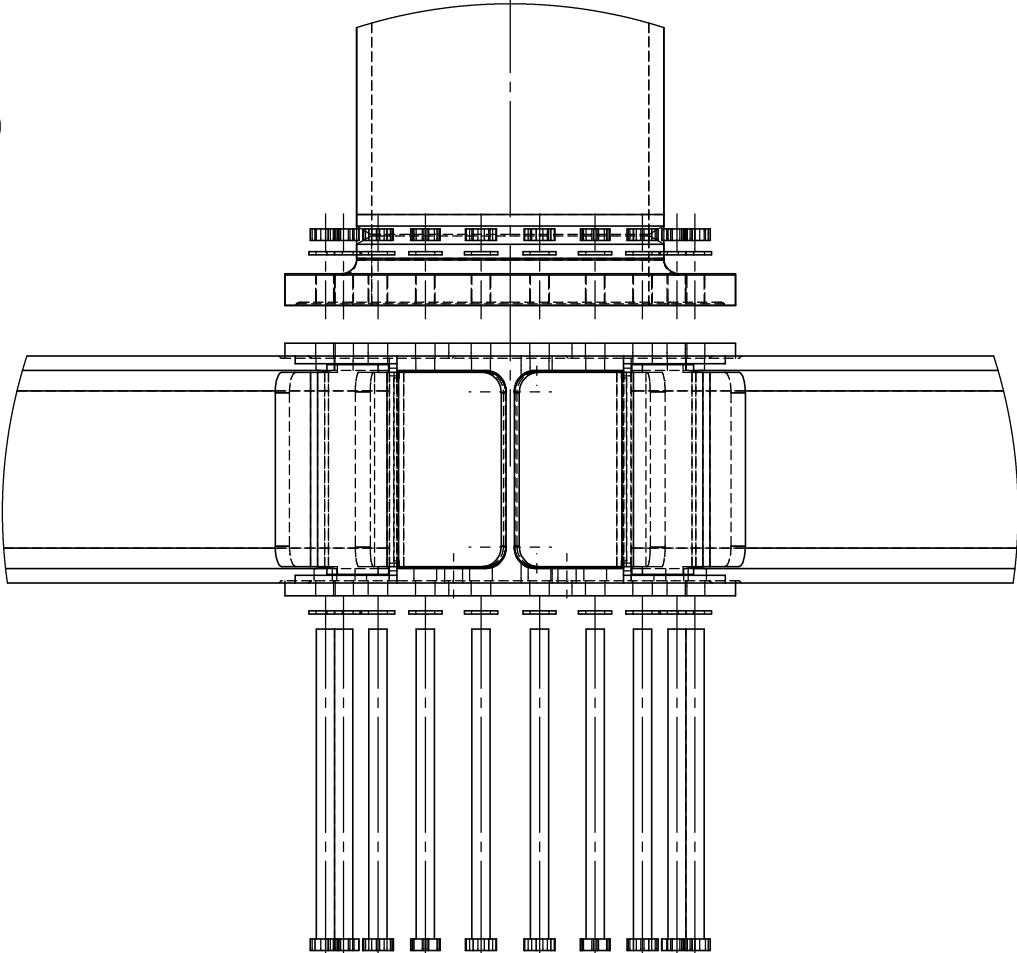
Samenstelling installatie methode:



DETAIL F
SCALE 1 : 10

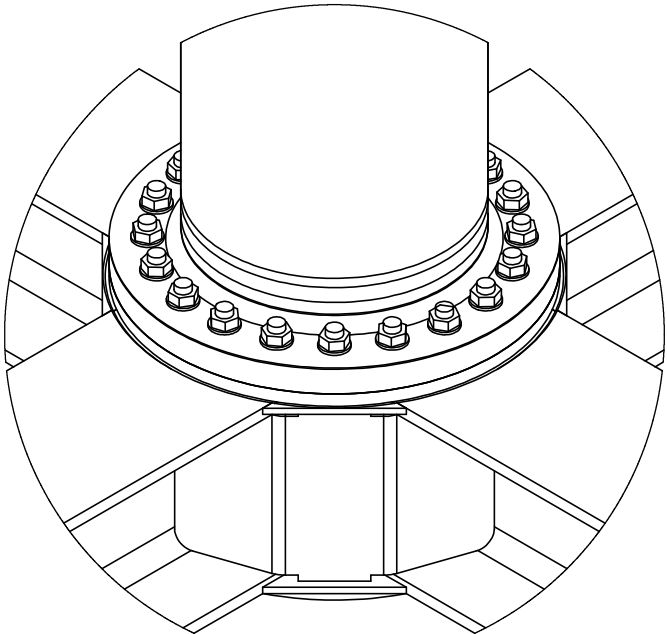


DETAIL I
SCALE 1 : 5

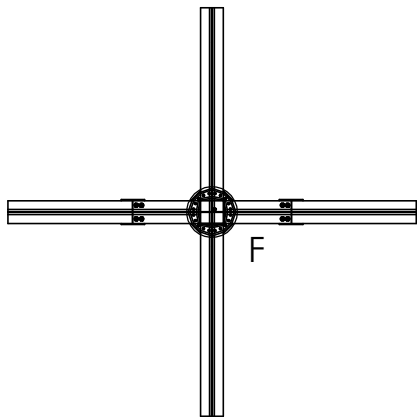


DETAIL C
SCALE 1 : 10

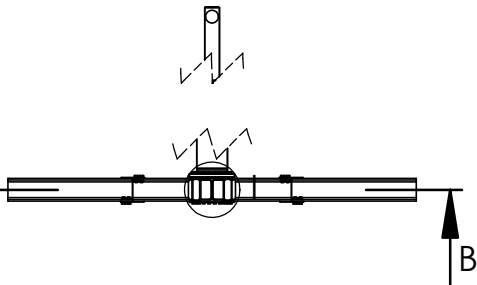
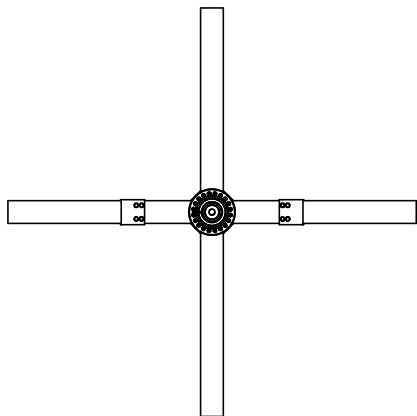
20x M24 Voorspanbouten
kwaliteit: 10.9
voorspankracht: 231 kN (950 N.m)



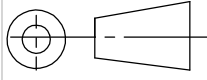
DETAIL H
SCALE 1 : 10



SECTION B-B
SCALE 1 : 100



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	HooAssFunderingHbalken		1
2	83405vA (AS tower 15m)		1
3	HooFunderingM24moer12.9		20
4	HooFunderingM24bout-410mm10.9		20
5	HooFunderingM24sluitring10.9		40
6	Balkvulplaatverstijver-EN10025-2-596,4-163x20-S235JR2+M		1



Third Angle
projection



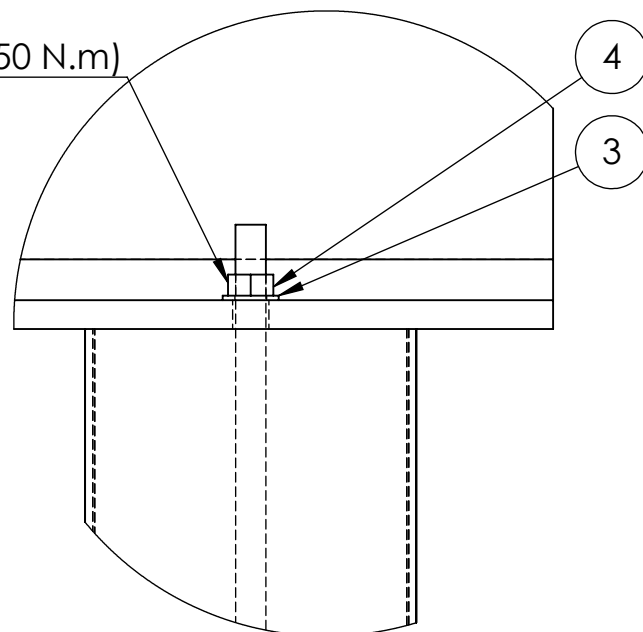
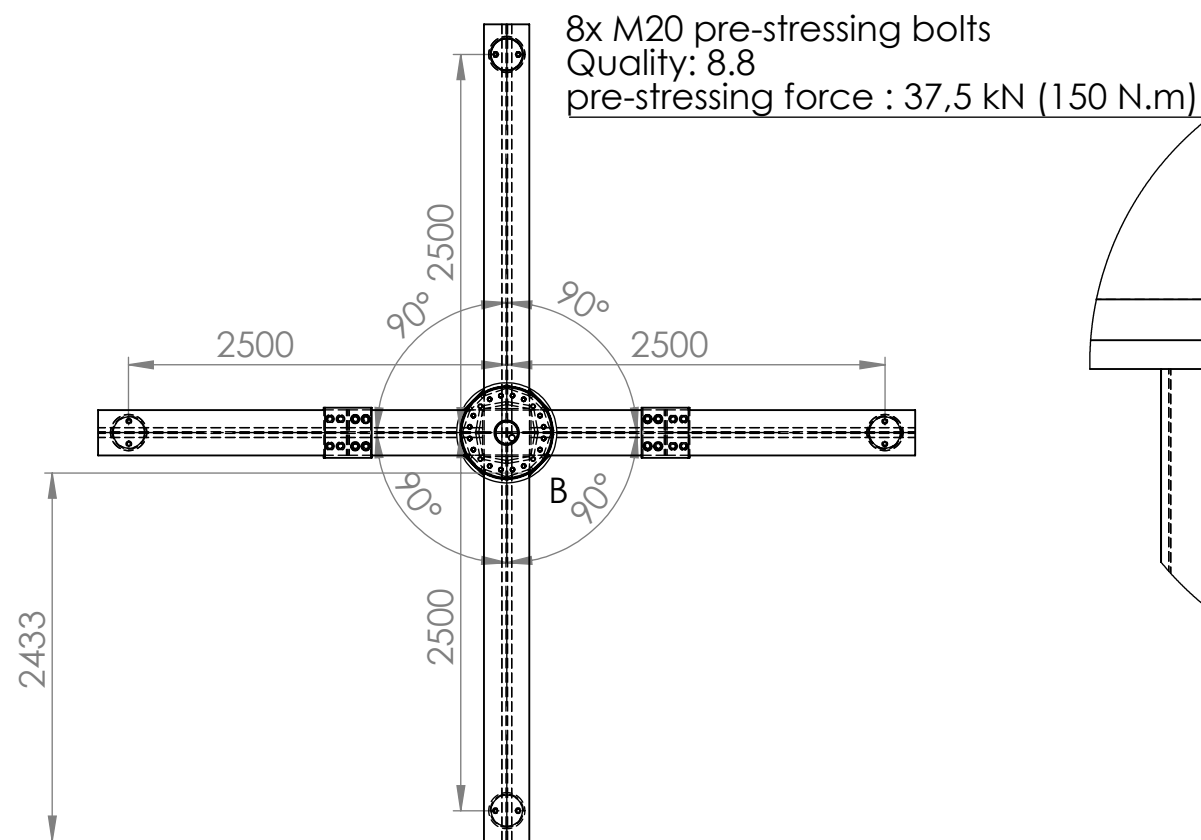
FA7
WIND

If not stated otherwise:
Dimensions are in millimeters
Tolerance: +/- 1

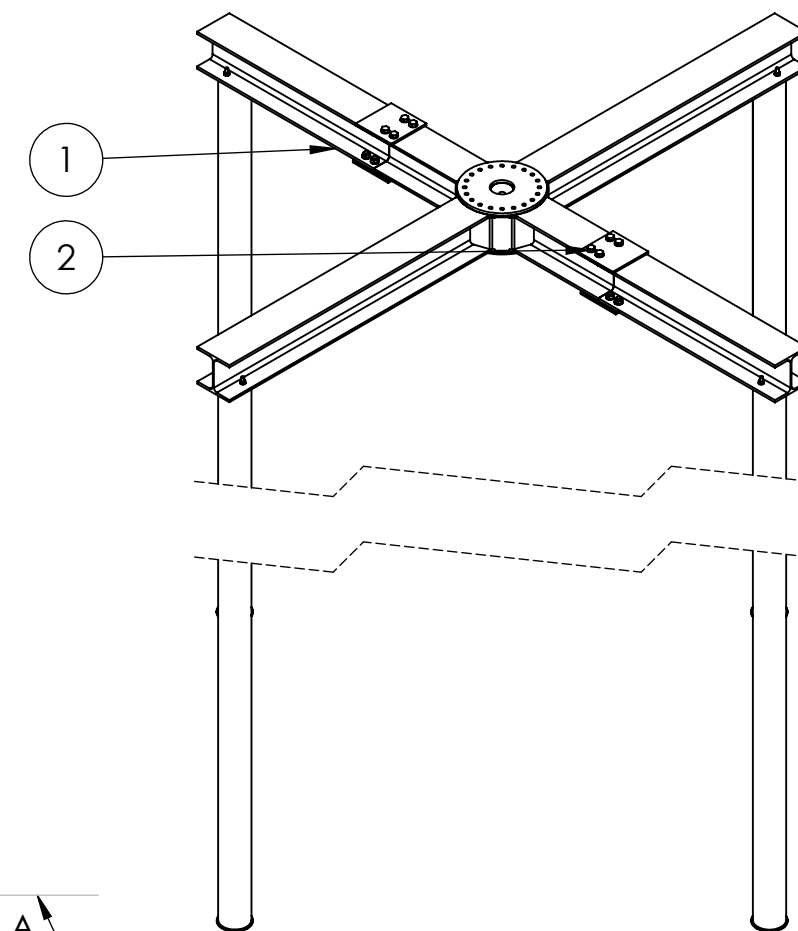
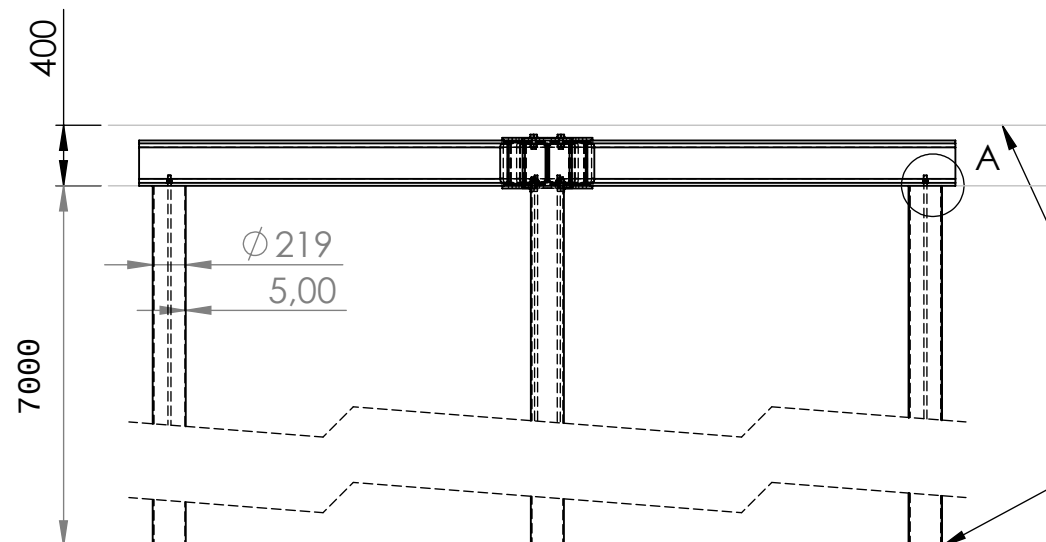
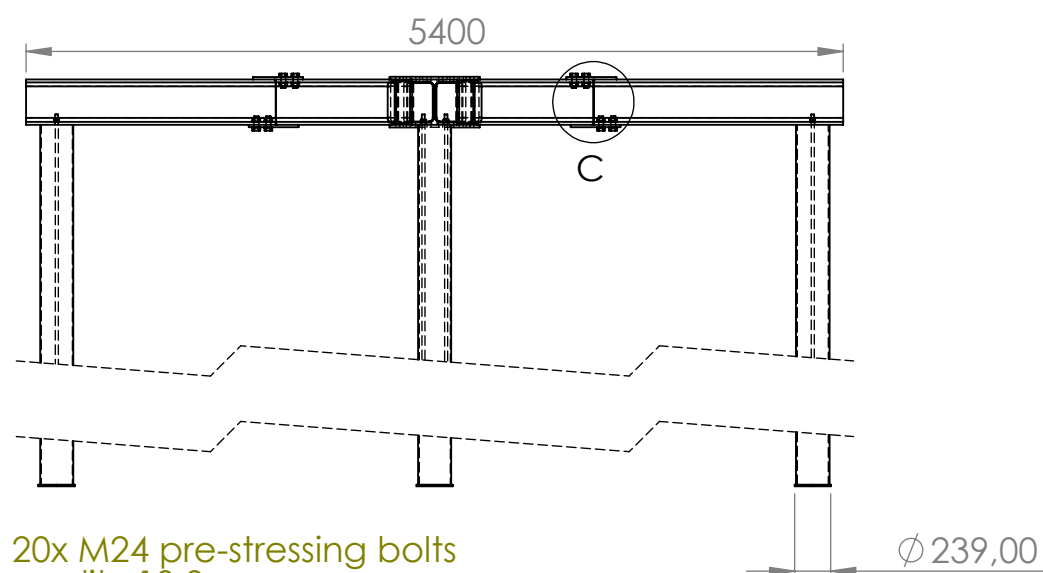
Material :
Date: 31/07/2018
Remarks :

Name assembly / part
: 83505 Montage samenstelling
fundering + mast v20201207

Size : A3	Subject: Fundering 15m mast
Scale : 1:100	: 83505 HooAssFunderingMast
Approved by :	Weight(kg): 3500
Drawn :	SW Version : 4



DETAIL A
SCALE 1 : 5

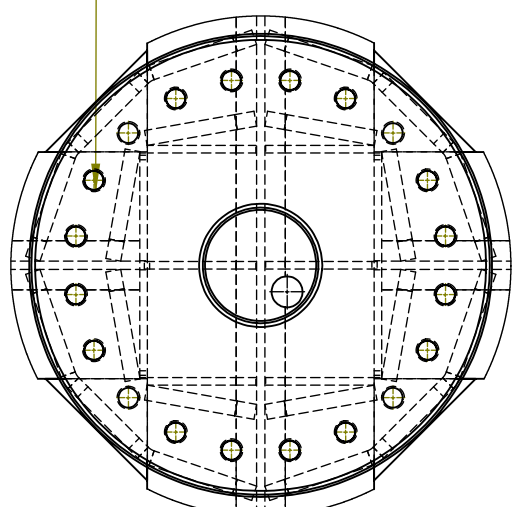


Ground level (NAP): -1.40m

Pile bottom level (NAP): -8.80m

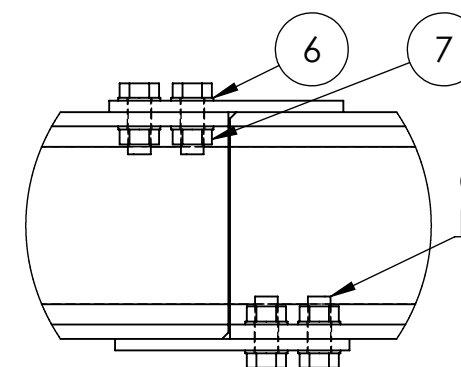
Source: GA222345.R01.V1.0

20x M24 pre-stressing bolts
quality 10.9
pre-stressing force: 231 kN (950 N.m)



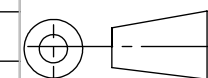
DETAIL B
SCALE 1 : 10

ITEM NO.	PART NUMBER	MATERIAL	QTY.
1	HooAssFunderingHkoppelbalk	S235JR	2
2	HooFunderingM30bout-75mm10.9	HOT DIP GALV.	16
3	HooFunderingM20sluitring10.9	HOT DIP GALV.	12
4	HooFunderingM20moer10.9	HOT DIP GALV.	12
5	HooAssFunderingHeipaal	S235JR	7
6	HooFunderingM30sluitring10.9	HOT DIP GALV.	32
7	HooFunderingM30moer10.9	HOT DIP GALV.	16
8	HooFunderingM20draadstang-3000mm8.8	HOT DIP GALV.	12
9	HooFunderingBetonvullingheipaal	C20-25	5
10	Lassamenstelling funderingkruis 15m EAZ-13,2	S235JR	1



DETAIL C
SCALE 1 : 10

16x M30 pre-stressing bolts
Quality 10.9
pre-stressing force: 250 kN (1500 N.m)



Third Angle
projection



EAZ Wind
info@eazwind.nl

If not stated otherwise:

Dimensions are in millimeters
Tolerance: +- 10

Material :

Date: 26-7-2018

Remarks :

Name assembly / part
: 83508vB (AS FunderingHeipalen)
(NoPileLengthDimension)

Size : A3

Scale : 1:50

Approved by :

Drawn :

Subject: Foundation
: 83508vB (AS FunderingHeipalen)
(NoPileLengthDimension)

Weight(kg): 2652.03

SW Version : 15

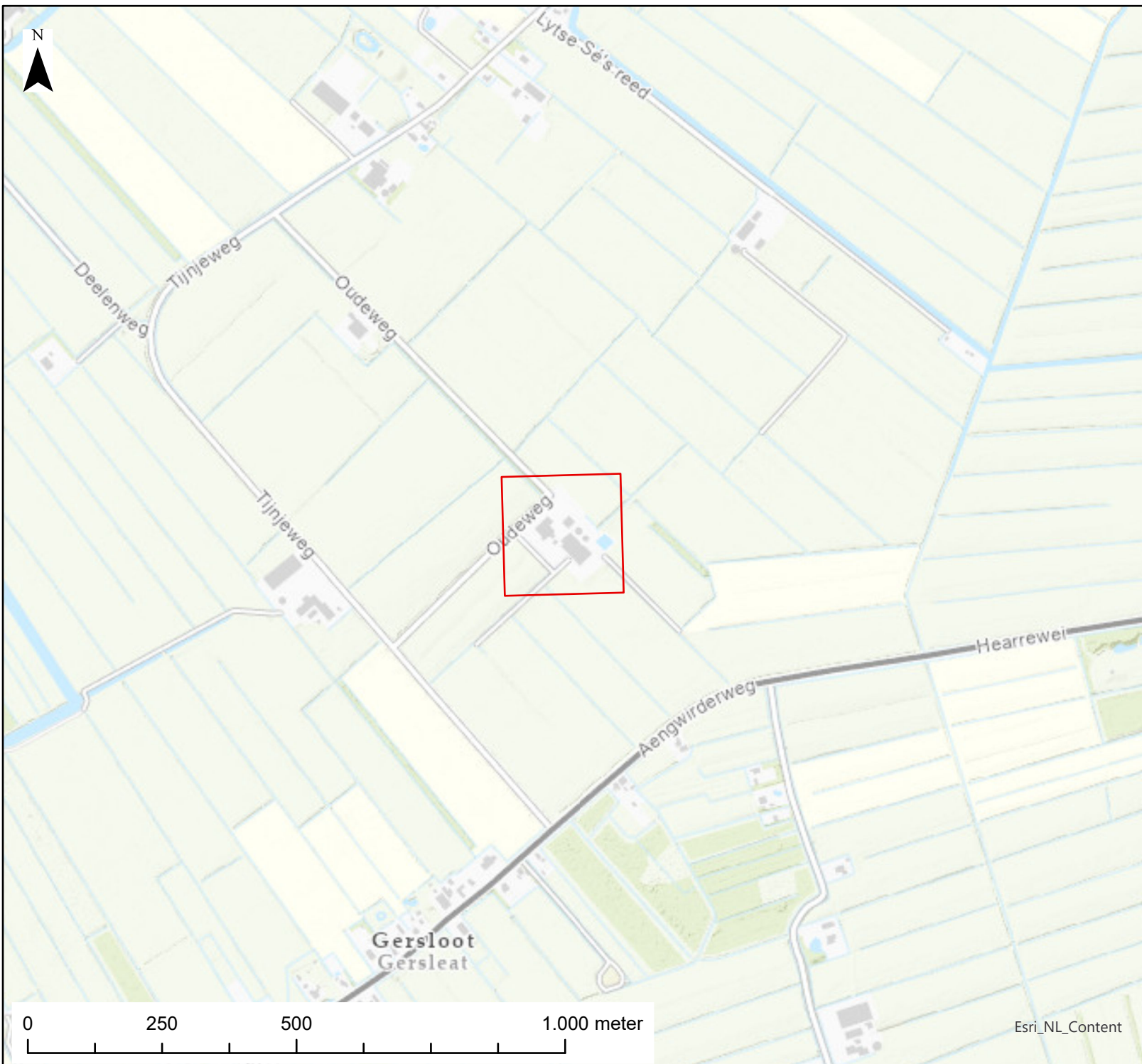
Locatie-specifieke heipaalgegevens

Klantnaam : Maatschap

Adres : Oudeweg 2, 8457EM, Gersloot

Maaiveld (t.o.v. NAP)	[m]	-1.40 m
Bovenkant paal (t.o.v. Maaiveld)	[m]	-0.40 m
Bovenkant paal (t.o.v. NAP)	[m]	-1.80 m
Paalpunt (t.o.v. NAP)	[m]	-8.80m
Paallengte	[m]	7.00m

Bron (paaladvies) : GA222345.R01.V1.0



Overzichtskaart

Opdrachtgever:

Maatschap M. Ziel, S. Woudstra,
A. Ziel-Lantinga en G.J.N. Lantinga

Adres:

Oudeweg 2
8457EM Gersloot

Legenda:

 Locatie plattegrond

Opgesteld door: E.A.Z. Wind

Datum: 08-02-2022

Schaal bij A4:

1:10000



Esri_NL_Content



Plattegrond

Opdrachtgever:

Maatschap M. Ziel, S. Woudstra,
A. Ziel-Lantinga en G.J.N. Lantinga

Adres:

Oudeweg 2
8457EM Gersloot

Legenda:

 Windmolen

 Bouwvlak (indicatief)

Rijksdriehoekscoördinaten windmolen:

X	Y
193935.12	558448.72

Opgesteld door: E.A.Z. Wind

Datum: 08-02-2022

Schaal bij A4:

1:1000



0 25 50 meter

Esri_NL_Content



Toelichting documentatie aanvraag omgevingsvergunning



Toelichting bijlages

Graag dienen wij namens Maatschap M. Ziel, S. Woudstra, A. Ziel-Lantinga en G.J.N. Lantinga deze aanvraag in voor het verkrijgen van een omgevingsvergunning. In aanvulling op de documenten die wij in het OLO hebben toegevoegd aan de vergunningaanvraag, ontvang u op een later moment de volgende documenten:

1. melding activiteitenbesluit
2. akoestisch onderzoek
3. sonderingsonderzoek/geotechnisch onderzoek
4. paalrapport
5. locatie-specifieke heipaalgegevens

Deze documenten leveren wij later aan omdat we hiervoor deels afhankelijk zijn van derden. Ook is de definitieve locatie van de turbine benodigd voor het opstellen van bovenstaande documentatie. Daarom horen wij graag of u akkoord bent met de voorgestelde locatie van de windmolen. Wij zijn voornemens deze documenten binnen twee tot vier weken vanaf de vergunningaanvraag aan te leveren in het OLO. Indien bovenstaande onderzoeken/documenten niet toereikend zijn, horen wij dit graag via: rolf@eazwind.com.

Toelichting slagschaduw

Wanneer een object in de baan tussen de zon en het raam van een woning of een ander gevoelig object in staat, kan er een schim of schaduw van dat voorwerp door dat raam in de woning vallen. Dit noemt men de (slag)schaduw. Bij een laagstaande zon ('s morgens of aan het einde van de dag) zijn deze schaduwen langer dan bij een hoogstaande zon (bijvoorbeeld rond de middag in de zomer). Wanneer het object een windturbine betreft, kan door het draaien van de wieken een afwisseling van direct zonlicht onderbroken door korte donkerder momenten (schaduw) ontstaan. Deze afwisseling of flikkering wordt de "slagschaduw van de windturbine" genoemd.

Door de gestelde randvoorwaarden in milieuregelgeving worden omwonenden beschermd tegen overmatige hinder als gevolg van slagschaduw. Voor windturbines is dit geregeld in Artikel 3.14, vierde lid Activiteitenbesluit milieubeheer (Abm). Daarin wordt voor wat betreft het voorkomen of beperken van slagschaduw aangegeven dat de voorgeschreven maatregelen in de Activiteitenregeling moeten worden toegepast. Art. 3.12 Activiteitenregeling milieubeheer (Arm) stelt dat een turbine moet zijn voorzien van een stilstandvoorziening indien slagschaduw optreedt op gevoelige objecten voor zover de afstand tussen de turbine en het gevoelige object minder dan 12 maal de rotordiameter bedraagt en gemiddeld meer dan 17 dagen per jaar gedurende meer dan 20 minuten per dag slagschaduw kan optreden.

Voor de E.A.Z. 13.2 windmolen met een rotordiameter van 13.2 meter is in beginsel de onderzoekafstand $12 \times 13.2 = 158,4$ meter. De afstand tot de dichtstbijzijnde woning aan de Tijnjeweg 1 bedraagt 440 meter. Deze woning is gelegen ten westen van de windmolen. Omdat het dichtstbijzijnde slagschaduwgevoelige object buiten de normafstand van 12 maal de rotordiameter ligt, vormt het aspect slagschaduw geen belemmering voor de voorgenomen ontwikkeling.

Toelichting lichtschittering

Artikel 3.13, lid 1 van de Activiteitenregeling stelt dat lichtschittering bij de plaatsing van windturbines zoveel mogelijk wordt beperkt door toepassing van niet reflecterende materialen of coatingslagen. Aangegeven moet worden of deze niet reflecterende materialen worden toegepast en zo ja, waar deze worden toegepast. De wieken van de EAZ 13.2 kleine windturbine zijn van hout. Dit hout wordt gecoat met behulp van coating die zo min mogelijk reflecteert. Door de bruine kleur van het hout zijn daarnaast slechts beperkte lichtschitteringseffecten te verwachten. Bij windturbines met wit gekleurde wieken vindt meer lichtschittering plaats.

Toelichting externe veiligheid

Het doel van het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi) is om mensen te beschermen die zich mogelijk in de nabijheid bevinden van (een bedrijf met) gevaarlijke stoffen. Bij een omgevingsvergunning milieu of een ruimtelijk besluit rond zo'n bedrijf moet het bevoegd gezag rekening houden met veiligheidsafstanden ter bescherming van individuen (plaatsgebonden risico) en groepen personen (groepsrisico). In de bijbehorende Regeling externe veiligheid inrichtingen (Revi) zijn bepaling en toepassing van de veiligheidsnormen verder uitgewerkt. Voor zogenaamde 'categoriale inrichtingen' geeft de Revi tabellen met vaste veiligheidsafstanden.

Het plaatsgebonden risico is de kans per jaar dat een persoon dodelijk wordt getroffen door een ongeval, indien hij of zij zich permanent en onbeschermd op een bepaalde plaats bevindt. Het groepsrisico is de kans per jaar dat in één keer een groep van een bepaalde grootte dodelijk slachtoffer wordt van een ongeval met gevaarlijke stoffen.

Het transport, de opslag en productie van gevaarlijke stoffen brengen risico's met zich mee door de mogelijkheid dat bij een ongeval gevaarlijke lading vrij kan komen. De discipline externe veiligheid houdt zich bezig met de hieraan verbonden risico's voor mensen die zich in de nabijheid van gevaarlijke stoffen bevinden. Externe veiligheid maakt onderscheid tussen risicobronnen en risico-ontvangers. In dit geval wordt de windturbine gezien als risicobron.

De windturbine als risicobron

De windturbine wordt geplaatst op eigen terrein, niet in openbaar gebied. Wieken zouden bijvoorbeeld van de windturbine kunnen vallen en hierdoor een risico kunnen vormen voor de omgeving. De windturbine wordt geplaatst in een weiland in een zone waar geen structurele aanwezigheid van personen is. Risico op ongevallen die door de windturbine veroorzaakt zouden kunnen worden is hierdoor verwaarloosbaar klein. Het planvoornemen leidt niet tot een verandering van het plaatsgebonden risico en het groepsrisico en is in lijn met de geldende regelgeving voor externe veiligheid, te weten het Bevi en het Revi. Ook wordt de plaatsing van een windturbine niet gekarakteriseerd als een (beperkt) kwetsbaar object.

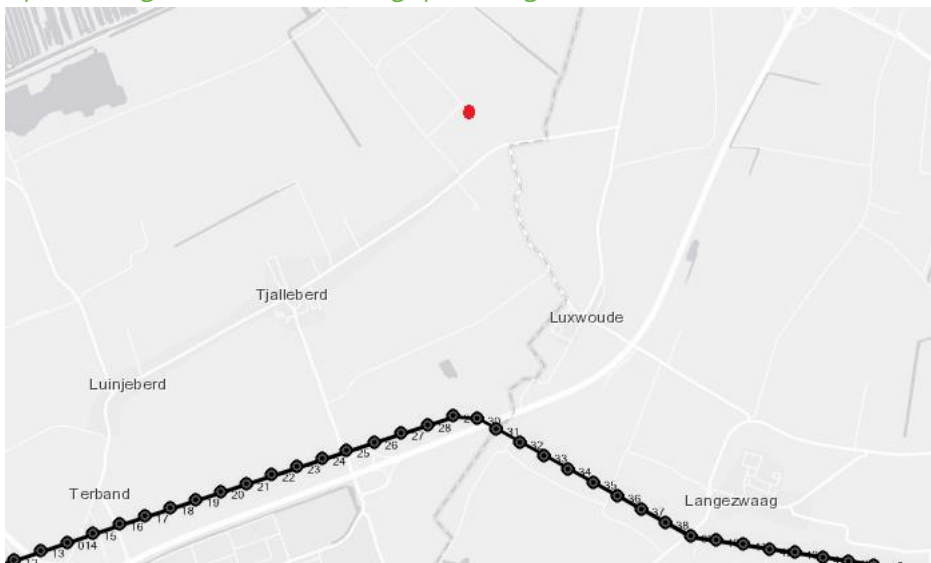
Risicokaart EV

Veiligheidshalve zijn de signaleringskaart EV en de Hoogspanningskaart Nederland geraadpleegd, om te analyseren of een vallende wiek gevolgen kan hebben voor (buis)leidingen. De dichtstbijzijnde buisleiding gevaarlijke stoffen ligt op een afstand van ongeveer 450 meter van de locatie van de kleine windturbine. De meest dichtstbijzijnde hoogspanningsleiding ligt op een afstand van meer dan 2 kilometer. In beide gevallen is de kans op ongevallen door vallende wieken daardoor nihil.

Afbeelding 1. Uitsnede EV Signaleringskaart



Afbeelding 2. Uitsnede Hoogspanningsnetkaart



Toelichting geluid

Het in werking hebben van een windturbine valt onder de algemene regels van het Activiteitenbesluit milieubeheer. Conform het Activiteitenbesluit (artikel 3.14 a) mag de jaargemiddelde geluidbelasting vanwege één of meerdere windturbine ten hoogste 47 dB Lden (gemiddelde over het etmaal) en 41 dB Lnight (tussen 23.00 uur en 07.00 uur) bedragen. Ter

onderbouwing van dit aspect wordt een akoestisch onderzoek uitgevoerd. De resultaten hiervan worden op een later moment met u gedeeld via het Omgevingsloket.





Argumentatie wind: locatie specifieke keuzetoelichting

Datum: 15 april 2022
Betreft: Locatie specifieke keuze wind
Opdrachtgever: Maatschap
Uitvoerende instantie: E.A.Z. Wind
Locatie: Oudeweg 2, 8457 EM Gersloot

Geachte heer/mevrouw,

Onze opdrachtgever, Maatschap _____, is voornemens om een kleine windmolen te plaatsen bij zijn melkveehouderij om de benodigde elektriciteit zelf en duurzaam op te wekken. Graag onderbouwen wij de keuze voor een kleine windmolen op deze locatie en hoe de duurzame combinatie van wind- en zonne-energie bijdraagt aan een duurzame agrarische bedrijfsvoering binnen deze maatschap.

We beginnen met achtergrondinformatie over de afbouw van de salderingsregeling. Vervolgens worden de verschillende mogelijkheden om te voorzien in de eigen energiebehoefte langsgelopen. Hierna analyseren we de situatie specifiek bij Maatschap _____ en sluiten we af met de afweging of enkel zonnepanelen een realistische optie is.

De salderingsregeling wordt afgebouwd

Er wordt steeds meer duurzame elektriciteit opgewekt in Nederland. De gunstige salderingsregeling van de overheid heeft onder andere voor een snelle groei van zonnepanelen gezorgd. Naast de positieve kanten van deze ontwikkeling, heeft de snelle groei ook voor problemen op het elektriciteitsnet gezorgd. In bijvoorbeeld Friesland zit het elektriciteitsnet op zonnige dagen steeds vaker vol.

Vanaf 2023 zal daarom de salderingsregeling door de overheid worden afgebouwd. De salderingsregeling houdt in dat opgewekte energie in de zomer mag worden weggestreept tegen ingekochte energie in de winter. Op dezelfde manier mag energie, opgewekt als de zon hoog aan de hemel staat, worden gesaldeerd met energie die 's nachts in het donker wordt ingekocht.

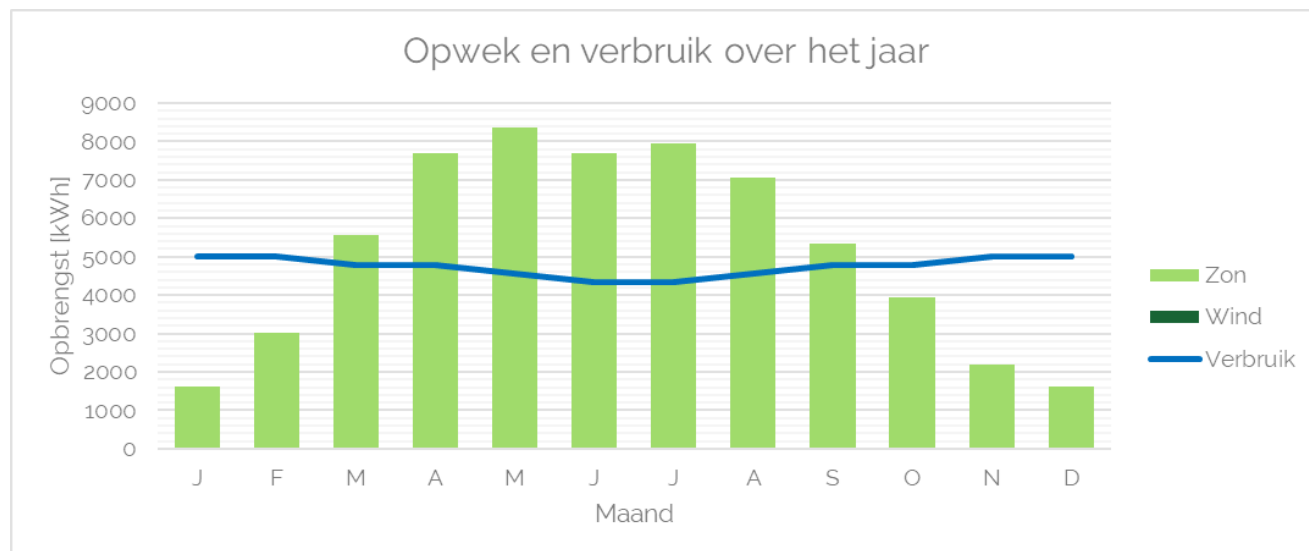
Voor een agrariër was het met de salderingsregeling genoeg om onder aan de streep energie-neutraal te zijn. Zonder salderingsregeling moet de agrariër een stap verder gaan. Opgewekte stroom die het erf verlaat, moet namelijk midden op de dag tegen een lage prijs op het elektriciteitsnet verkocht worden, terwijl stroom tegen een hoog tarief 's nachts moet worden ingekocht.

Het gaat dus niet langer om de totale hoeveelheid opgewekte energie, maar het gaat tegenwoordig om de hoeveelheid opgewekte energie die direct op het erf verbruikt kan worden. Aangezien een agrarisch bedrijf zowel overdag als 's nachts en zowel 's winters als 's zomers stroom nodig heeft, is het belangrijk dat de stroom het hele jaar door wordt opgewekt. Dit gaat het beste met een combinatie van windenergie en zonne-energie.

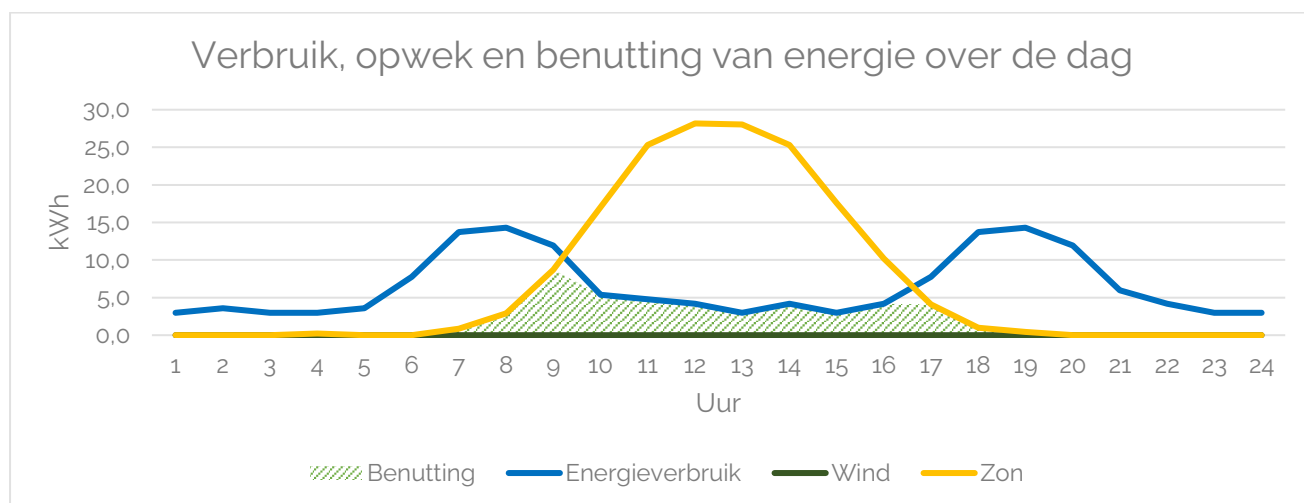
Met een combinatie van wind en zon kan een agrariër het hele jaar door zijn bedrijf van duurzame energie voorzien en zodoende zijn CO₂-voetafdruk verminderen. Tegelijkertijd wordt op deze manier het elektriciteitsnet in balans gehouden en worden de maatschappelijke kosten in de elektrische infrastructuur laag gehouden.

We lopen nu een aantal mogelijkheden langs om te voorzien in de eigen energiebehoefte.

Alles met zonnepanelen



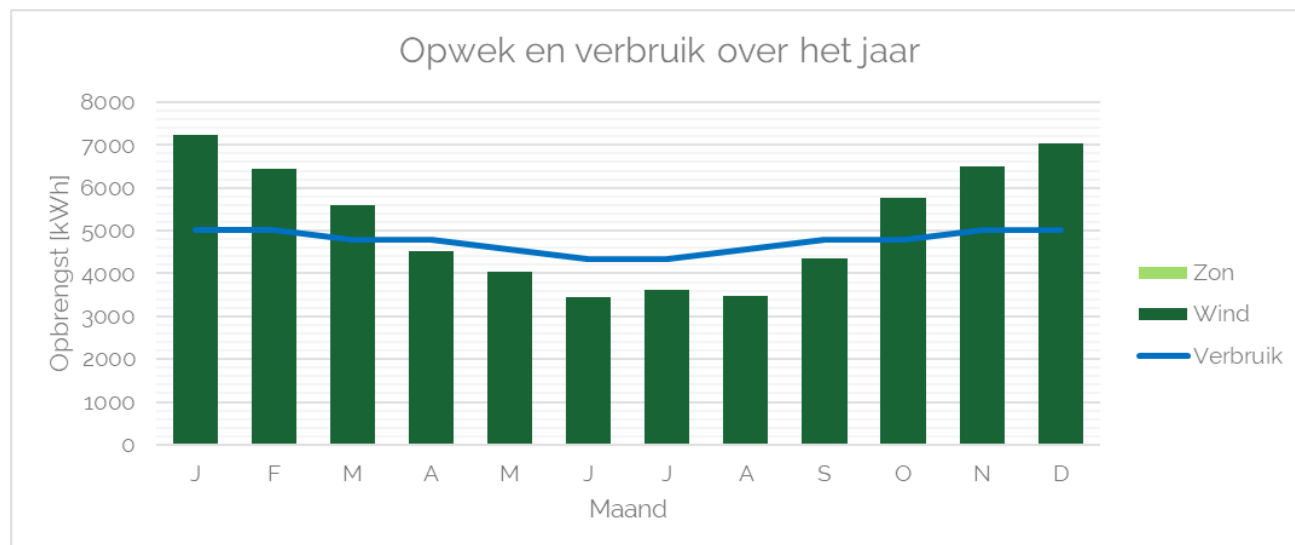
In Nederland is er in de zomer een overvloed en in de winter een tekort aan zonne-energie.



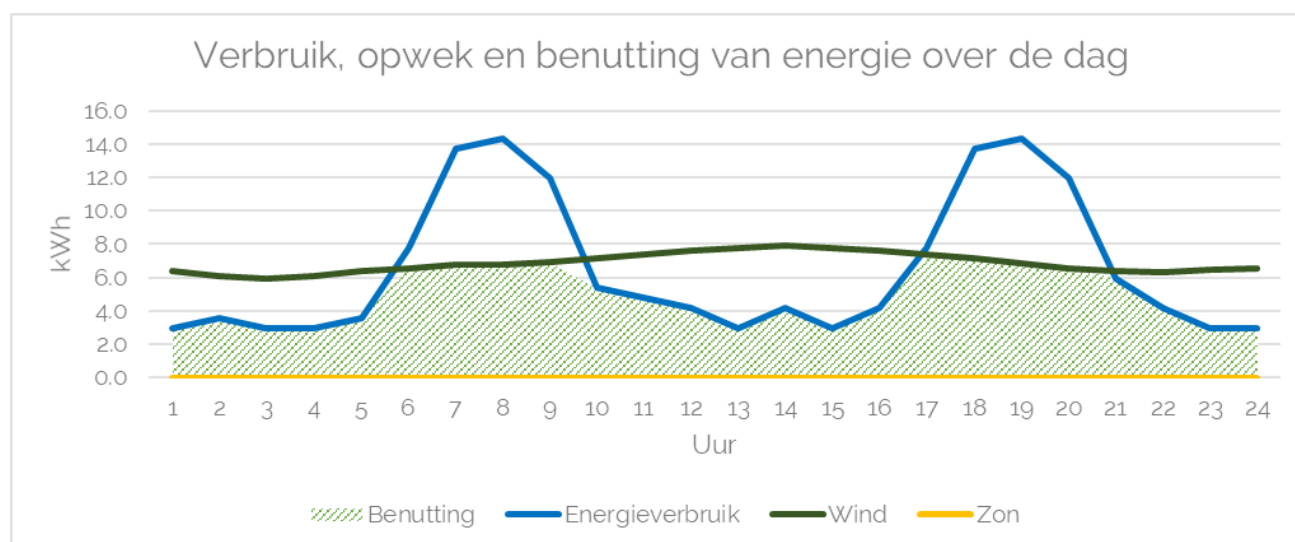
De koeien worden in een traditionele melkstal in de ochtend en in de avond gemolken. De zonnepanelen leveren alleen overdag stroom. Hierdoor ontstaat een gedeeltelijke mismatch tussen de energievraag en het aanbod aan duurzaam opgewekte energie. Dit betekent dat een beperkt deel van de energiebehoefte van het agrarisch bedrijf met een traditionele melkstal gelijktijdig met zonne-energie kan worden opgewekt, gemiddeld is dit maximaal 30%.

Een batterij is kostbaar en kan een structureel tekort in de winter niet oplossen. Het is daarom noodzakelijk om ook naar andere energiebronnen te kijken.

Alles met een windmolen



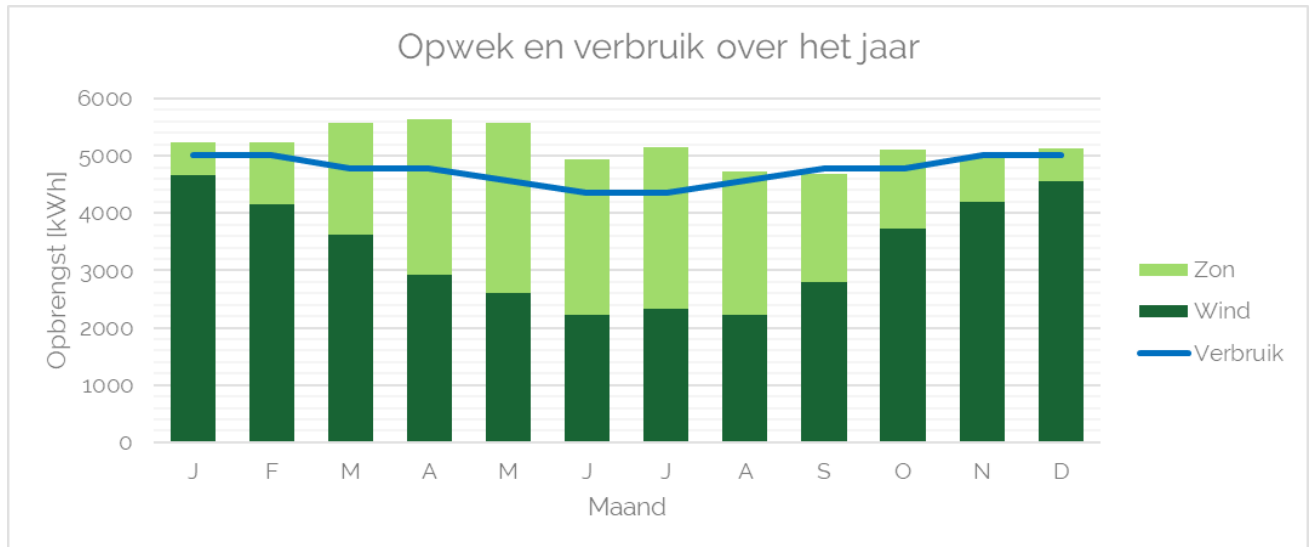
De wind is gelijkmatiger verdeeld over het jaar. Toch is er meer wind in de winter en juist wat minder in de zomer.



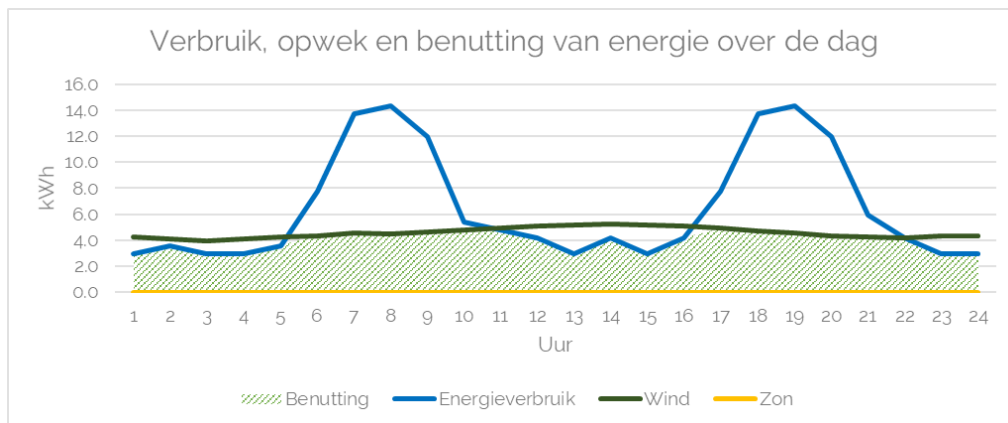
De wind is ook over de dagen van het jaar gelijkmatiger verdeeld.

Het agrarisch bedrijf kan beter gebruik maken van de energie van de wind, doordat de wind een meer constante bron van duurzame energie vormt verdeeld over de dag en de maanden van het jaar. Procentueel kan gemiddeld 60% van de energiebehoefte van het agrarisch bedrijf gelijktijdig met windenergie worden opgewekt.

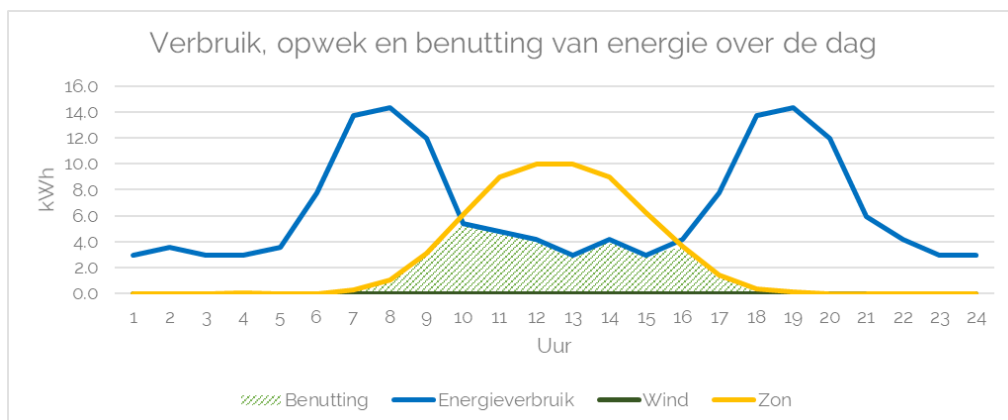
De combinatie van wind en zon



In de winter is er meer wind en in de zomer is er juist meer zon.



Winderige dagen zijn vaak niet zonnig.



Zonnige dagen zijn vaak niet winderig.

Wind en zon gaan erg goed samen en kunnen vrijwel onafhankelijk van elkaar worden ingezet. In de juiste verhouding kan het agrarisch bedrijf tot 80% van zijn energiebehoefte duurzaam en gelijktijdig opwekken met wind en zon.

Tegelijkertijd is de piekbelasting op het elektriciteitsnet flink verminderd, waardoor de bestaande netaansluiting voldoende is en het elektriciteitsnet in balans blijft.

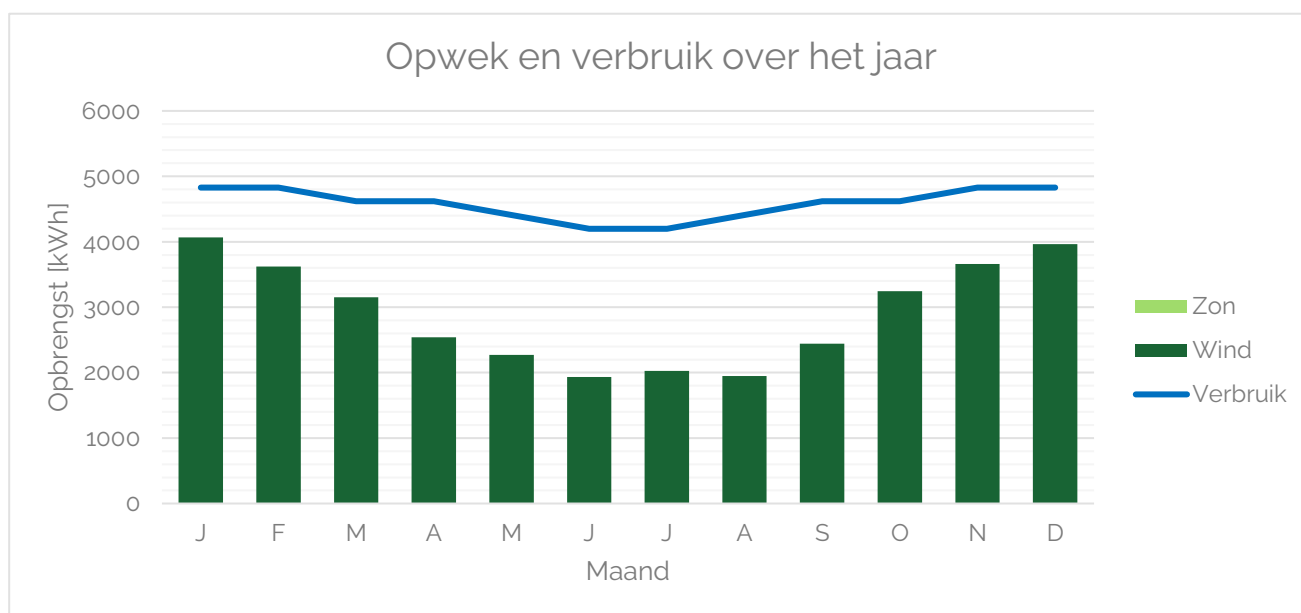
Energieverbruik Maatschap

Voor iedere locatie is een aparte analyse noodzakelijk. Het energieverbruik verschilt van boer tot boer. Hierbij is het type bedrijfsvoering van grote invloed op het vraagprofiel en de mate van (gelijktijdig) zelfgebruik van de duurzaam opgewekte energie. Daarnaast is de beschikbaarheid en de oppervlakte van een gunstig gelegen dak van belang. Ook verschilt de windopbrengst per locatie door obstakels op en rondom het erf.

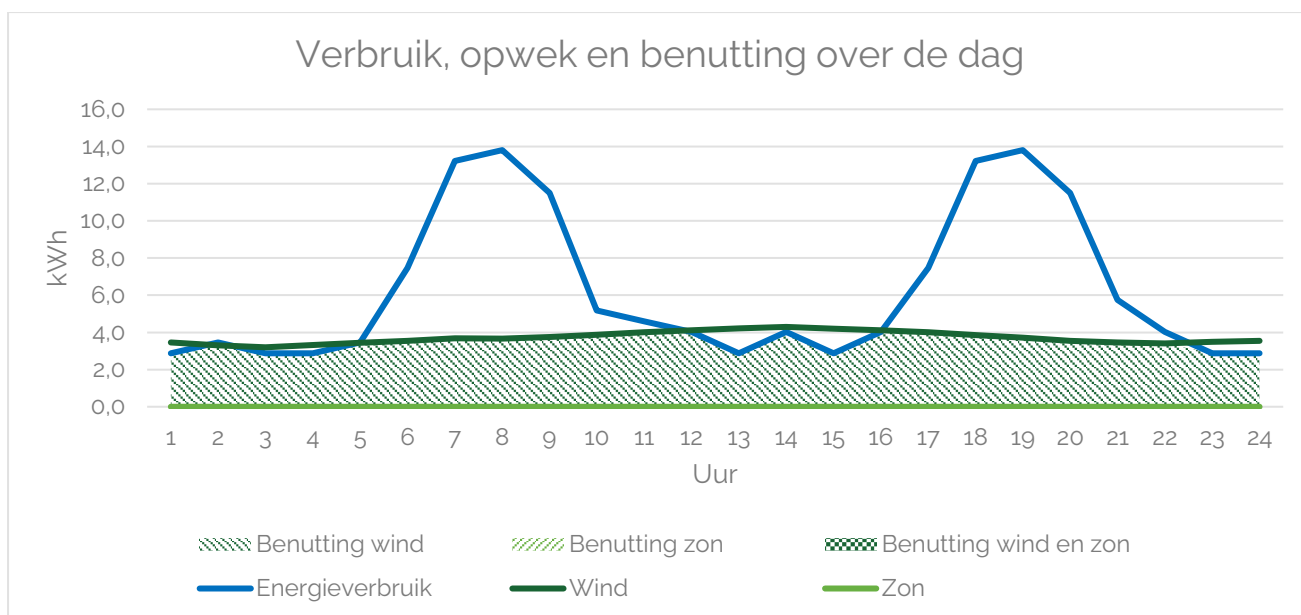
Het gemiddelde verbruik van Maatschap

ligt rond de 55.000 kWh/jaar. Op de oude ligboxenstal op het erf van het bedrijf liggen reeds zonnepanelen. Deze zonnepanelen zorgen voor een gemiddelde duurzame opwek van circa 25.000 kWh/jaar. De berekende opwek van de kleine windmolen bij dit bedrijf en op deze locatie is 36.000 kWh/jaar. Hierdoor kan Maatschap

in de toekomstige situatie op jaarbasis haar energiebehoefte duurzaam opwekken. Er is mogelijk sprake van een licht overschot in duurzame energieopwekking. Doordat de maatschap echter op korte termijn investeringen zal doen in een meer elektrische bedrijfsvoering en een elektrisch wagenpark, zal de energievraag in de nabije toekomst stijgen en zal van een overschot aan duurzame energie geen sprake meer zijn.



In bovenstaande afbeelding is te zien in hoeverre windenergie verdeeld over de maanden van het jaar bijdraagt aan de duurzame energieopwek van

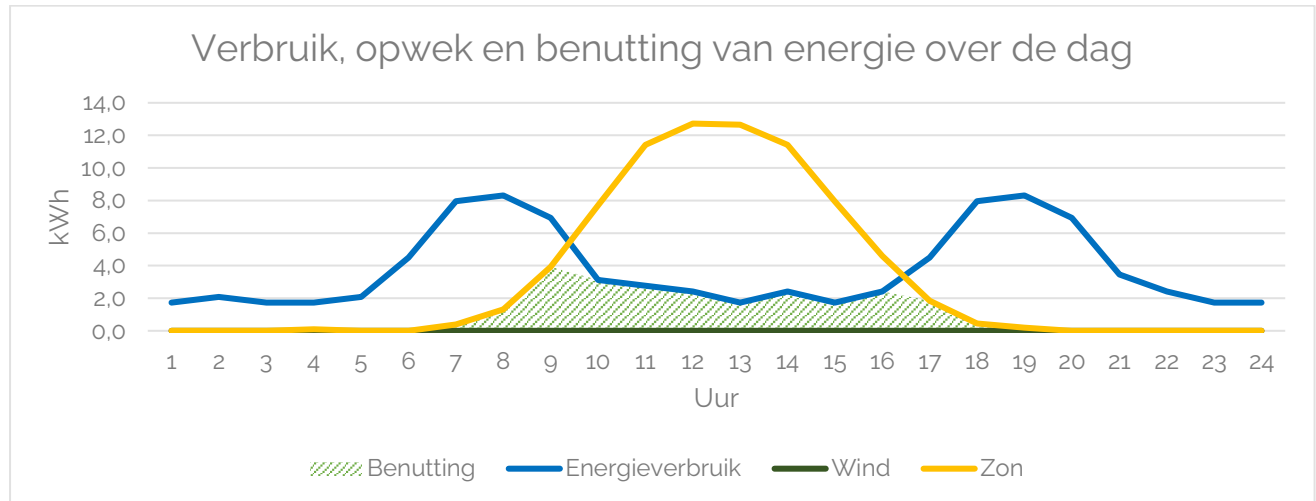


In bovenstaande afbeelding is te zien hoe windenergie gedurende zowel de dag als de nacht bijdraagt aan een duurzame energie-opwek en gelijktijdig verbruik van het maatschap. De toevoeging van windenergie vervult een complementaire functie ten opzichte van zonne-energie, met name tijdens de nachtperiode en tijdens de twee momenten waarop de koeien in de melkstal gemolken worden en een piek in het energieverbruik te zien is.

Met de kleine windmolen wordt 65% van de energiebehoefte van Maatschap gelijktijdig opgewekt.

Afweging: is alleen zon een reële optie?

Met alleen zonnepanelen zou deze maatschap in de wintermaanden een energietekort hebben. In de zomer zou het overschot aan energie aan het net terug geleverd moeten worden, wat onwenselijk is. Slechts 30% van de eigen energiebehoefte van deze maatschap kan met zon gelijktijdig opgewekt worden.

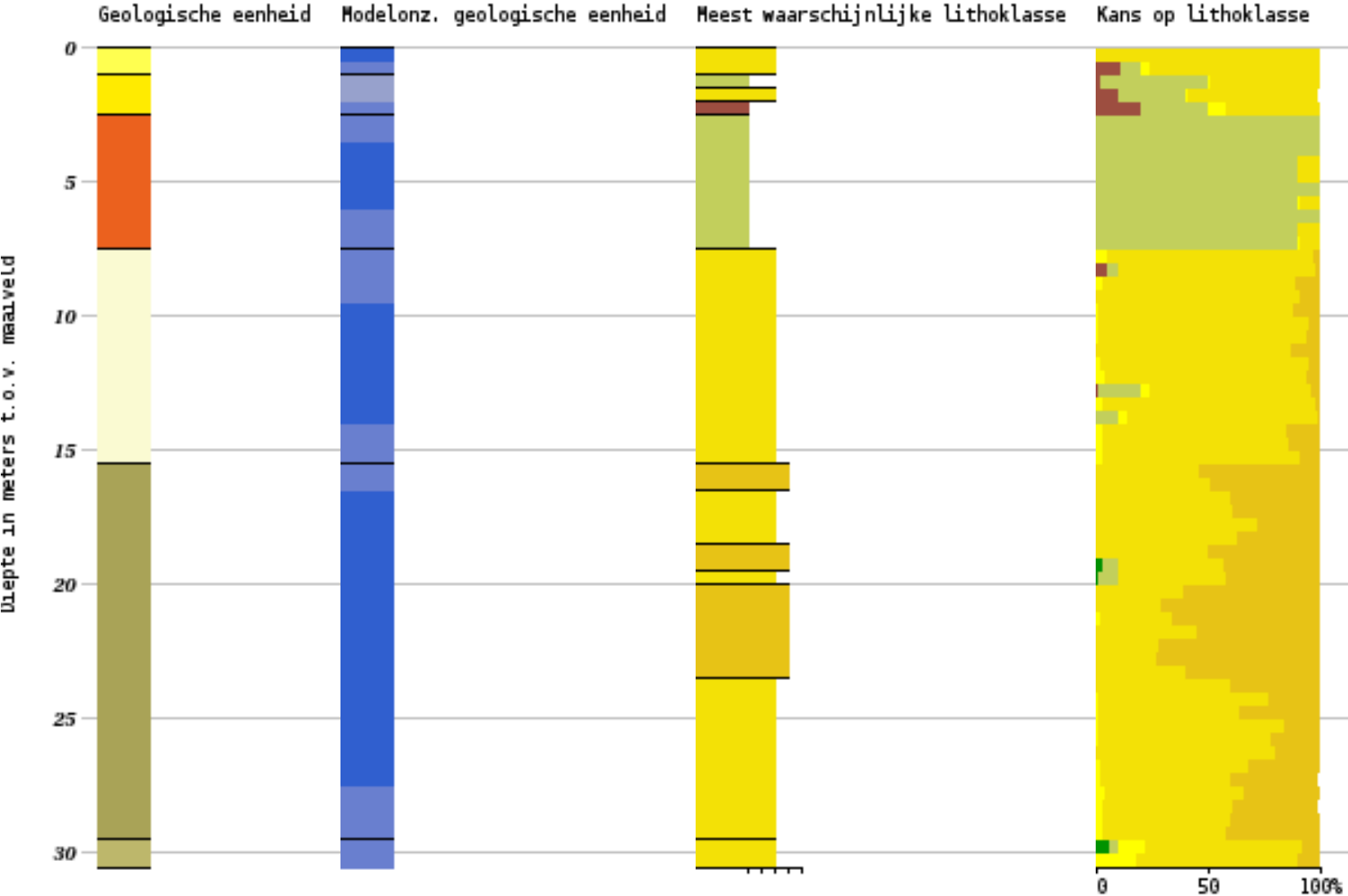


In bovenstaande afbeelding is te zien hoe de energiehuishouding van dit bedrijf gemiddeld over de dag eruit ziet met enkel zonnepanelen. Zonder salderingsregeling is dit voor Maatschap geen realistische optie.



Appelboor BRO GeoTOP v1.4.1

Coördinaten: 193935, 558448 (RD)
Maaiveld: -2.25 m t.o.v. NAP
Diepte t.o.v maaiveld: 0.00 m - 48.00 m
Geselecteerde diepte: 0.00 m - 30.58 m



Geologische eenheid

- BXWI
- BX
- DRGI
- DN
- URTY
- UR

Modelonz. geologische eenheid Lithoklasse

- | | | | | | |
|------|---|-------------|---|------|-----------------------------------|
| 0.00 | ≤ | uncertainty | < | 0.10 | antropogeen |
| 0.10 | ≤ | uncertainty | < | 0.20 | organisch materiaal (veen) |
| 0.20 | ≤ | uncertainty | < | 0.30 | klei |
| 0.30 | ≤ | uncertainty | < | 0.40 | kleiig zand, zandige klei en leem |
| 0.40 | ≤ | uncertainty | < | 0.50 | zand fijn |
| 0.50 | ≤ | uncertainty | < | 0.60 | zand midden |
| 0.60 | ≤ | uncertainty | < | 0.70 | zand grof |
| 0.70 | ≤ | uncertainty | < | 0.80 | grind |
| 0.80 | ≤ | uncertainty | < | 0.90 | schelpen |
| 0.90 | ≤ | uncertainty | < | 1.00 | |

Kans op lithoklasse

- | |
|-----------------------------------|
| antropogeen |
| organisch materiaal (veen) |
| klei |
| kleiig zand, zandige klei en leem |
| zand fijn |
| zand midden |
| zand grof |
| grind |
| schelpen |

Oriënterend funderingsadvies

t.b.v. realisatie windmolen aan de Oudeweg 2 te Gersloot
GA222345.R01.V1.0

15 november 2022



Oriënterend funderingsadvies

t.b.v. realisatie windmolen aan de Oudeweg 2 te Gersloot

Documentnummer GA222345.R01.V1.0

15 november 2022

Opdrachtgever

E.A.Z. Wind B.V.

Industrieweg 23 A

9601 LJ Hoogezand

+31 88 130 06 00

info@geonius.nl

Postbus 1097

6160 BB Geleen

Geonius.nl

Functie	Naam	Paraaf
Geotechnisch adviseur		
Collegiale toets		

Inhoud

1	Inleiding	4
2	Projectuitgangspunten.....	5
2.1	Constructieve uitgangspunten	5
2.2	Geotechnische uitgangspunten	6
3	Bodemgesteldheid	7
3.1	Bodemopbouw	7
3.2	Geohydrologische situatie	7
4	Funderingsadvies	8
4.1	Algemeen	8
4.2	Uitgangspunten paalberekening	8
4.3	Resultaat paalberekening	9
5	Uitvoeringsaspecten.....	10
5.1	Grondwerk en/of ontgravingen	10
5.2	Paal specifieke aspecten	10

Bijlagen

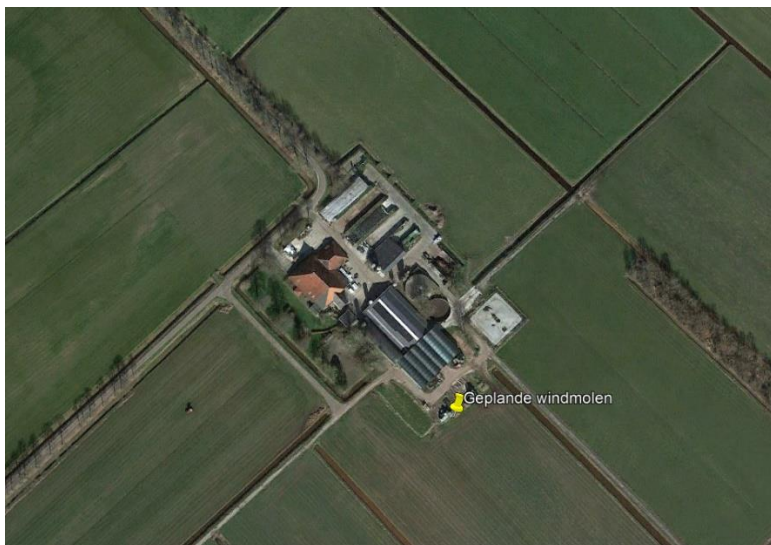
- Bijlage 1 Situatietekening
- Bijlage 2 Aangeleverd grondonderzoek
- Bijlage 3 Paalberekeningen
- Bijlage 4 Last-zakkingsdiagram

1 Inleiding

Door E.A.Z. Wind B.V. werd op 8 november 2022 aan Geonius Geotechniek B.V. de opdracht gegeven een funderingsadvies op te stellen. Het advies is nodig voor de realisatie van een windmolen aan de Oudeweg 2 te Gersloot. De ligging van de projectlocatie is weergegeven in Figuur 1.1.

Het advies is opgesteld op basis van de aangeleverde resultaten van door derden uitgevoerd grondonderzoek, welke is verwerkt in de rapportage met opdrachtnummer 61210732, door IJB Geotechniek, d.d. 1 april 2021. Eén sondering is uitgevoerd nabij de locatie, welke inclusief GEF-bestand is verstrekt aan Geonius. Voor de berekeningen is deze sondering gebruikt, welke zich op ca. 100 m van de geplande windmolen bevinden.

In voorliggend rapport zijn zowel de resultaten van het grondonderzoek als het funderingsadvies opgenomen. Het advies omvat een geotechnisch funderingsontwerp, welke als input dient voor een verder constructief ontwerp.



Figuur 1.1: Luchtfoto met ligging projectlocatie [bron: Google Earth]

2 Projectuitgangspunten

Een omschrijving van het project en de voor het oriënterend funderingsadvies gebruikte constructieve en geotechnische uitgangspunten zijn in onderstaand hoofdstuk omschreven.

Indien wordt afgeweken van deze uitgangspunten, dient contact opgenomen te worden met Geonius. Hierbij dienen dan de mogelijke gevolgen van de aanpassing te worden vastgesteld. Afhankelijk van deze gevolgen, kan het noodzakelijk zijn het funderingsadvies hierop aan te passen.

2.1 Constructieve uitgangspunten

Vanuit geotechnisch oogpunt bevindt het project zich ten tijde van het opstellen van het rapport in een ontwerpfase. De constructieve uitgangspunten zijn op basis van de door opdrachtgever aangeleverde documenten vastgesteld, zie Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Toegepaste documenten

Ref.	Document / Tekening / Grondonderzoek	Versie	Datum
[1]	E.A.Z. Wind B.V. Informatie heipaalfundering EAZ-13.2 & EAZ-12"	V1	24-06-2019
[2]	E.A.Z. Wind B.V. Plattegrond Oudeweg 2 te Gersloot	-	10-05-2022
[3]	IJB Geotechniek opdracht nummer 61210732	-	01-04-2021

Voor het oriënterend funderingsadvies van de geplande windmolen zijn door ons de onderstaande constructieve uitgangspunten gehanteerd en/of aangenomen:

- Opdrachtgever is voornemens om een 4-tal inwendig geheide stalen buispalen toe te passen ten behoeve van de fundering;
- Op basis van terreinhoogten, verkregen via *AHN-viewer*, ligt het maaiveld ter plaatse van de geplande windmolen op ca. NAP -1,4 m;
- Het bouwpeil is op basis van voorgenoemd maaiveldniveau door ons aangenomen op ca. NAP -1,3 m;
- Het aanlegniveau van de fundering is conform aangeleverde documentatie [1] aangenomen op ca. 0,4 m- maaiveld. Dit komt overeen met ca. NAP -1,8 m;
- De rekenwaarde van de (maximale) paalbelastingen op druk [$F_{c,d}$] is conform aangeleverde documentatie [1] aangenomen op 55 kN per paal;
- De rekenwaarde van de (maximale) dynamische paalbelastingen op trek [$F_{t,d}$] is conform aangeleverde documentatie [1] aangenomen op 30 kN per paal;
- In dit rapport is uitgegaan van verticaal en centrische belaste funderingen alsmede een horizontaal maaiveld;
- Eventuele beperkingen of randvoorwaarden als gevolg van milieukundige alsmede archeologische aspecten zijn buiten beschouwing gelaten.

2.2 Geotechnische uitgangspunten

Het geotechnische ontwerp van de paalfundering is uitgewerkt conform de eisen betreffende constructieve veiligheid en bruikbaarheid conform de van toepassing zijnde onderdelen van hoofdstuk 7 van NEN 9997-1. Zowel NEN 9997-1 (Geotechnisch ontwerp Deel 1: Algemene regels + Nationale Bijlagen) en NEN-EN 1997-2 (Geotechnisch ontwerp Deel 2: Grondonderzoek en beproeving) vormen de basis van Eurocode 7.

Voor het ontwerp van een fundering op palen voldoet het grondonderzoek sec niet aan de norm NEN 9997, aangezien de sondering zich op een afstand van >25 m bevinden van de voorgenomen locatie. Conform de norm dient een sondering te worden uitgevoerd binnen 25 m van de geplande constructie.

Voor het uitvoeren van de berekeningen is gebruik gemaakt van een Deltares softwarepakket. Voor het voorliggende advies is dit het software programma D-Foundations, waarin de methode van Koppejan wordt toegepast. De specifieke uitgangspunten van de palen zijn opgenomen in het hoofdstuk 'Funderingsadvies'.

3 Bodemgesteldheid

In dit hoofdstuk is een interpretatie uitgevoerd van de verzamelde feitelijke informatie uit [3].

Volledigheidshalve zijn de overzichtstekening en de sondeergrafiek in de bijlagen opgenomen.

3.1 Bodemopbouw

De bodemopbouw is op basis van het uitgevoerde grondonderzoek geïnterpreteerd en beschreven in Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Bodemopbouw

Laag	van	tot	GRONDSOORT, conditie, bijmenging en (bijzonderheden)
	in m t.o.v. NAP		
1	-0,99	ca. -2,2	VEEN, plaatselijk klei- en/of zandhoudend
2	ca. -2,2	ca. -4,3	ZAND, los tot matig gepakt, silthoudend
3	ca. -4,3	ca. -7,4	SILT, zandig, plaatselijk humeus
4	ca. -7,4	ca. -10,7 ¹⁾	ZAND, zeer vast

Index:

¹⁾ = maximaal verkende diepte

3.2 Geohydrologische situatie

Ten tijde van de uitvoering van het grondonderzoek is niet naar de grondwaterstand gepeild. Op basis van openbare isohypsenkaarten en peilbuisgegevens kan worden gesteld dat een gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) op ca. NAP -1,0 à -1,5 m kan worden verwacht. Een grondwaterstand tot vlak onder maaiveldniveau kan worden verwacht.

De grondwaterstand verschilt van seizoen tot seizoen en wordt beïnvloed door zomer-/winterpeil, variërende neerslag, lagenopbouw en lokale omstandigheden (aanvoer van grondwater uit hoger gelegen gebieden, kwel en/of inzijging). Het is niet uit te sluiten dat in nattere of drogere jaargetijden een hogere of lagere grondwaterstand kan worden aangetroffen. Exacte vaststelling van de grondwaterpotentialen en fluctuatie hiervan, kunnen alleen middels frequente en/of langdurige peilbuismetingen worden verkregen.

4 Funderingsadvies

In onderstaand hoofdstuk is het funderingsadvies voor het nieuwbouw project uitgewerkt. Aspecten als type fundering, berekeningsmethode, paalpuntniveaus/-afmetingen en geotechnische draagkracht van de palen komen aan bod. Voor zaken omtrent het aanbrengen van de fundering en aanverwante aspecten wordt verwezen naar hoofdstuk 5 “Uitvoeringsaspecten”.

4.1 Algemeen

Gezien de aard van het project en de aangetroffen bodemopbouw adviseren wij een fundering op palen toe te passen. Op verzoek van opdrachtgever is een fundering op inwendig geheide stalen buispalen verder uitgewerkt.

De in dit rapport berekende draagkracht betreft de geotechnische draagkracht, welke wordt ontleend aan de ondergrond. Door de constructeur of leverancier moeten constructieve aspecten van de funderingspalen worden gecontroleerd en beoordeeld, waaronder sterkte, wapening, betonkwaliteit en dergelijke. Uitvoeringseffecten waar mogelijk rekening mee gehouden dient te worden zijn bijvoorbeeld: paalinstallatie, bovenbelasting vanuit materieel, (tijdelijke) gronddepots of ontgravingen.

4.2 Uitgangspunten paalberekening

In aanvulling op paragraaf 2.2 ‘geotechnische uitgangspunten’, zijn de in de berekening gehanteerde (paalklasse)factoren in onderstaande Tabel 4.1 vermeld.

Tabel 4.1 (paalklasse)factoren

Omschrijving	Symbool	Waarde
Paalkopniveau	-	ca. NAP -1,8 m
Minimale paallengte	-	$8 \cdot D_{eq}$
Groepseffect	-	Nee
Reductie traject $q_{c,III}$	-	Nee
Stijfheid constructie	-	<u>Niet</u> -stijf bouwwerk
Correlatiefactor (N= 1 sondering)	ξ_3	1,39
	ξ_4	1,39
Partiële factor negatieve kleef	$\gamma_{f,nk}$	1,00
Partiële factor weerstand punt/schacht	$\gamma_{b/s}$	1,20
Factor invloed paalbelasting wisseling (druk-trek)	$\gamma_{m,var;qc}$	1,50
Paalklasse schachtwrijving (druk)	α_s	0,010
Paalklasse schachtwrijving (trek)	α_t	0,007
Paalklasse punt	α_p	0,70
Paalvoetvorm	β	1,00
Paalvoetdwarsdoorsnede	s	1,00

4.3 Resultaat paalberekening

In Tabel 4.2 is het paalpuntniveau ten opzichte van NAP ter plaatse van de sondering aangegeven, uitgaande van een alleenstaande paal. Tevens is de rekenwaarde voor de draagkracht ($R_{c;net;d}$) en trekweerstand ($R_{t;d}$) aangegeven in kN bij toepassing van alleenstaande inwendig geheide stalen buispalen met diameter $\varnothing$ 219. De grondmechanisch opneembare trekkracht is inclusief het eigen gewicht van de paal.

Tabel 4.2 Paalpuntniveau, draagkracht en trekweerstand van **alleenstaande inwendig geheide stalen buispalen** $\varnothing$ 219¹⁾

Sondering Nr.	Maaiveldhoogte [m t.o.v. NAP]	Paalpuntniveau [m t.o.v. NAP]	Paallengte [m]	Draagkracht $R_{c;net;d}$ [kN]	Trekweerstand ²⁾ $R_{t;d}$ [kN]
1	-0,99	-8,80 ³⁾	7,00	375	34

Index:

¹⁾ = de voetplaat mag maximaal 10 mm uitsteken buiten de buis

²⁾ = trekweerstand inclusief eigen gewicht van de paal

³⁾ = extreem zwaar heiwerk over de laatste meter

De berekening van de rekenwaarde van de maximaal toelaatbare paalbelasting is opgenomen in Bijlage 3 in de vorm van een D-Foundations rapport. In de berekening van de paal draagkracht is negatieve kleef in rekening gebracht ten gevolge van zettingen die groter zijn dan de (kop)paalzakking. Indien het in deze berekening gehanteerde maaiveld ten gevolge van ophogingen of ontgravingen wijzigt, kan dit effect hebben op de negatieve kleef. Vooralsnog is uitgegaan dat geen noemenswaardige aanpassing van het maaiveld zal plaatsvinden.

De op trek belaste palen dienen over de volledige paallengte voorzien te zijn van wapening. E.e.a. conform opgave en/of controle van de constructeur of paalleverancier.

4.3.1 Last-zakkingsdiagram

In Bijlage 4 is het last-zakkingsdiagram opgenomen met de berekende paalpuntzakking [s_b], uitgaande van het geadviseerde paaltype met bijbehorende diameter, maatgevende sondering en bruikbaarheidstoestand van de optredende belastingen. Opgemerkt wordt dat hierbij sprake is van een niet-lineaire veer karakteristiek.

Voor de statische secant veerstijfheid van de kop van een vrijstaande op druk belaste paal geldt $k_{v;rep} = F_{c;rep} / s_{1;bgt.}$, waarbij de paalkopzakking [$s_{1;bgt.}$] de som is van de elastische verkorting [s_{el}] van de paal en de zakking van de paalpunt [s_b] nodig voor het mobiliseren van het paal draagkracht. De rekenwaarde van de veerstijfheid kan worden bepaald als $k_{v;d} = k_{v;rep} / \gamma_{m;k}$, waarbij $\gamma_{m;k} = 1,3$.

Bij concentraties van palen waarbij de hart-op-hart-afstand kleiner is dan tien maal de kleinste paalvoetdoorsnede dient rekening te worden gehouden met 2^{de} orde zetting. Deze zetting treedt op als gevolg van samendrukking van de lagen onder het niveau van vier maal de kleinste dwarsafmeting van de paalpunt en dieper. Voor de veercoëfficiënt geldt in dat geval $k_{v;rep} = F_{c;rep} / (s_{1;bgt.} + s_{2;bgt.})$, waarbij s_2 de extra zakking is als gevolg van het groepseffect in de dieper gelegen lagen. Op basis van de constructie en de (verwachte) paalopzet is geen rekening gehouden met 2^{de} orde zetting. Het wordt geadviseerd deze aanname door de constructeur te laten verifiëren.

5 Uitvoeringsaspecten

De in dit hoofdstuk opgenomen onderwerpen hebben betrekking op de uitvoering van de paalfundering en aanverwante aspecten vanuit voorliggend advies en/of geotechnisch oogpunt.

5.1 Grondwerk en/of ontgravingen

Alvorens met de bouwwerkzaamheden wordt begonnen dient de grondwaterstand te worden geverifieerd. Dit om vast te stellen of de grondwaterstand ten minste 0,5 m onder het benodigde verdichtings-, werk- of ontgravingsniveau ligt. Bij een hogere ligging is mogelijk een bemaling noodzakelijk. De controle van de grondwaterstand kan middels het graven van één of meerdere proefgaten en/of het plaatsen van peilbuizen. Het is aan te bevelen dit ten minste gedurende 1 maand voor aanvang te controleren.

Indien sleuven worden ontgraven voor het realiseren van de funderingspoeren, dient rekening gehouden te worden met het mogelijk inkalven van de wanden van de sleuven. Oorzaken van het inkalven kunnen zijn:

- Weinig cohesieve, weke en/of plaatselijk geroerde toplagen;
- Steile taluds;
- Uitspoeling door regenwater/afstromend hellingwater;
- En dergelijke.

Afhankelijk van het vrijkomende materiaal (puin, leem, zand, etc.) ten tijde van de ontgraving, kan een milieukundige verklaring (b.v. AP04) nodig zijn. Indien gewenst kan Geonius dit verzorgen.

5.2 Paal specifieke aspecten

Een stalen buiselement wordt in de grond geheid, gedrukt of gewrikt. Als het eerste buiselement bijna in de grond is gedreven, wordt een tweede buiselement op het eerste gelast, door middel van een manchets, die op de werf reeds op een van het einde van ieder element is geplaatst. Dit proces herhaalt zich totdat de buis op de gewenste diepte is gekomen. De buis wordt eventueel van een wapeningskorf voorzien en volgestort met beton. Zie ook de richtlijnen uitvoering stalen buispalen welke is opgenomen in de bijlagen.

Over de laatste meter wordt extreem zwaar heiwerk verwacht. Wij raden aan van tevoren de haalbaarheid met een lokale heier te bespreken.

De trillingen, die tijdens het heiproces optreden, kunnen (indien gewenst) door ons bureau gecontroleerd worden middels het trillingsmonitoringssysteem (VM-systeem). Op deze wijze kan het heiproces bij grote trillingen tijdig worden bijgestuurd indien de kans op schade aan bebouwing of storing aan (computer)apparatuur te groot wordt.

Middels kalenderen kan bepaald worden of de inheidiepte ten opzichte van de bovenkant van de draagkrachtige laag voldoende diep is doorgezet. De gegevens verkregen uit de sonderingen vormen hierbij de leidraad voor de beoordeling van het draagkracht.

Bijlagen

Bijlage 1

Bijlage 2

Bijlage 3

Bijlage 1 Situatietekening



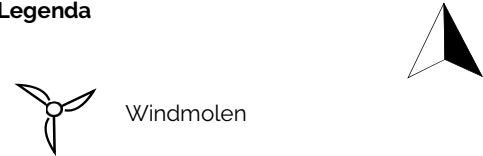
Plattegrond

Opdrachtgever:

Adres:
Oudeweg 2, 8457 EM Gersloot
Gemeente Heerenveen

Datum:
10-05-2021

Legenda



 Windmolen

Bouwvlak


Coördinaten windmolen(s)

id	x	y
0	193936.74	558448.84

Opgesteld door:
E.A.Z. Wind

Versie:
20210510

Coördinatenstelsel:
RD Amersfoort

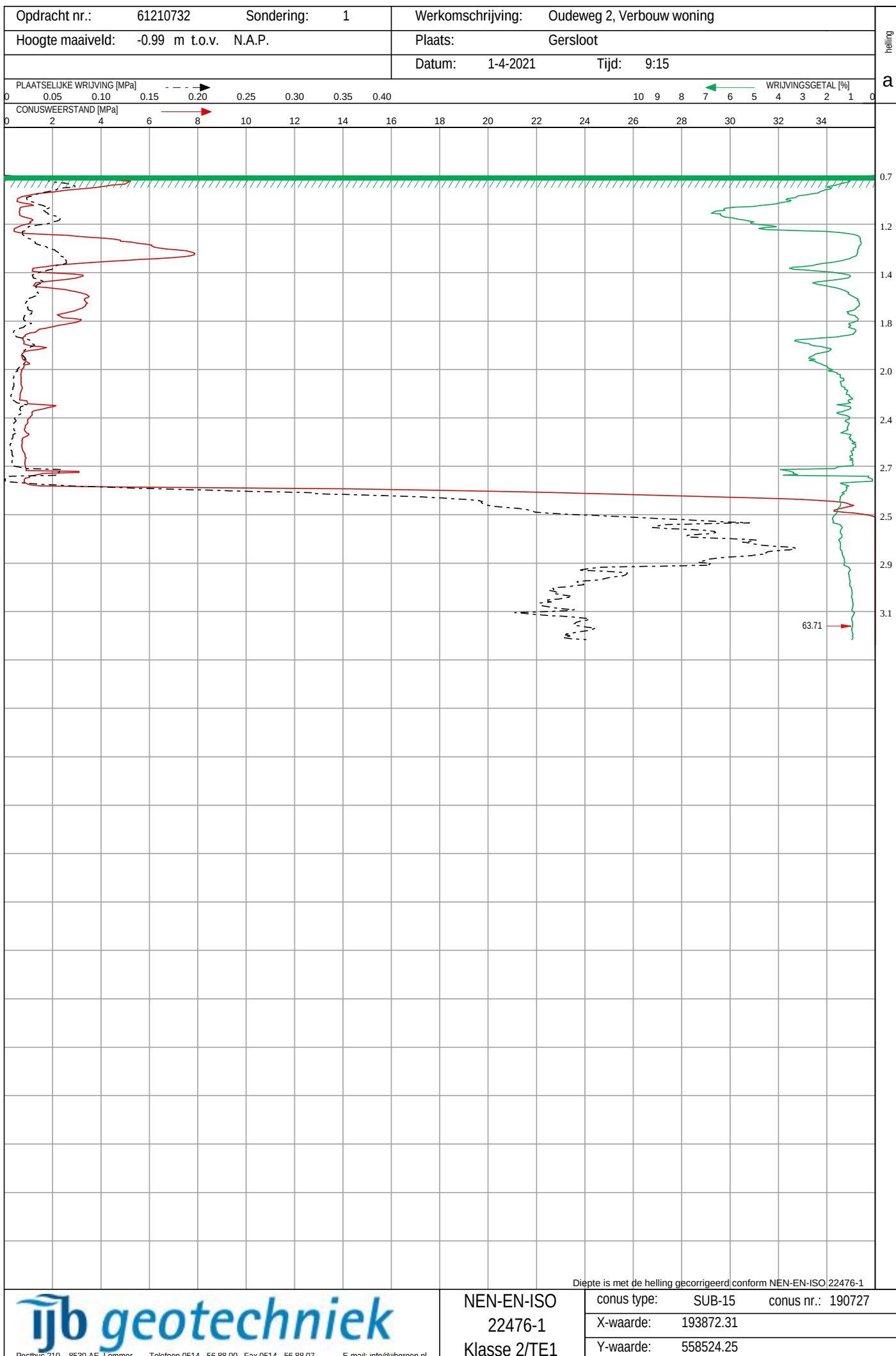
Bron:
PDOK services

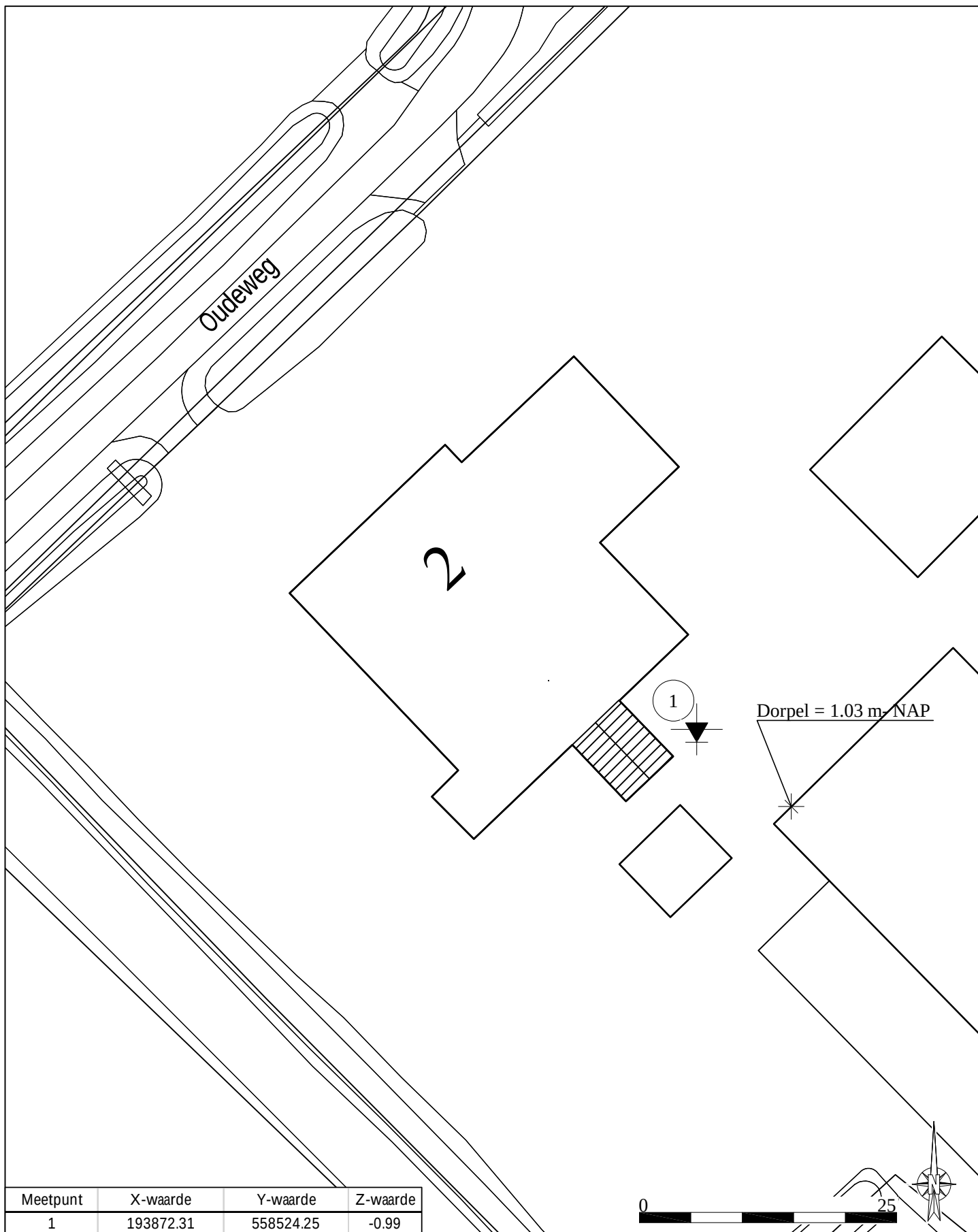
Schaal
1:1.000



0 25 50 75 100 m

Bijlage 2 Aangeleverd grondonderzoek





Meetpunt	X-waarde	Y-waarde	Z-waarde
1	193872.31	558524.25	-0.99

werk : Verbouw woning — Oudeweg 2
 opdrachtgever: Aannemingsbedrijf Bangma B.V.
 opdracht nr. : 61210732
 schaal : 1:500
 vast punt : 06—GPS Z waarde = M.V. hoogte t.o.v. N.A.P.
 getekend : JOS / HP
 gew. 1 :
 gew. 2 :

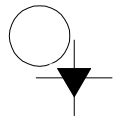
te : Gersloot
 datum: 01—04—2021



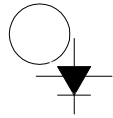
POSTBUS 210 8530 AE LEMMER TEL. 0514—568800

Legenda

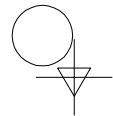
Sonderingen



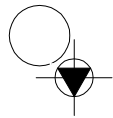
Sondering



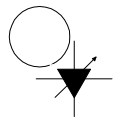
Sondering met plaatselijke kleefmeting



Niet uitgevoerde sondering



Sondering met boring

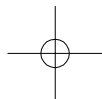


Sondering met waterspanningsmeting

Boringen



Boring



Niet uitgevoerde boring



Boring met peilbuis

Peilmerken



Put



Vast punt (dorpel, kruin weg, vloerpeil, etc)

Bijlage 3 Paalberekeningen

Rapport voor D-Foundations 22.1

Ontwerp en Verificatie volgens Eurocode 7 van Strook- en Paalfunderingen
Ontwikkeld door Deltares



Bedrijfsnaam: Geonius Geotechniek

Datum van rapport: 14-11-2022
Tijd van rapport: 12:55:19
Rapport met versie: 22.1.1.36055

Datum van berekening: 14-11-2022
Tijd van berekening: 12:54:53
Berekend met versie: 22.1.1.36055

Bestandsnaam: GA222345 Gersloot

Projectbeschrijving: Realisatie windmolen
Oudeweg 2 te Gersloot
D-Foundations GA222345 Gersloot



1 Inhoudsopgave

1 Inhoudsopgave	2
2 Invoergegevens	3
2.1 Algemene Invoergegevens	3
2.2 Rapportage Gegevens	3
2.3 Toepassingsgebied Model Bearing Piles	3
2.4 Bovenbouw	3
2.5 Paaltypen	3
2.5.1 Paaltype : Stalenbuis Geheid 219/239	3
3 Bearing Piles (EC7-NL): Resultaten van de optie Voorontwerp-Draagkracht bij vaste PPN's	4
3.1 Rekenparameters	4
3.1.1 Factoren Paal	4
3.1.2 Paaltype : Stalenbuis Geheid 219/239	4
3.2 Overzicht bij paaltype : Stalenbuis Geheid 219/239	4
3.3 Samenvatting Rekenwaarde Draagkracht in kN	5



2 Invoergegevens

2.1 Algemene Invoergegevens

Model Bearing Piles (EC7-NL)

2.2 Rapportage Gegevens

Geotechnisch adviseur :
Constructeur bovenbouw :
Opdrachtgever :
Titel 1 : Realisatie windmolen
Titel 2 : Oudeweg 2 te Gersloot
Titel 3 : D-Foundations GA222345 Gersloot
Nummer project : GA222345
Locatie project :

2.3 Toepassingsgebied Model Bearing Piles

De toetsingen uitgevoerd door het model BEARING PILES van D-FOUNDATIONS hebben betrekking op paalfunderingen waarop statische of quasi-statische belastingen werken die drukkrachten in de palen veroorzaken met dien verstande dat de berekening van de paalkrachten en de vervormingen is gebaseerd op sonderingen. Eventuele rijzing van (trek-)palen en mogelijke horizontale verplaatsingen van palen zijn niet in deze toetsingen opgenomen.

2.4 Bovenbouw

Stijfheidskarakteristiek : Slap

2.5 Paaltypen

2.5.1 Paaltype : Stalenbuis Geheid 219/239

Paaltype : Eigen paaltype (trillend)
Nota Bene: Dit user defined paaltype wordt beschouwd als een in de grond gevormd paaltype.
Daarom zal voor de karakteristieke waarde van de wrijvingshoek (δ) $1.0 \cdot \phi$ worden aangehouden.

Paaltype voor bepaling uitvoeringsfactor α_s in zand/grind:
Stalen buispaal met gesloten punt

Paaltype voor bepaling uitvoeringsfactor α_s in klei/leem/veen:
Eigen paaltype
 α_s klei/leem/veen : 0,0100
Een van de norm afwijkend type, onderbouwing gekozen α_s nodig.

Paaltype voor bepaling paalklasse factor α_p :
Stalen buispaal met gesloten punt

Paaltype voor gebruik in last-/zakingsdiagrammen : 1
Materiaaltype paal : Staal
Gladheidsbehandeling voor paal : Geen gladheidsbehandeling
Paalvorm : Ronde holle paal met gesloten punt
beta (Paalvoetvormfactor) conform figuur 7.i, NEN 9997-1:2016.
s (factor voor de invloed vorm dwarsdoorsnede paalvoet) conform NEN 9997-1:2016.

Paalafmetingen :
Diameter punt [m] : 0,219
Dikte wand [mm] : 5,0



3 Bearing Piles (EC7-NL): Resultaten van de optie Voorontwerp-Draagkracht bij vaste PPN's

3.1 Rekenparameters

3.1.1 Factoren Paal

gamma;b (NEN 9997-1:2016, tabel A.6 A.7 A.8, Grenstoestand EQU/STR/GEO) :	1,20
gamma;b (NEN 9997-1:2016, tabel A.6 A.7 A.8, de Bruikbaarheidsgrenstoestand) :	1,00
gamma;s (NEN 9997-1:2016, tabel A.6 A.7 A.8, Grenstoestand EQU/STR/GEO) :	1,20
gamma;s (NEN 9997-1:2016, tabel A.6 A.7 A.8, de Bruikbaarheidsgrenstoestand) :	1,00
ksi3 (naar eigen opgave) :	1,39
ksi4 (naar eigen opgave) :	1,39

3.1.2 Paaltype : Stalenbuis Geheid 219/239

Paaltype : Eigen paaltype (trillend)
 Nota Bene: Dit user defined paaltype wordt beschouwd als een in de grond gevormd paaltype.
 Daarom zal voor de karakteristieke waarde van de wrijvingshoek (δ) $1.0 \cdot \phi$ worden aangehouden.

Paaltype voor bepaling uitvoeringsfactor α_s in zand/grind:
 Stalen buispaal met gesloten punt

Paaltype voor bepaling uitvoeringsfactor α_s in klei/leem/veen:
 Eigen paaltype
 α_s klei/leem/veen : 0,0100
 Een van de norm afwijkend type, onderbouwing gekozen α_s nodig.

Paaltype voor bepaling paalklasse factor α_p :
 Stalen buispaal met gesloten punt

Paaltype voor gebruik in last-/zakkingsdiagrammen : 1
 Materiaaltype paal : Staal
 Gladheidsbehandeling voor paal : Geen gladheidsbehandeling
 Paalvorm : Ronde holle paal met gesloten punt
 beta (Paalvoetvormfactor; figuur 7.i, NEN 9997-1:2016 art. 7.6.2.3(g) : 1,00
 s (NEN 9997-1:2016 art. 7.6.2.3(h) : factor voor invloed vorm dwarsdoorsnede paalvoet) : 1,00

Paalafmetingen :
 Diameter punt [m] : 0,219
 Dikte wand [mm] : 5,0

Naam Sondering	Alpha_s Zand/ Grind	Alpha_s Klei/Leem Veen	Alpha_p
1	0,0100	--	0,7000

3.2 Overzicht bij paaltype : Stalenbuis Geheid 219/239

Naam Sondering	PPN [m R.N.]	Maaiveld [m R.N.]	Rb;cal;max [kN]	Rs;cal;max [kN]	Rc;cal;max [kN]	Rc;d [kN]	F;nk;k [kN]	Fnk;d [kN]
1	-8.80	-0,99	565	134	699	419	41	41



3.3 Samenvatting Rekenwaarde Draagkracht in kN

Naam Sondering	Maaiveld [m R.N.]	PPN [m R.N.]	Stalenbuis Ge.. Rc;net;d [kN]
1	-0,99	-8,80	378,00

Einde Rapport

Rapport voor D-Foundations 22.1

Ontwerp en Verificatie volgens Eurocode 7 van Strook- en Paalfunderingen
Ontwikkeld door Deltares



Bedrijfsnaam: Geonius Geotechniek

Datum van rapport: 14-11-2022
Tijd van rapport: 12:56:33
Rapport met versie: 22.1.1.36055

Datum van berekening: 14-11-2022
Tijd van berekening: 12:56:13
Berekend met versie: 22.1.1.36055

Bestandsnaam: GA222345 Gersloot (trek)

Projectbeschrijving: Realisatie windmolen
Oudeweg 2 te Gersloot
D-Foundations GA222345 Gersloot (trek)



1 Inhoudsopgave

1 Inhoudsopgave	2
2 Invoergegevens	3
2.1 Algemene Invoergegevens	3
2.2 Rapportage Gegevens	3
2.3 Toepassingsgebied Model Tension Piles (EC7-NL)	3
2.4 Paaltypen	3
2.4.1 Paaltype : Stalenbuis Geheid 219/239	3
2.5 Optionele Parameters	3
3 Tension Piles (EC7-NL): Draagkracht bij vaste PPN's.	4
3.1 Rekenparameters	4
3.1.1 Factoren Paal	4
3.1.2 Paaltype : Stalenbuis Geheid 219/239	4
3.2 Resultaten voor alle sonderingen	4
3.2.1 Overzicht bij paaltype : Stalenbuis Geheid 219/239	4
3.2.1.1 Paalgroep 1	4
3.3 TER INDICATIE: Resultaten bij gebruik Ksi3	4
3.3.1 Overzicht bij paaltype : Stalenbuis Geheid 219/239	4
3.3.1.1 Paalgroep 1	4



2 Invoergegevens

2.1 Algemene Invoergegevens

Model Tension Piles (EC7-NL)

2.2 Rapportage Gegevens

Geotechnisch adviseur :
Constructeur bovenbouw :
Opdrachtgever :
Titel 1 : Realisatie windmolen
Titel 2 : Oudeweg 2 te Gersloot
Titel 3 : D-Foundations GA222345 Gersloot (trek)
Nummer project : GA222345
Locatie project :

2.3 Toepassingsgebied Model Tension Piles (EC7-NL)

De berekeningen uitgevoerd door het model TENSION PILES (EC7-NL) van D-FOUNDATIONS hebben betrekking op paalfunderingen waarop statische of quasi-statische belastingen werken die trekkrachten in de palen veroorzaken met dien verstande dat de berekening van de paalkrachten en rijzing is gebaseerd op sonderingen. De paalkrachten zijn gebaseerd op de NEN 9997-1:2016, hoofdstuk 7. Ook paal- en veiligheidsfactoren zijn gebaseerd op NEN 9997-1:2016. Met horizontale verplaatsingen van de palen wordt geen rekening gehouden. Verticale verplaatsingen (rijzing) worden voor de toetsing berekend gebaseerd op de NEN-artikelen zoals deze worden gebruikt voor de drukpalen. De geldigheid van de NEN 9997-1:2016 is beperkt tot palen met een lengte tussen de 7 en 50 m en een minimale lengte/diameter verhouding van 13.5.

2.4 Paaltypen

N.B. : indien $\alpha; t$ niet door de gebruiker is opgegeven geldt:
- $\alpha; t$ volgens tabel 7.g en tabel 7.h van NEN 9997-1:2016
- voor klei geldt: $\alpha; t$ is afhankelijk van relatieve diepte en sondeerwaarde
- voor veen geldt: $\alpha; t = 0$
- voor zand/grind geldt: $\alpha; t$ is mede afhankelijk van de mediaan

Aantal paaltypen : 1

2.4.1 Paaltype : Stalenbuis Geheid 219/239

Paaltype voor uitvoeringsfactor ($\alpha; t$) zand/grind : Stalen buispaal met gesloten punt

Paaltype voor uitvoeringsfactor ($\alpha; t$) klei : Eigen paaltype
Uitvoeringsfactor klei [-] : 0,0070
Materiaaltype paal : Staal
Paalvorm : Ronde holle paal met gesloten punt

Paalafmetingen :
Diameter punt [m] : 0,219
Dikte wand [mm] : 5,0

2.5 Optionele Parameters

Volume gewicht water [kN/m³] : 9,81
Bovenbelasting [kN/m²] : 0,00



3 Tension Piles (EC7-NL): Draagkracht bij vaste PPN's.

3.1 Rekenparameters

3.1.1 Factoren Paal

ksi3 (naar eigen opgave) :	1,39
ksi4 (naar eigen opgave) :	1,39
Opgegeven gamma;var [-]	1,500
gamma;st factor volgens NEN 9997-1:2016 A.3.3.2 [-]	1,350
gamma;gamma factor volgens NEN 9997-1:2016 tabel A.4a [-]	1,1

3.1.2 Paaltype : Stalenbuis Geheid 219/239

Paaltype voor uitvoeringsfactor (alpha;t) zand/grind :	Stalen buispaal met gesloten punt
Paaltype voor uitvoeringsfactor (alpha;t) klei :	Eigen paaltype
Uitvoeringsfactor klei [-] :	0,0070
Materiaaltype paal :	Staal
Paalvorm :	Ronde holle paal met gesloten punt
Paalafmetingen :	
Diameter punt [m] :	0,219
Dikte wand [mm] :	5,0

3.2 Resultaten voor alle sonderingen

3.2.1 Overzicht bij paaltype : Stalenbuis Geheid 219/239

3.2.1.1 Paalgroep 1

Aantal palen in deze paalgroep : 1
Paalnamen in deze paalgroep
1

PPN [m R.N.]	Rt;d min [kN]	Rt;d gem [kN]	Rt;d [kN]	Gebruikte Ksi [-]
-8,80	34,81	34,81	34,81	Ksi4

Rt;d min: $[(Rs;cal)_{min} / Ksi4] / \Gamma_{s;t}$
Rt;d gem: $[(Rs;cal)_{gem} / Ksi3] / \Gamma_{s;t}$

3.3 TER INDICATIE: Resultaten bij gebruik Ksi3

3.3.1 Overzicht bij paaltype : Stalenbuis Geheid 219/239

3.3.1.1 Paalgroep 1

Aantal palen in deze paalgroep : 1
Paalnamen in deze paalgroep
1

Naam Sondering	PPN [m R.N.]	Rt;d Indicatief [kN]	Rt;kluit;d [kN]	Paal gewicht [kN]	Trekkracht van cohesieve lagen [%]
1	-8,80	34,81	1313,14	1,45	0,00

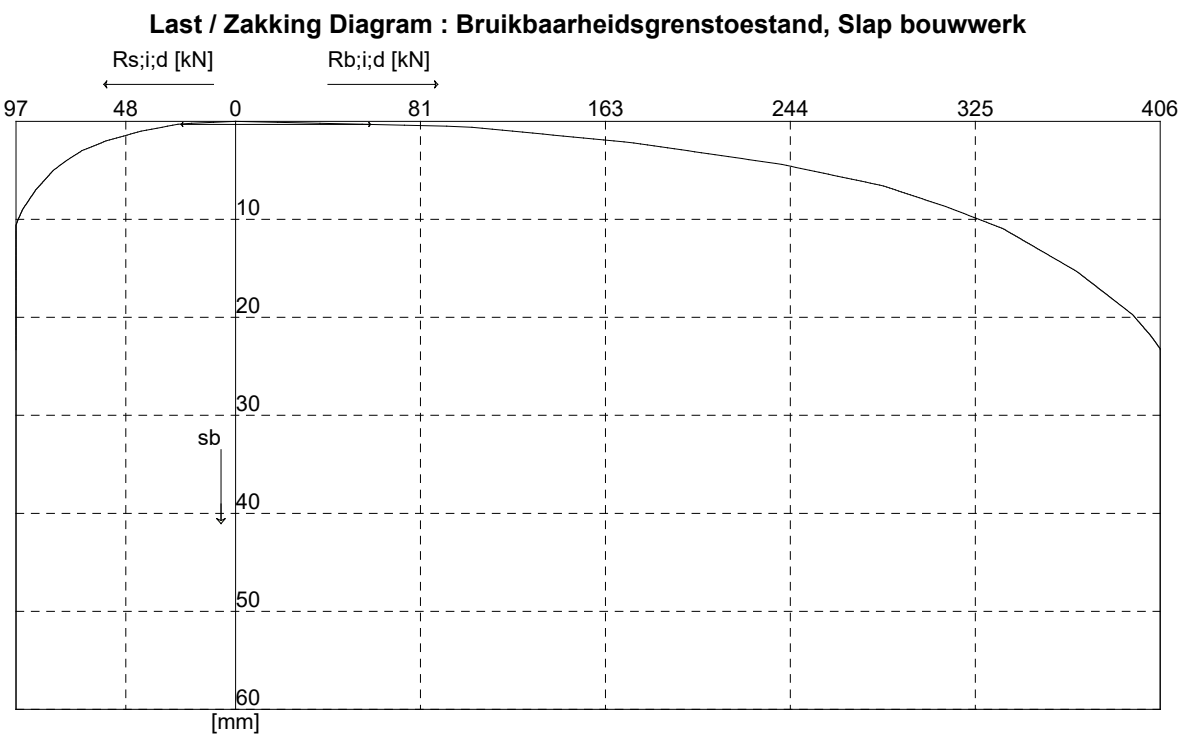


Naam Sondering	Alpha t gem. totaal	Alpha t gem. zand/grind	Alpha t gem. klei/veen/leem
1	0,0070	0,0070	0,0000

NB: De User defined waarde voor Alpha t wordt aangepast indien het grondprofiel niet geheel uit klei en/of veen bestaat. Let er ook op dat Alpha t voor veen 0 is.

Einde Rapport

Bijlage 4 Last-zakkingsdiagram



Paal 1 Sond. 1, maatgevende situatie, paaltype : Eigen paaltype (trillend)
 Ronde holle paal met gesloten punt, paalpuntniveau = -8,80 [m], D paalpunt [m] 0,219 D inwendig [m] 0,209

$F_{c;tot;i;d} = 83,3 \text{ kN}$ $sb = 0,3 \text{ mm}$
 $R_{s;i;d} = 23,9 \text{ kN}$ $R_{b;i;d} = 59,4 \text{ kN}$



Realisatie windmolens
 Oudeweg 2 te Gersloot
 D-Foundations GA222345 Gersloot

Postbus 1097
 6160 BB Geleen
 Tel
 Fax

+31 (0) 88 1300 600
 +31 (0) 88 1300 669

D-Foundations 22.1 : GA222345 Gersloot fol

datum
 14-11-2022

get.
 ABH

GA222345

ctf.

Bijl.

form.
 A4

Geonius.nl

Geonius is een middelgroot interdisciplinair ingenieursbureau met brede expertise binnen de GWW- en bouwsector. Door onze unieke combinatie van vakkennis op het gebied van wegen, geotechniek, milieu, geodesie, water, ruimtelijke ontwikkeling, landschap, archeologie en ecologie zijn wij goed in staat mee te denken met de klant en projecten zelfstandig uit te voeren. Grenzen tussen de verschillende divisies vervagen, waardoor steeds meer projecten integraal door ons worden uitgevoerd.

Geonius hecht veel waarde aan een informele, positieve bedrijfscultuur, het welzijn van medewerkers en maatschappelijke betrokkenheid.



Wegen



Geotechniek



Milieu



Geodesie



Water



Ruimtelijke ontwikkeling



Landschap



Archeologie



Ecologie



Tel. 070-7780680

info@eazwind.com

www.eazwind.com

Datum: 8-2-2022

Betreft: Onderbouwing achterwege laten
natuurtoets

Kantoor: Cort van der Lindenstraat 19
2288 EV | Rijswijk

Opdrachtgever:

Uitvoerende instantie: E.A.Z. Wind

Locatie:

Productie: Industrieweg 23a
9601LJ | Hoogezand, Groningen

“In de provincie Fryslân is het sinds 1 juli 2020 op basis van de Verordening Romte toegestaan om op erven kleine windmolentjes te plaatsen maximale ashoogte van 15 meter. In de provincie Groningen, waar in 2016 de eerste kleine windmolentjes reeds zijn gerealiseerd, is de nodige ervaring opgedaan in de besluitvorming rondom deze molentjes.

Voorlopig kan geconcludeerd worden dat dergelijke kleine windmolentjes geen verstoring veroorzaken t.a.v. vliegroutes van vleermuizen. Ook is de ervaring dat de realisatie van de molentjes een minimale hoeveelheden aanvaringsslachtoffers onder vleermuizen en vogels tot gevolg heeft (maximaal 1 aanvaringsslachtoffer/windmolen/jaar). Dit is gebleken uit een kleinschalig onderzoek dat in de provincie Groningen is uitgevoerd. Een en ander heeft te maken met de beperkte hoogte van de molentjes, de locatie van de molentjes (over het algemeen dicht bij de bebouwing op en aansluitend op het erf) en de snelheid van de wieken.

Om de voorlopige resultaten van het kleinschalige onderzoek te valideren, laten provincie Groningen en Fryslân in 2021/2022 een grootschaliger onderzoek uitvoeren naar de te verwachten effecten. Vooralsnog is de verwachting, gezien de ervaringen in Groningen, dat er geen significant negatieve effecten zijn te verwachten bij het realiseren van de betreffende kleine windmolentjes op de erven in het landelijk gebied. Om deze reden wordt afgezien van een separate toetsing in het kader van de Wet natuurbescherming van alle afzonderlijke windmolentjes. Dat betekent dat er voor de plaatsing van dergelijke molentjes geen ecologische onderzoeken gevraagd worden aan de initiatiefnemer. Uiteraard dient wel voldaan te worden aan de randvoorwaarden uit de Verordening Romte.”

Beleidsmedewerker Ruimte
Afdeling Omgevingszaken
Werkdagen: ma t/m vr

provinsje fryslân
provincie fryslân

Tweebaksmarkt 52 (bezoekersadres)
Postbus 20120, 8900 HM Leeuwarden
(058) 292 5925 / provincie@fryslan.nl
WhatsApp: 06 10 26 88 31
www.fryslan.nl