

BESCHIKKING WET ALGEMENE BEPALINGEN OMGEVINGSRECHT	
Aanvraag Datum aanvraag Datum definitieve beschikking Olo nummer Dossier nummer	2 juni 2022 13 december 2022 7020939 073776880
Gegevens aanvrager Naam aanvrager t.a.v. Adres Postcode en plaats	Veehouderij B.M. Van der Kooi De heer B. van der Kooi Marwei 1 9064 KN Aldtsjerk
Gegevens locatie Omschrijving aanvraag Adres Postcode en plaats Activiteiten op de locatie	het realiseren van een kleine windmolen Marwei 1 9064 KN Aldtsjerk - Bouwen van een bouwwerk - Handelen in strijd met regels ruimtelijke ordening

Met vriendelijke groet,
Namens burgemeester en wethouders van Tytsjerksteradiel,

H. Veenhuizen
medewerker Vergunningen (specialist bouwen)

deze brief is elektronisch aangemaakt en daarom niet ondertekend

AANVRAAG

Op 2 juni 2022 is een aanvraag voor een omgevingsvergunning ontvangen. De aanvraag heeft betrekking op de locatie Marwei 1, 9064 KN Aldtsjerk.

TOESTEMMINGEN DIE VALLEN ONDER DE OMGEVINGSVERGUNNING

De aanvrager vraagt toestemming voor het volgende project:

- Het bouwen van een bouwwerk, als bedoeld in artikel 2.1, lid 1, onder a van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht.
- Het handelen in strijd met de regels ruimtelijke ordening, als bedoeld in artikel 2.1, lid 1, onder c van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht.

TOELICHTING

Voor de voorbereiding van de beschikking is de uitgebreide voorbereidingsprocedure van de Algemene wet bestuursrecht en paragraaf 3.3 van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht gevolgd. De aanvraag is getoetst aan het Besluit omgevingsrecht en de Ministeriële regeling omgevingsrecht. Gebleken is dat uw aanvraag compleet is ingediend. De aanvraag om omgevingsvergunning is op grond van artikel 2.10 en 2.12 Wabo getoetst aan de geldende ruimtelijke regelgeving (o.a. bestemmingsplan), de redelijke eisen van welstand, het Bouwbesluit en de bouwverordening.

BESTEMMINGSPLAN

Het perceel waarop het bouwplan betrekking heeft is gelegen in het bestemmingsplan *Buitengebied 2013*. Het heeft hierin de bestemming *Agrarisch – bedrijf grondgebonden*. Het bouwplan is strijdig met dit bestemmingsplan. De strijdigheid betreft dat er in artikel 53.2 van het bestemmingsplan *Buitengebied 2013* staat omschreven dat er geen windturbines gebouwd mogen worden.

De provincie heeft in de provinciale verordening onlangs ruimte opgenomen voor kleine windmolens bij bestaande agrarische bedrijven. De kleine windmolens kunnen een bijdrage leveren aan de klimaatdoelstellingen van de gemeente.

Binnen het geldende bestemmingsplan zijn geen mogelijkheden om af te wijken van de regels. Medewerking is mogelijk met toepassing van een procedure voor een planologische afwijking ex artikel 2.12, lid 1, sub a, onder 3 Wabo (Wet algemene bepalingen omgevingsrecht). Op vernoemde afwijkingsmogelijkheid ziet de aanvraag. Voor dit plan is een ruimtelijke onderbouwing opgesteld die onderdeel uitmaakt van deze vergunning. Op basis van deze ruimtelijke onderbouwing willen we afwijken van het bestemmingsplan *Buitengebied 2013* en medewerking verlenen aan het realiseren van de windmolen.

VERKLARING VAN GEEN BEDENKINGEN (VVGB)

Op 19 november 2020 heeft de gemeenteraad van Tytsjerksteradiel een lijst vastgesteld met categorieën waarvoor een 'verklaring van geen bedenkingen' niet nodig is. In deze lijst is onder andere "kleine windmolens bij bestaande agrarische bedrijven" opgenomen.

Het plan betreft een windmolen met een as-hoogte van 15m. Waarmee wordt voldaan aan de voorwaarde 'kleine' windmolen, waardoor voor dit plan geen verklaring van geen bedenkingen noodzakelijk is.

ADVIES PROVINSJE FRYSLÂN

Het plan is voorgelegd aan de provincie. Op 26 september 2022 heeft ze aangegeven dat er voldaan wordt aan de gestelde eisen in artikel 9.1.1, lid 2 van in de Verordening Romte Fryslân.

WELSTAND

Het bouwplan is getoetst aan het gemeentelijke welstandsbeleid en voldoet aan de redelijke eisen van welstand.

BOUWBESLUIT

Het bouwplan voldoet aan de voorschriften van het Bouwbesluit. Uiteraard zal de houder van de omgevingsvergunning zorg moeten dragen voor het voldoen aan het Bouwbesluit 2012.

BOUWVERORDENING

Het bouwplan voldoet aan de voorschriften van de bouwverordening.

LEGES

Op grond van de gemeentelijke legesverordening bent u voor het in behandeling nemen van uw aanvraag voor een omgevingsvergunning leges verschuldigd. Voor het betalen van de leges ontvangt u binnenkort een factuur.

BESLUIT

Voor wat betreft het bouwplan is er geen grond de vergunning te weigeren, gelet op artikel 2.10, lid 1, en artikel 2.12, lid 1, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht.

Burgemeester en wethouders besluiten, gelet op de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht:

- de gevraagde vergunning te verlenen, overeenkomstig de bij dit besluit behorende aanvraag met bijlagen;
- de volgende in het olo opgenomen en gekenmerkte documenten horen bij dit besluit:

stuknaam:

stukdatum:

- | | |
|---|-----------------|
| - aanvraagformulier | d.d. 02-06-2022 |
| - 01-EAZ_13.2_informatie brochure_NL A4-01.pdf | d.d. 02-06-2022 |
| - 07-Afmetingen EAZ 13.2 Stelconplaten 83101-07.pdf | d.d. 02-06-2022 |
| - 11-Montage Boutverbinding H-Balken 83502-11.pdf | d.d. 02-06-2022 |
| - 13- Montage Systeem Betonnen Fundering 83503va-13.pdf | d.d. 02-06-2022 |
| - 05-Minimale Bodemkarakterisering tbv Fundering 82213-05.pdf | d.d. 02-06-2022 |
| - 04-Structurele Beoordeling Fundering EAZ 13.2-82206-04.pdf | d.d. 02-06-2022 |
| - 09-Lassamenstelling Mast 15 m EAZ 13.2-83405-09.pdf | d.d. 02-06-2022 |
| - 03-Structurele Beoordeling Mast EAZ 13.2-82205-03.pdf | d.d. 02-06-2022 |
| - 10-Montage Systeem Fundering H-balken Vulblok-83501vA-10.pdf | d.d. 02-06-2022 |
| - 06-Ontwerpbelastingen EAZ 13.282218-06.pdf | d.d. 02-06-2022 |
| - 20220223_overzicht van der Kooi.pdf | d.d. 02-06-2022 |
| - Onderbouwing Energiebehoefte van der Kooi te Aldtsjerk.pdf | d.d. 02-06-2022 |
| - 20220317 Toelichting bodemonderzoek bij stelconplaat vd Kooi te Aldtsjerk.pdf | d.d. 02-06-2022 |
| - BRO DGM Appelboor vd Kooi te Aldtsjerk.pdf | d.d. 02-06-2022 |
| - 16-Montage Systeem Fundering en Mast 835053-16.pdf | d.d. 02-06-2022 |
| - 14-Montage Laswerk Fundering gekeurd 83504 14.pdf | d.d. 02-06-2022 |
| - 20220524 Plattegrond van der Kooi te Aldtsjerk afstanden tot perceelgrenzen.pdf | d.d. 02-06-2022 |
| - Onderbouwing geen natuurtoets Friesland van der Kooi.pdf | d.d. 02-06-2022 |
| - Ruimtelijke onderbouwing Van der Kooi | d.d. 26-07-2022 |

- de bijgevoegde voorschriften te verbinden aan de vergunning.

ACHTERBLAD

ZIENSWIJZEN

Deze ontwerpbeschikking heeft vanaf 20 oktober 2022 tot en met 30 november 2022 ter inzage gelegen voor zienswijzen. Er zijn geen zienswijzen ontvangen in deze periode.

BEROEPSCLAUSULE EN INWERKINGTREDING

Niet mee eens?

Een belanghebbende die tijdig een zienswijze heeft ingebracht tegen het ontwerpbesluit, kan vanaf de dag na de eerste dag van terinzagelegging gedurende een periode van zes weken beroep instellen bij de Rechtbank Noord-Nederland. Dit kan per brief of langs de digitale weg (loket.rechtspraak.nl/bestuursrecht). Ook voor belanghebbenden, die redelijkerwijs niet kan worden verweten dat zij geen zienswijze hebben ingediend, staat deze rechtsgang open. Het beroepschrift moet zijn ondertekend en moet tenminste bevatten de naam en het adres van de indiener, de dagtekening, een aanduiding van het besluit waartegen het beroep zich richt en de gronden (motivering) van het beroep. De kennisgeving m.b.t. de omgevingsvergunning is digitaal raadpleegbaar op www.tdiel.nl en op www.ruimtelijkeplannen.nl

(NL.IMRO.0737.00BPVIOV09-VG01)

De vergunning treedt in werking met ingang van de dag na afloop van de beroepstermijn. Indien onverwijld spoed dit vereist, kan een voorlopige voorziening worden aangevraagd bij de Voorzieningenrechter van de Rechtbank Leeuwarden. Als gedurende de beroepstermijn een voorlopige voorziening is aangevraagd, treedt het besluit nooit eerder in werking dan nadat op het verzoek om voorlopige voorziening is beslist. N.B. voor het behandelen van uw aanvraag bij de rechtbank moet u griffierecht betalen (zie www.rechtspraak.nl). U kunt alleen een voorlopige voorziening vragen als u ook een beroepschrift indient

VOORSCHRIFTEN

Voor de activiteit Bouwen:

1. De bouw dient uitgevoerd te worden volgens de voorschriften uit het Bouwbesluit 2012 en aanverwante normen en richtlijnen.
2. Voordat gestart wordt met de bouw dient aan het Team Vergunningen te zijn doorgegeven wie:
het bouwwerk gaat bouwen;
Hierbij kan het gaan om een aannemer, onderaannemers of zelfbouw.
3. Eventuele aanvullingen en/of wijzigingen van de constructie dienen 3 weken voordat gestart wordt met het betreffende onderdeel bij Team Vergunningen ter beoordeling ingediend te worden.

OPMERKINGEN

Voor de activiteit Bouwen

1. De rooilijn en het peil dienen door het bouwtoezicht op het bouwterrein te worden aangegeven. Voor het maken van een afspraak kunt u contact opnemen met het Team Handhaving (telefoonnummer: 140511).
2. Wij vragen de houder van de vergunning om een aantal zaken zo spoedig mogelijk aan het Team Handhaving door te geven:
 - Minimaal twee werkdagen voor de feitelijke start van de bouwwerkzaamheden een melding "start bouwwerkzaamheden". U kunt melden via de website [www.t-diel.nl](http://www.t-diel.nl/bouwen-met-vergunning-start-en-gereed-melden) (<https://www.t-diel.nl/bouwen-met-vergunning-start-en-gereed-melden>) of schrijven naar gemeente Tytsjerksteradiel, Team Handhaving, Postbus 3, 9250 AA Burgum.
 - Tenminste twee werkdagen van te voren: het uitgraven van de bouwput of de start van de heiwerkzaamheden met opgave van soort heiblok, het slaan van proefpalen daaronder begrepen;
 - Tenminste één werkdag van te voren: de aanvang van het storten van beton;
 - De voltooiing van grondleidingen, huisaansluitingen en afvoerputten, direct na voltooiing, zonder dat de grond is aangebracht;
 - Op de dag van beëindiging van de bouwwerkzaamheden een bericht "gereedmelding bouwwerkzaamheden". U kunt melden via de website www.t-diel.nl (<https://www.t-diel.nl/bouwen-met-vergunning-start-en-gereed-melden>) of schrijven naar gemeente Tytsjerksteradiel, Team Handhaving, Postbus 3, 9250 AA Burgum.
3. Na de bouw van het bouwwerk, waarvoor vergunning is verleend, is het verboden dit bouwwerk in gebruik te geven of te nemen indien het bouwwerk niet gereed is gemeld bij het bouwtoezicht.
4. Zodra het bouwwerk klaar is, zal dit (zonodig) door de landmeetkundige dienst van de gemeente Tytsjerksteradiel worden ingemeten.
5. Indien u binnen 26 weken na verlenen van deze vergunning niet met de bouw bent gestart, kan de vergunning door de gemeente worden ingetrokken. Indien u geen gebruik wilt maken van deze vergunning kunt u deze laten intrekken. Indien u dat binnen 1 jaar doet heeft u recht op teruggave van 30 % van de betaalde leges.

Algemeen:

Hergebruik en toepassen van een bouwstof en grond bedrijf

Bouwstof

Voor het toepassen van een bouwstof (bv gebroken asfalt/ granulaat) dient een milieuhygiënische verklaring volgens het Besluit bodemkwaliteit overlegd kunnen worden met het bevoegd gezag.

- U mag alleen bouwstoffen toepassen waarvan de kwaliteit voldoet aan de maximale samenstellings- en emissiewaarden.
- U moet de kwaliteit kunnen aantonen met een milieuhygiënische verklaring.
- U mag bouwstoffen alleen toepassen in een functioneel werk.
- Bij hergebruik van bouwstoffen zonder bewerking en onder dezelfde condities, zonder verandering van eigenaar, moet u de toepassing melden bij het Meldpunt bodemkwaliteit.
- U moet zich houden aan eventuele aanvullende toepassingsvoorwaarden of beperkingen.

Grond

Bij hergebruik en toepassen van grond is het Besluit Bodemkwaliteit van toepassing. Hergebruik en toepassen van grond is alleen toegestaan als het schone grond betreft (partijkeuring Besluit bodemkwaliteit) of als het voldoet aan de kwaliteitseisen zoals gesteld in de Nota Bodembeheer inclusief bodemkwaliteitskaarten van de gemeente Tytsjerksteradiel.

Wanneer er schone grond of baggerspecie > 50 m³, licht verontreinigde grond of baggerspecie wordt toegepast, of tijdelijk wordt opgeslagen dient u op basis van artikel 42. lid 1 en 2 van het Besluit Bodemkwaliteit dit te melden op de website bij het landelijke meldpunt bodemkwaliteit via Agentschap NL (<https://www.meldpuntbodemkwaliteit.nl/Voorportaal.aspx>).

Op de gemeentelijke website www.t-diel.nl onder zoekfunctie "bodem en grond", product "bodembrochure" kunt u onze bodembrochure en/of Nota Bodembeheer vinden. In aanvulling op de brochure zijn bodemkwaliteitskaarten (ontgravings- en toepassings- en functiekaart) aanwezig.

Via de interactieve website <http://www.geosolutions.nl/sites/bkk-fryslan/> worden de diverse kaartlagen gecombineerd en kunt u snel in beeld krijgen waar grond wel of niet mag worden toegepast. Naar aanleiding van het aangeven van de herkomst en toepassingslocatie kan een rapportage geprint worden. Deze rapportage kan als bijlage bij de nodige melding Besluit bodemkwaliteit worden toegevoegd. Op de website is een link aanwezig naar het Meldpunt Bodemkwaliteit.

Indien u van plan bent grond en/of bouwstoffen toe te passen en heeft u hier vragen over, dan kunt u contact op nemen met de Beleidsmedewerker bodem, mevr. S. Minnema-Van der Weg van de gemeente (tel. 0511 – 460 964).

Hergebruik en toepassen van een bouwstof en grond particulier

U bent vrijgesteld van de verplichting om de kwaliteit aan te tonen en van de meldingsplicht. De zorgplicht en kwaliteitseisen van het Besluit bodemkwaliteit blijven echter wel van kracht.

Wij adviseren u een milieuhygiënische verklaring volgens het Besluit bodemkwaliteit te bewaren voor het toepassen van het gebroken asfalt.



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.

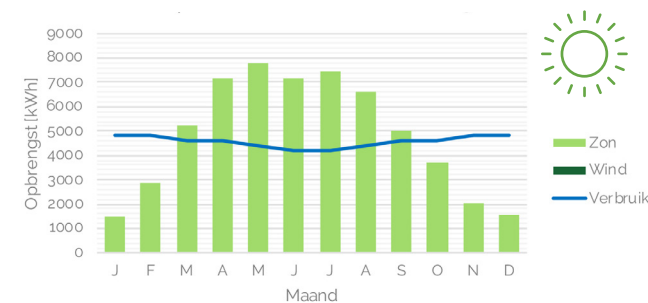
Alles met zonnepanelen?

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:



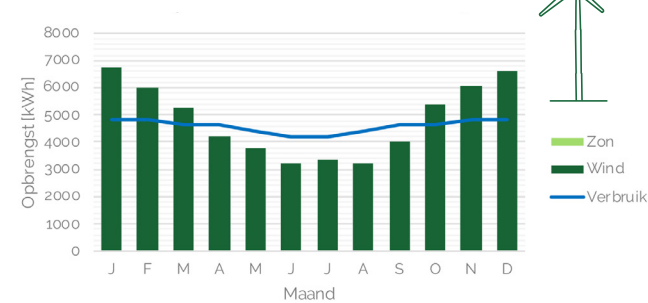
Alles met een windmolen?

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:



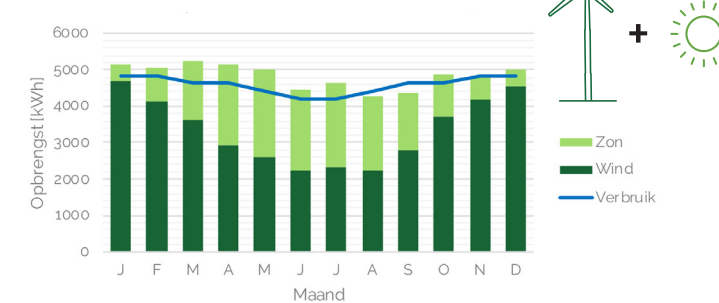
De combinatie van wind en zon.

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.

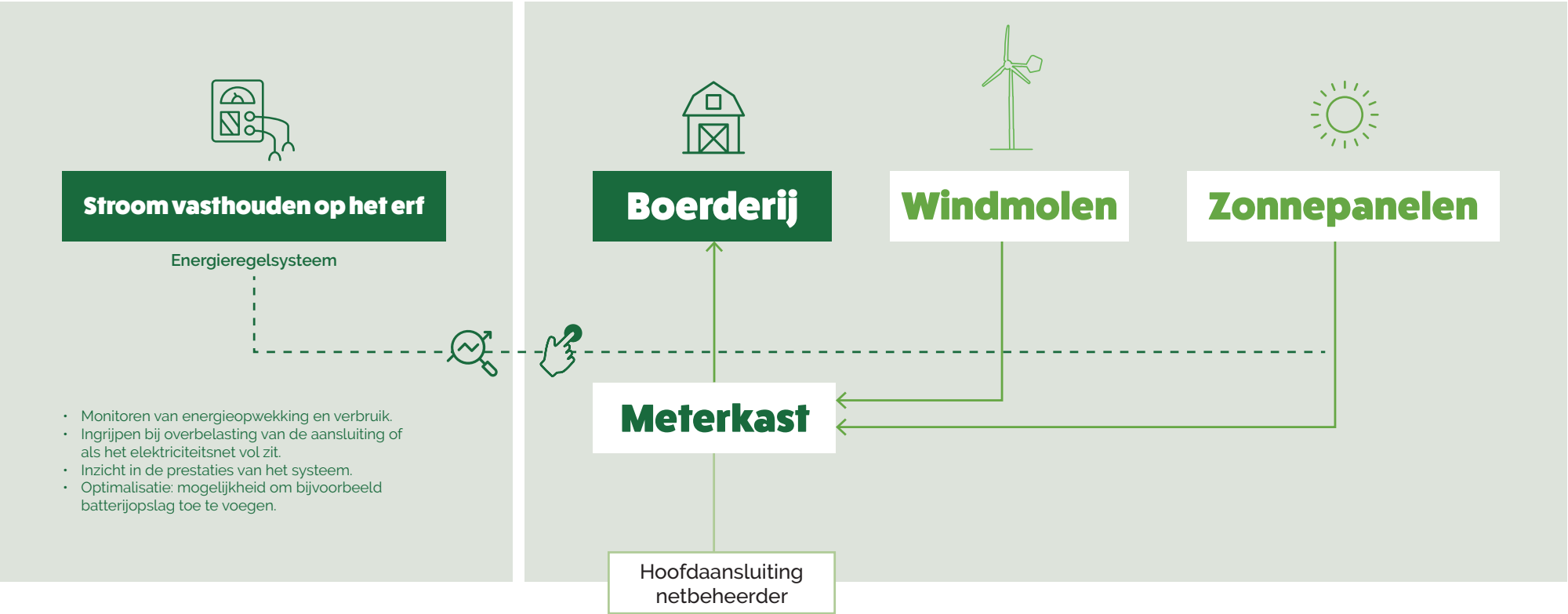
Zo werkt het.

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.



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 buren zijn er positief over.



Onze op maat gemaakte berekeningen.

Opwek, verbruik & zelfvoorziening.

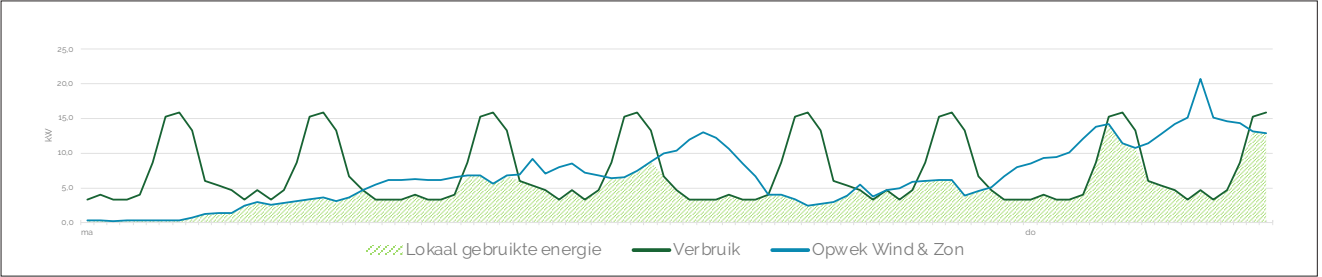
Hoe minder stroom het erf verlaat, hoe beter. Daarom is het belangrijk om in kaart te brengen hoeveel stroom kan worden opgewekt en hoeveel stroom direct benut kan worden.

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

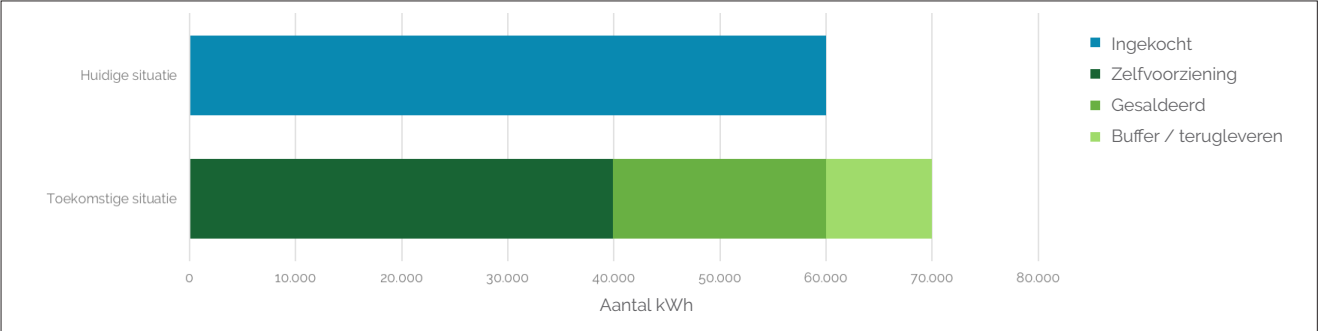
dak met een gunstige oriëntatie of valt er schaduw op door een voersilo? Verbruikt u juist 's zomers of juist 's winters veel stroom?

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 EAZ 13.2.

- 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.

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.



- 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.

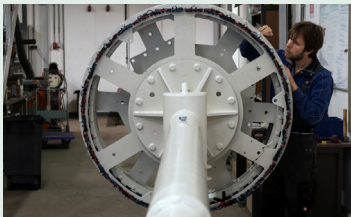
Slim pitchsysteem

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 kruisysteem. • 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.



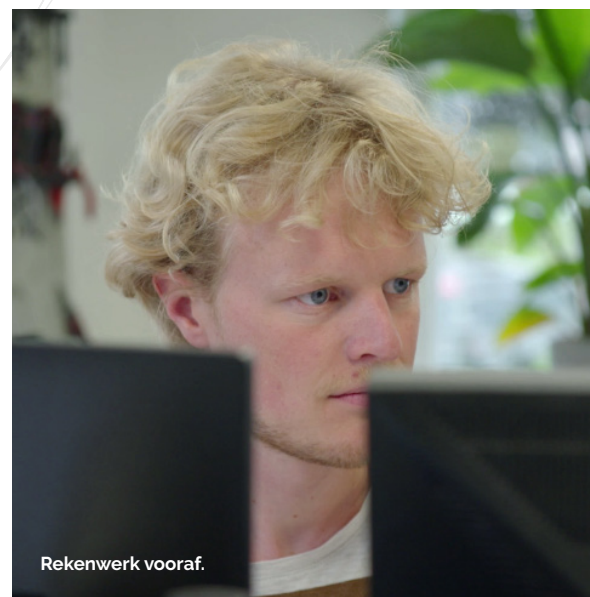
Laswerk van de mast.



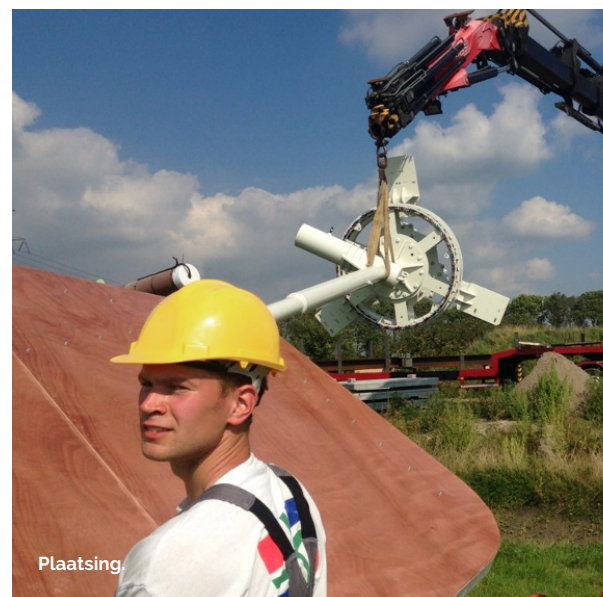
Schuren van de wieken.



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.

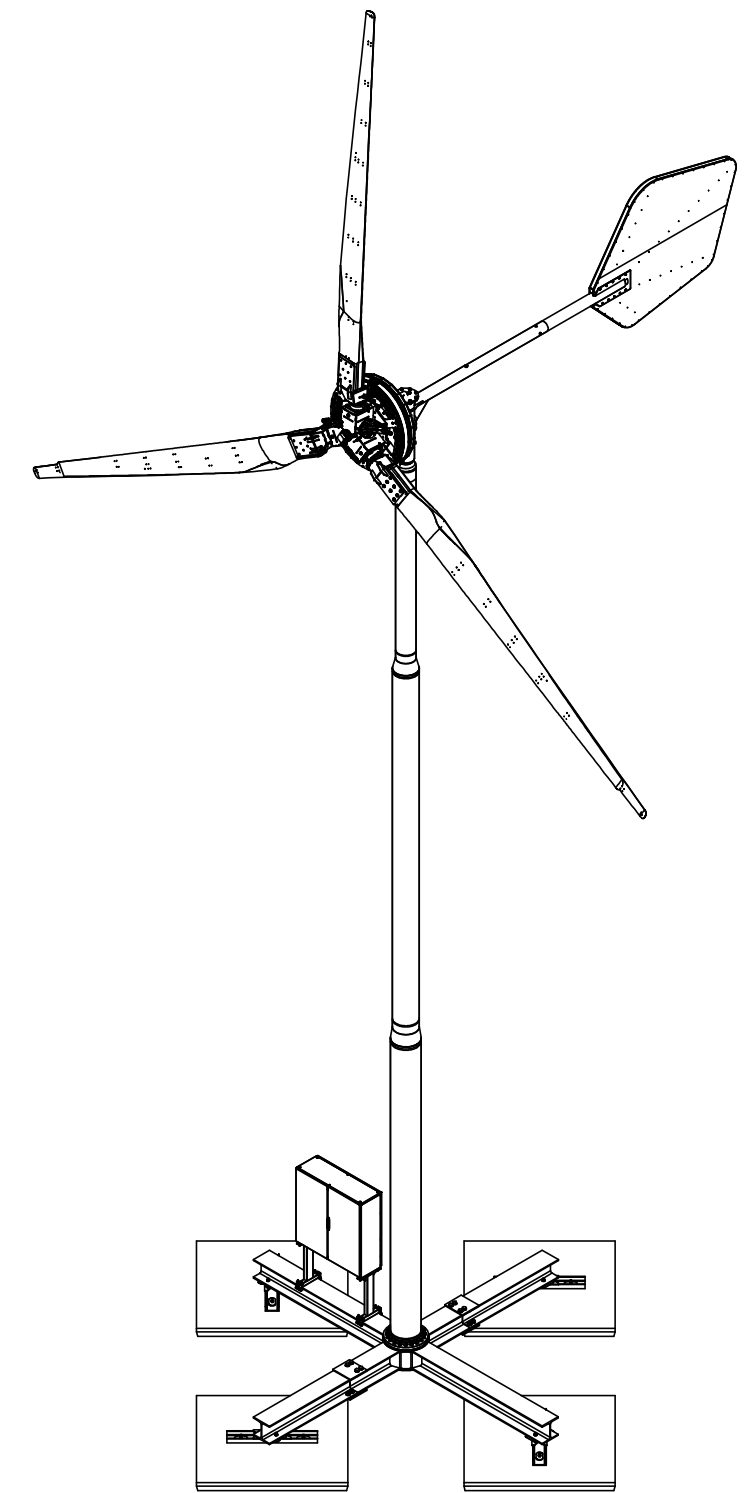
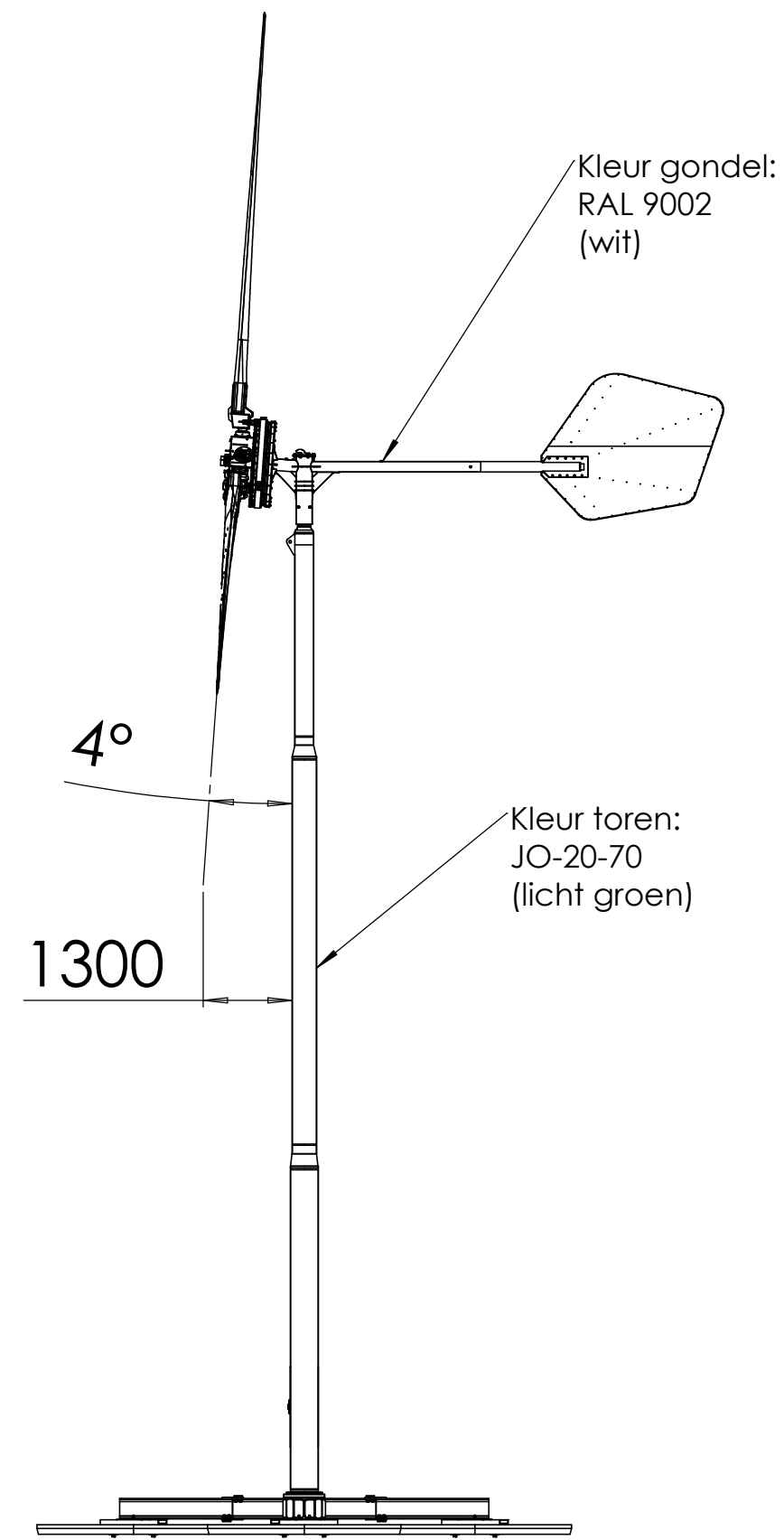
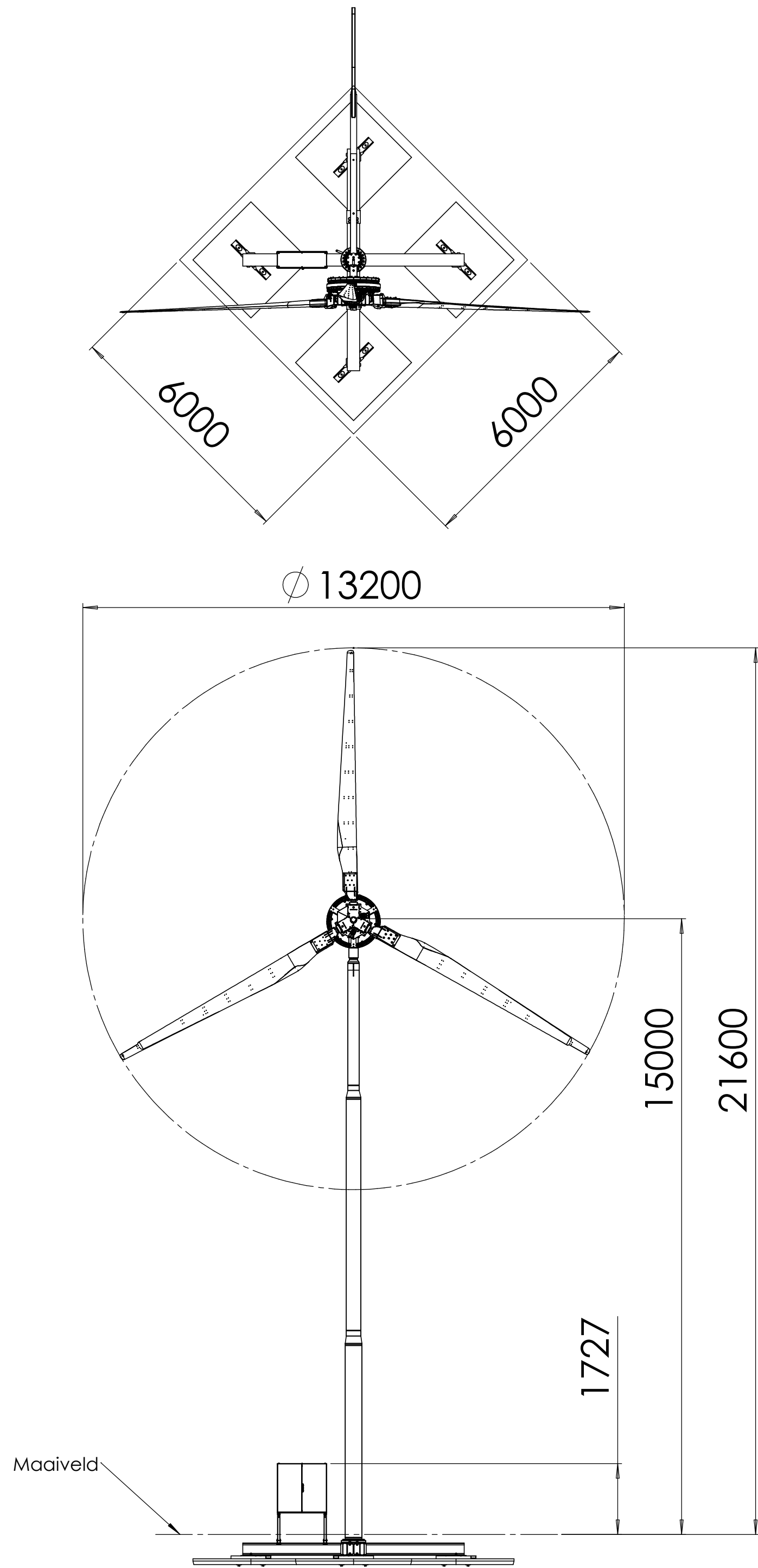
Carin & Cato.

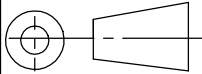
Als boer denk je aan de toekomst en zul je moeten verduurzamen. Niet bij de pakken neerzitten maar kiezen voor aanpakken. Die houding herkennen wij in het team van EAZ. Als klant van het eerste uur wisten we dat er een aantal hordes genomen zouden moeten worden en EAZ heeft altijd gestaan voor hun zaak.

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.

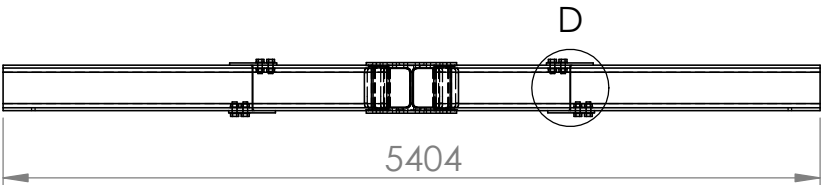
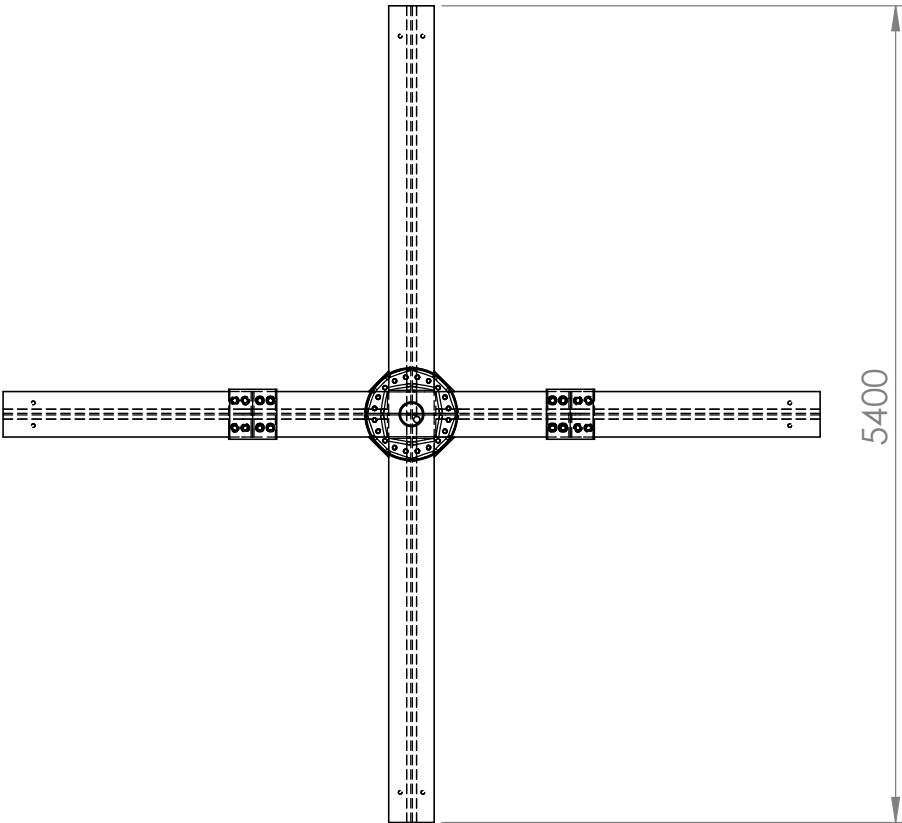




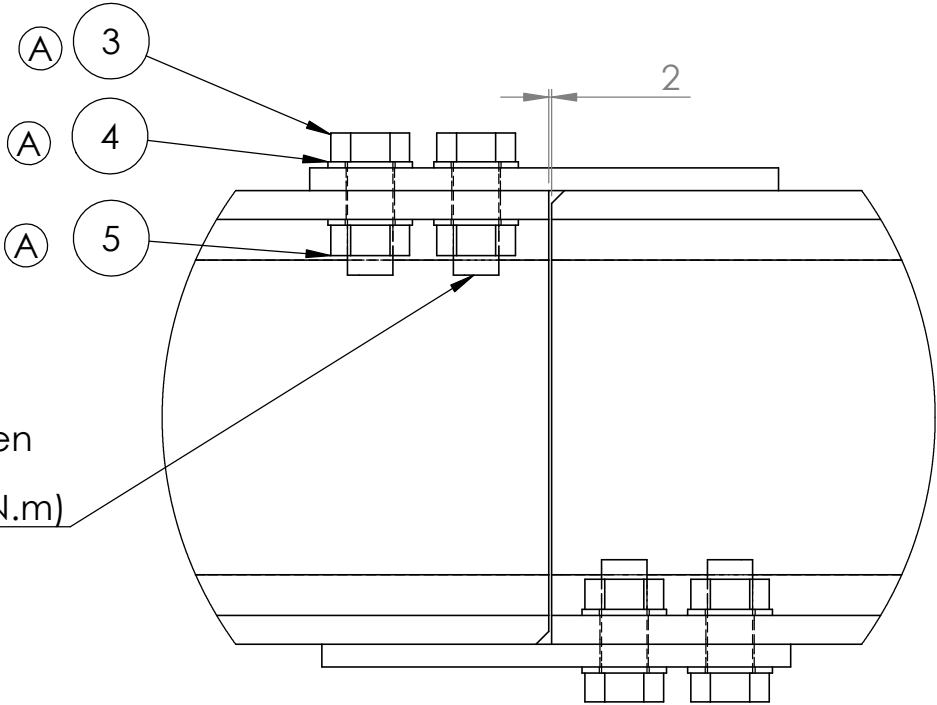
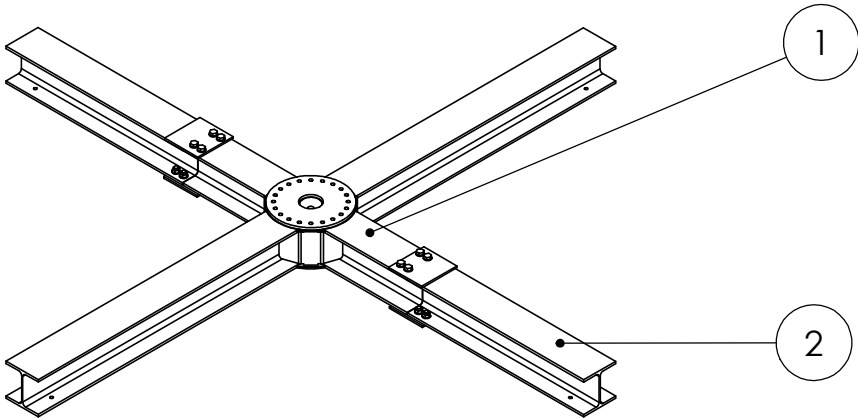


 Third Angle projection	 Eaz Wind info@eazwind.nl	If not stated otherwise: Dimensions are in millimeters Tolerance: +/- 10		Name assembly : 83101vA (AS Overzicht EAZ-13,2 Toren 15m betonplaten)	
		Material :	Size : A2	Subject: Windturbine EAZ - 13,2	
		Date : 06/07/2021	Scale : 1:100	Windmolen EAZ - 13,2	
		Remarks	Approved by		Weight (kg): 8226.81
			Drawn : W. Huijssoon		Version : A

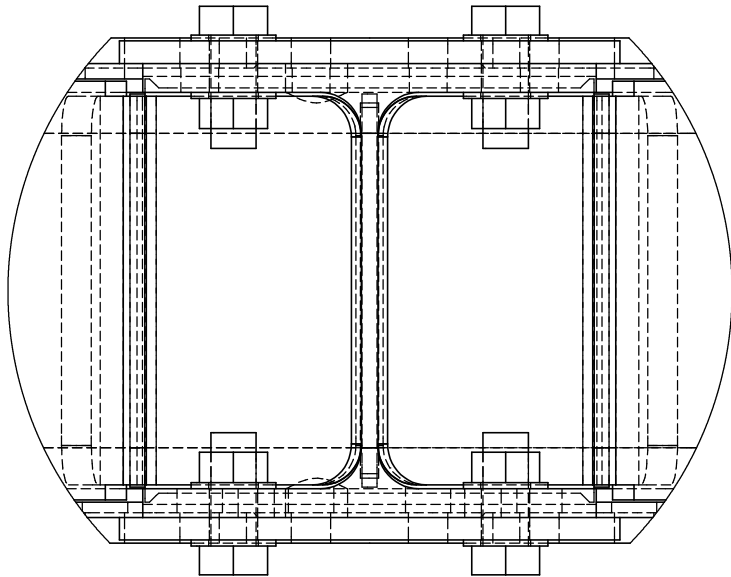
REVISIONS				
ZONE	REV.	DESCRIPTION	DATE	APPROVED
F4	A	M20 bout,moer en ring vervangen voor M30 bout, moer en ring	28/02/2019	



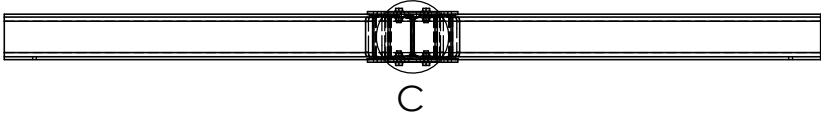
16 x M30 voorspankracht bouten
Kwaliteit 10.9
voorspankracht: 250 kN (1500 N.m)



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

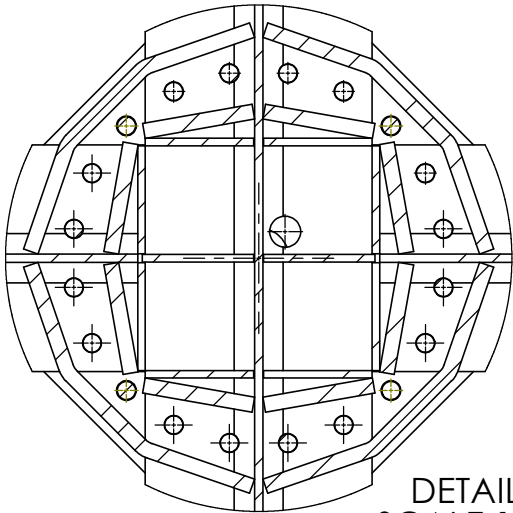
Date: 22/02/2019

Remarks :

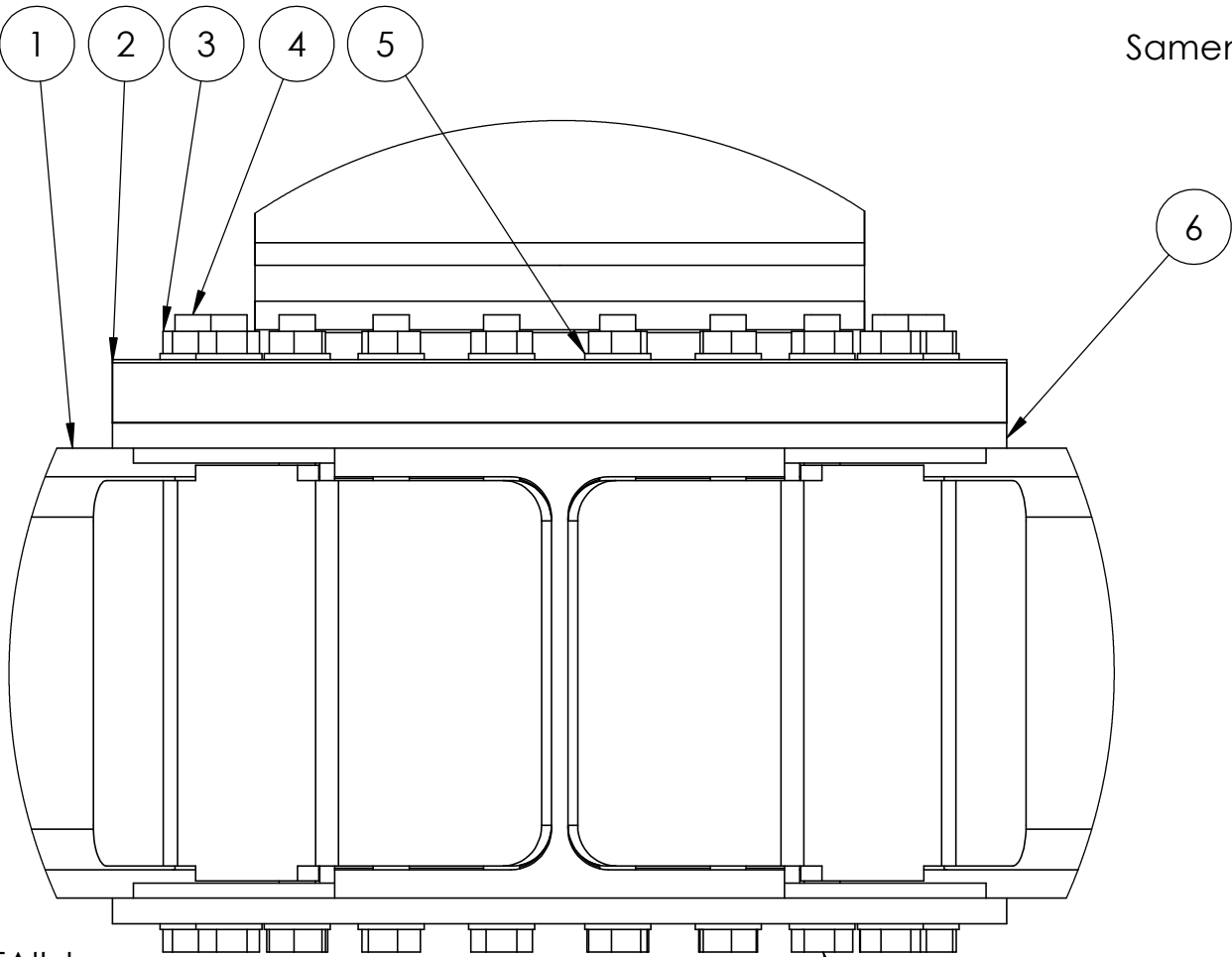
Name assembly / part
: 83502 Montage H-balkverbinding
v20201207

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

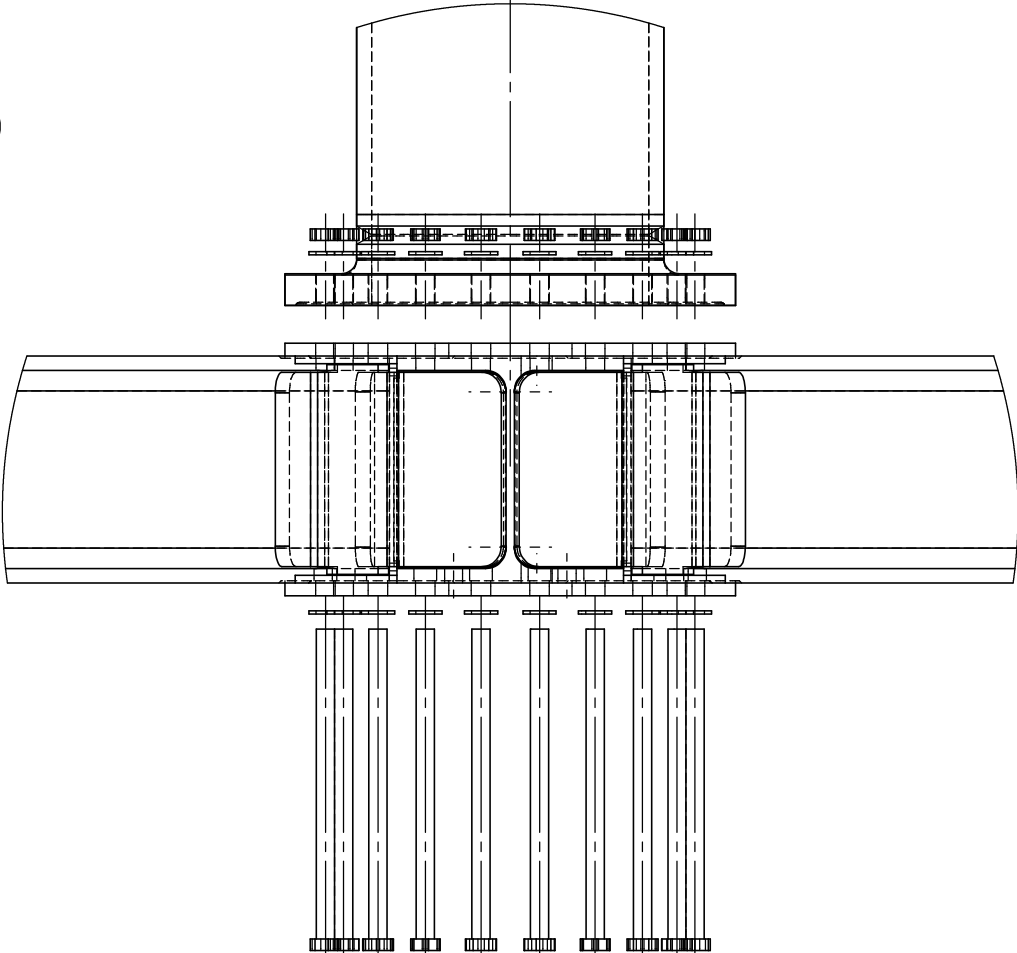
Samenstelling installatie methode:



DETAIL F
SCALE 1 : 10

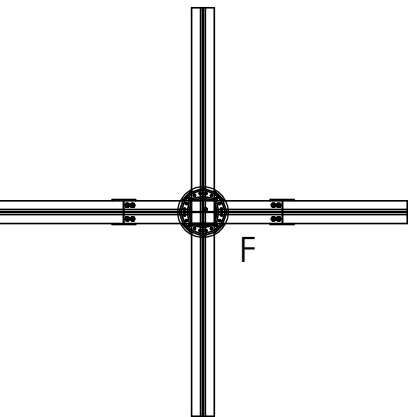


DETAIL I
SCALE 1 : 5

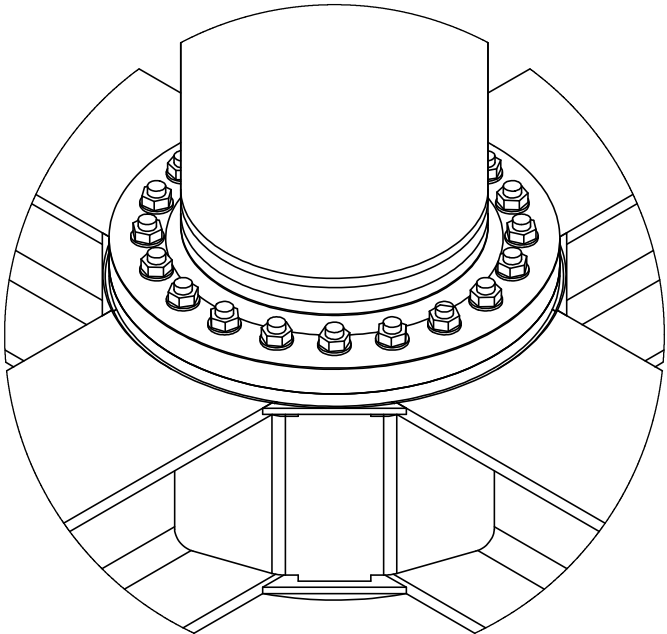
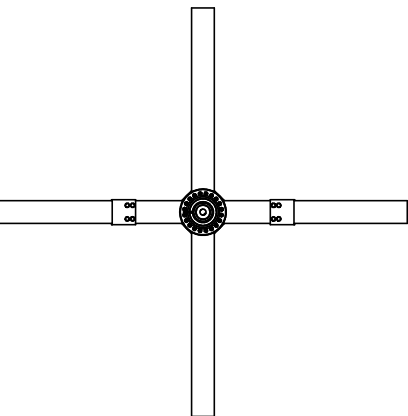


DETAIL C
SCALE 1 : 10

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

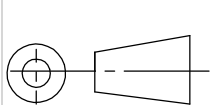
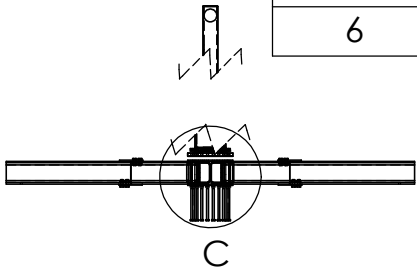
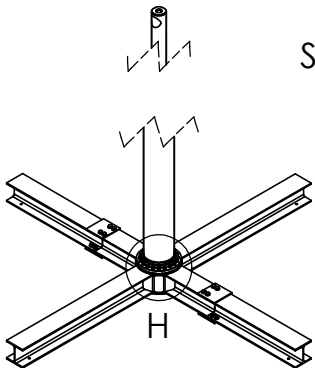
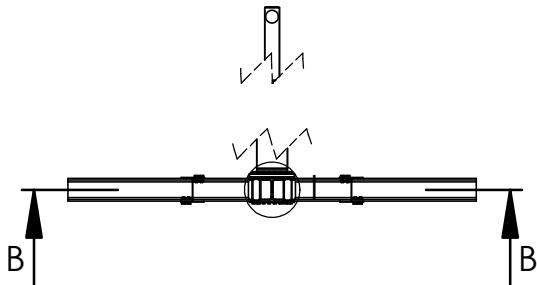


SECTION B-B
SCALE 1 : 100



DETAIL H
SCALE 1 : 10

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



EAZ Wind
info@eazwind.nl

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

Scale : 1:100

Approved by :

Drawn : W. Huijssoon

Subject: Fundering 15m mast

: 83505 HooAssFunderingMast

Weight(kg): 3500

SW Version : 4

82213-20200111 The minimum soil characterization for the foundation

[TWO LOAD CASES CALCULATED FOR FOUNDATION WIND TURBINE EAZ-
THIRTEEN POINT TWO 15KW]

W. HUIJSOON

[Comments]

Version:	Author:	Chapter:	Info added/changed/deleted:	Date:	Reviewer 1:
V1.0	WH	All	New document	11/01-2021	SV
V2.0	SV		Updated the loading on the foundation: the weight of the turbine is now distributed over all 4 concrete plates	22-02-2021	WH
V3.0	WH		Additional calculations effective foundation area and horizontal carrying capacity	01/07/2021	

WH: Willem Huijssoon

SV: Steven Vermeer

1 Contents

2 Introduction.....	1
3 References	1
4 Terms and definitions.....	1
5 Soil loading	3
5.1 Load case: tilt windmill foundation.....	5
5.2 Load case: Vertical carrying capacity of the soil in drained situation.....	6
5.3 Load case: Horizontal carrying capacity of the soil in drained situation	7
6 Conclusion	7
7 Annexes.....	8
7.1 Characterization values of the soil properties	8

2 Introduction

This document describes two load case scenarios of the windmill foundation with a specific soil characterization. The calculation is carried out for the weakest possible soil type, which is weak clay. In Table 1, the main characteristics of weak clay are shown. Further characteristics can be found in annex 7.1.

Table 1: Main characteristics of weak clay

Ground type	Cone resistance	Specific weight	Angle of internal friction
weak clay	0.5 MPa	14 kN/m ³	17.5°

The evaluation of the soil is done based on the determining loads. Two cases are considered: Tilt wind mill foundation and vertical carrying capacity of the soil.

3 References

1. **Stoel, dr. ir. U. Backhausen & prof. dr. ir. A.E.C. van der.** *Reader geotechniek voor het hbo.* Den Haag : Werkgroep Waterbouw KIVI afdeling Hoger Onderwijs Techniek, 2014.

4 Terms and definitions

The following abbreviations, terms and definitions apply.

M_{T1}	Moment at the bottom of the first tower section
$F_{mass,turbine}$	Force caused by the mass of the turbine
R_A	Reaction force from concrete plate

R_B	Reaction force from concrete plate
F_h	Horizontal force from windmill
F_h	Horizontal force from concrete plate
F_{cp}	Force concrete plate
W_{cp}	Weight concrete plate
g	Gravity force
l	Length from concrete plate
l'	Effective length from concrete plate
b	Width from concrete plate
b'	Effective width from concrete plate
h	Thickness concrete plate
$\gamma_{G;stb}$	Permanent load unfavourable, reliability class RC2/CC2
$\gamma_G \times \zeta$	Permanent load favorable, reliability class RC2/CC2
γ_d	Specific weight of dry soil
h_c	Height weak clay layer
F_{cp}	Force weak clay
F_{cp1}	Force weak clay, tilt windmill foundation
F_{cp2}	Force weak clay, carrying capacity of the soil
h_s	Thickness sand bed
φ_s	The angle of internal friction from stuck sand
φ_c	The angle of internal friction from weak clay
l_{punch}	Length from the punch distance
l_a	Average width of the punch distance
F_s	Force from sand bed
b_a	Width from the punch distance
h_{wc}	Height coverage on lowest side
γ_Y	Parameter volume weight for carrying capacity
γ_w	Volume weight of water

c'_{avg}	Average cohesion
N_c, N_q, N_γ	Ground pressure factor for cohesion, coverage and ground mass
s_c, s_q, s_γ	Reduction factors for the shape from the foundation
i_c, i_q, i_γ	Reduction factors for the direction from the load
$b_c b_q, b_\gamma$	Reduction factors for slopes underside of the foundation
$\lambda_c, \lambda_q, \lambda_\gamma$	Reduction factors for slopes of the ground level (coverage)
b'	Effective width of the concrete plate
$\gamma'_{avg;d}$	Average volume weight
$\sigma_{v;z;d}$	Soil coverage on lowest side
$\sigma'_{v;max;d}$	Vertical carrying capacity
$R_{v;d}$	Vertical carrying capacity
V'_d	Vertical load on foundation area
$R_{h;d}$	Horizontal carrying capacity

5 Soil loading

The determining load on the foundation are shown in Figure 1. These loads are calculated in the structural evaluation of the foundation. (Source: 82206 Structural Evaluation Foundation EAZ-13.2)

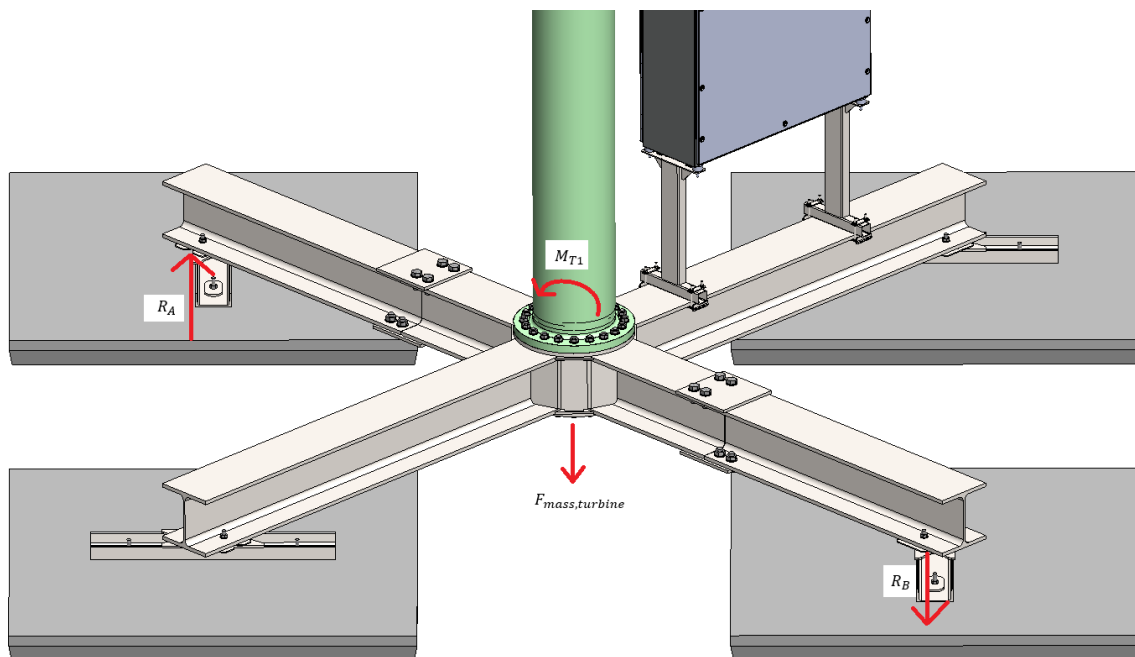


Figure 1: Overview of the foundation with loads

Overview of the loads:

$M_{T1} =$	200,7 kN.m
$F_{mass,turbine} =$	60 kN
$R_A =$	55,14 kN
$R_B =$	25,14 kN
$F_h =$	200,7 kN.m / 15m (tower length) = 13,38 kN
$F_{hb} =$	13,38 kN / 4 (number of concrete plates) = 3,35 kN

The reaction forces are exerted on the concrete plates. For the soil loading three components should be considered, namely:

- The mass of one concrete plate;
- The ground mass (weak clay) on top of the concrete plate;
- The mass of the sand bed;

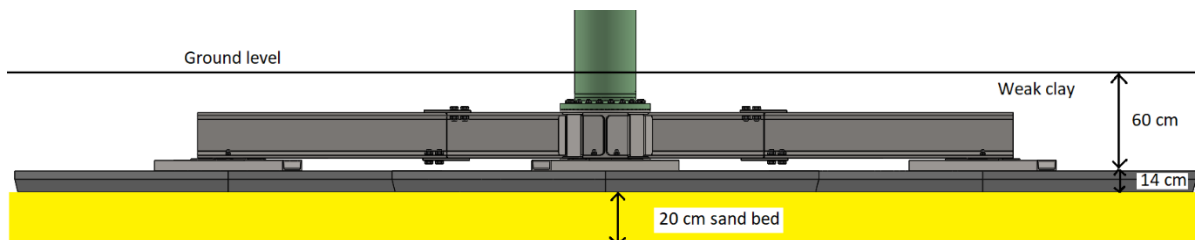


Figure 2 Overview of the foundation in the field

In Box 1, the loads resulting from the mass of the concrete plate, mass of the ground (weak clay), and mass of the underlying sand bed are calculated. The calculation method is based on the *Reader geotechniek voor het hbo* (1). Specifications of the soil properties can be found in annex 6.1.

Box 1: Calculation of additional loads on the soil

Mass concrete plate:

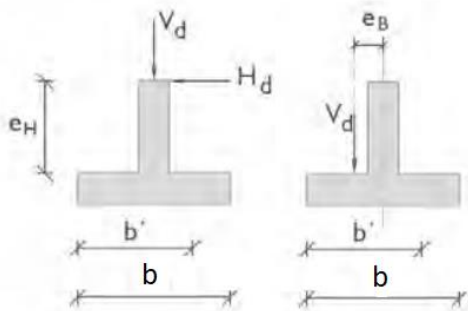
$$F_{cp} = W_{cp} \times g$$

$$F_{cp} = 1338 \times 9,81 = 13126 \text{ (N)} = \mathbf{13,1 \text{ (kN)}}$$

Dimensions concrete plate:

$$l \times b \times h = 2,0 \times 2,0 \times 0,14\text{m}$$

Effective foundation area concrete plate:



$$e_B = \frac{H_d \times e_H}{V_d}$$

$$e_H = h + h_s = 0,14 + 0,2 = 0,34\text{m}$$

$$e_B = \frac{3,35 \times 0,34}{129,44} = 0,009m$$

The eccentricity on the foundation area as a result of the horizontal force is nil and negligible.

$$b' = b, l' = l$$

Ground mass (weak clay) on the concrete plate:

Parameters:

$$\gamma_{G;stb} = 0,9 \rightarrow \text{permanent load unfavorable, reliability class RC2/CC2}$$

$$\gamma_G \times \zeta = 1,2 \rightarrow \text{permanent load favorable, reliability class RC2/CC2}$$

$$\gamma_d = 14 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$$h_p = 0,6m$$

$$F_{wp} = \gamma_{G;stb} \times \gamma_d \times l \times b \times h_p$$

$$F_{wp1} = 0,9 \times 14 \times 2 \times 2 \times 0,6 = \mathbf{30,2 \text{ (kN)}} \rightarrow \text{load case: tilt windmill foundation}$$

$$F_{wp2} = 1,2 \times 14 \times 2 \times 2 \times 0,6 = \mathbf{40,3 \text{ (kN)}} \rightarrow \text{load case: carrying capacity of the soil}$$

Mass sand bed:

Parameters:

$$h_s = 0,2m$$

$$\varphi_s = 35^\circ$$

$$\varphi_c = 17,5^\circ$$

$$l_{punch} = l + 2 \times h \times \tan(\varphi_s - \varphi_c)$$

$$l_{punch} = 2 + 2 \times 0,2 \times \tan(35 - 17,5) = 2,126 \text{ (m)}$$

$$l_a = \frac{(l_{punch} - l)}{2} + l$$

$$l_a = \frac{(2,126 - 2)}{2} + 2 = 2,063 \text{ (m)}$$

$$\gamma_G \times \zeta = 1,2$$

$$\gamma_d = 20 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$$F_s = \gamma_G \times \zeta \times \gamma_d \times l_a \times b_a \times h_s$$

$$F_s = 1,2 \times 20 \times 2,063 \times 2,063 \times 0,2 = \mathbf{20,4 \text{ (kN)}}$$

5.1 Load case: tilt windmill foundation

In this load case, the situation of tilt is examined. This depends on the ground mass and mass of the concrete plate. The weight of the concrete plate and overlaying ground must be higher than the reaction force from the foundation. If that is not the case, the windmill foundation will tilt. The evaluation is shown in Box 2.

Box 2: Evaluation of tilt

Equation of tilt:

$$F_{cp} + F_{wp1} \geq R_B$$

$$13,1 + 30,2 = \mathbf{43,3 \text{ (kN)}} > \mathbf{25,14 \text{ (kN)}} \rightarrow \text{agreed}$$

The conclusion is that the mass of the concrete plate and the overlying weak clay on top of the concrete plate is greater than the reaction force from the windmill load. The foundation does not tilt.

5.2 Load case: Vertical carrying capacity of the soil in drained situation

In this load case, the vertical carrying capacity of the weak clay is examined. The calculations are shown in based on the *Reader geotechniek voor het hbo* (1), and are shown in Box 3.

Box 3 Calculation of vertical carrying capacity from weak clay

Soil coverage on lowest side:

$$h_{wp} = 0,6 \text{ (m)}$$

$$\gamma_d = 14 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$$\gamma_\gamma = 1,1$$

$$\sigma_{v;z;d} = h_{cc} \times \left(\frac{\gamma_d}{\gamma_\gamma} \right)$$

$$\sigma_{v;z;d} = 0,6 \times \left(\frac{14}{1,1} \right) = 7,64 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Effective volume weight:

$$\gamma_d = 14 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$$\gamma_\gamma = 1,1$$

$$\gamma_w = 10 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$$\gamma'_{avg;d} = \frac{\gamma_d}{\gamma_\gamma} - \gamma_w$$

$$\gamma'_{avg;d} = \frac{14}{1,1} - 10 = 2,73 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Vertical carrying tension in drained situation:

Parameters:

$$c'_{avg} = 0$$

$$N_c = 9,55$$

$$s_c = 1,37$$

$$i_c = 1$$

$$b_c = 1$$

$$\lambda_c = 1$$

$$\sigma_{v;z;d} = 7,63 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$N_q = 5,15$$

$$s_q = 1,30$$

$$i_q = 1$$

$$b_q = 1$$

$$\lambda_q = 1$$

$$b' = 2 \text{ (m)}$$

$$\gamma'_{avg;d} = 2,73 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$$N_\gamma = 2,75$$

$$s_\gamma = 0,7$$

$$i_\gamma = 1$$

$$b_\gamma = 1$$

$$\lambda_\gamma = 1$$

$$\sigma'_{v;max;d} = c'_{avg;d} N_c s_c i_c b_c \lambda_c + \sigma_{v;z;d} N_q s_q i_q b_q \lambda_q + \frac{1}{2} \times b' \times \gamma'_{avg;d} N_\gamma s_\gamma i_\gamma b_\gamma \lambda_\gamma$$

$$\sigma'_{v;max;d} = 0 \times 9,55 \times 1,37 \times 1 \times 1 \times 1 + 7,63 \times 5,15 \times 1,30 \times 1 \times 1 \times 1 + 0,5 \times 2 \times 2,73 \times 2,75 \times 0,7 \times 1 \times 1 \times 1 = 56,4 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Vertical carrying capacity:

$$R_{v;d} = \sigma'_{v;max;d} \times b' \times l'$$

$$R_{v;d} = 56,4 \times 2 \times 2 = \mathbf{225,6 \text{ (kN)}}$$

The vertical carrying capacity of the de weak clay must be higher than the reaction force from the windmill foundation. If that is not the case, the windmill foundation becomes skewed. The evaluation of the carrying capacity of the soil is shown in Box 4.

Box 4: Evaluation of the carrying capacity

Equation of sag:

$$R_{v;d} \geq R_A + F_{cp} + F_{wp2} + F_s$$

$$225,6 \text{ (kN)} > 55,14 + 13,1 + 40,8 + 20,4 \text{ (kN)}$$

$$\mathbf{225,6 \text{ (kN)} > 129,44 \text{ (kN)} \rightarrow \text{agreed}}$$

The conclusion is that the vertical carrying capacity is greater than the common forces of the windmill, concrete plate, weak clay ground and sand bed. The foundation does not become skewed.

5.3 Load case: Horizontal carrying capacity of the soil in drained situation

In this load case, the horizontal carrying capacity of the weak clay is examined. The calculations are shown in based on the *Reader geotechniek voor het hbo* (1), and are shown in Box 5.

Box 5 Calculation of horizontal carrying capacity from weak clay

Calculation value vertical load:

$$V'_d = R_A + F_{cp} + F_{wp2} + F_s$$

$$V'_d = 55,14 + 13,1 + 40,8 + 20,4 = \mathbf{129,44 \text{ (kN)}}$$

Horizontal carrying capacity in drained situation:

$$R_{h;d} = V'_d \times \tan \varphi'_c$$

$$R_{h;d} = 129,44 \times \tan 17,5^\circ = \mathbf{40,8 \text{ kN}}$$

The horizontal carrying capacity of the de weak clay must be higher than the horizontal force from the windmill foundation. If that is not the case, the windmill foundation becomes moved. The evaluation of the carrying capacity of the soil is shown in Box 46.

Box 6: Evaluation of the carrying capacity

Equation of sag:

$$R_{h;d} > F_{hb}$$

$$\mathbf{40,8 \text{ (kN)} > 3,35 \text{ (kN)} \rightarrow \text{agreed}}$$

The conclusion is that the horizontal carrying capacity is greater than the common forces of the windmill, concrete plate, weak clay ground and sand bed. The foundation does not become moved.

6 Conclusion

An evaluation of the foundation was carried out for a 'weak clay' soil type. This shows to be the minimum soil type for this foundation.

7 Annexes

7.1 Characterization values of the soil properties

Table 1 – NEN 6740 (page 18)

Type of soil		Representative mean value for the soil properties												
Admixture	Consistency 1)	γ (kN/m ³) 2)	γ_{sat} (kN/m ³)	q_c (Mpa) 3/6)	$C_{u,p}$	C's	C _c	Ca-5)	C _{sw}	E _x (Mpa) 6)	ϕ' (°)	c' (kPa)	f _{undr.} (kPa)	
Gravel	weak silty	loose	17	18	15	500	-	0.008	0	0.003	75	32,5	-	
	moderate	moderate	18	20	25	1000	-	0.004	0	0.002	125	35	-	
	fixed/solid	fixed/solid	19 or 20	20 or 21	30	1200 or 1400	-	0.003 or 0.002	0	0.001 or 0	150 or 200	37,5 or 40	-	
	strong silty	loose	18	20	10	400	-	0.009	0	0.003	50	30	-	
Sand	moderate	moderate	19	21	15	600	-	0.006	0	0.002	75	32,5	-	
	fixed/solid	fixed/solid	20 or 21	22,5	25	100 or 1500	-	0.003 or 0.002	0	0.001 or 0	125 or 150	35 or 40	-	
	clean	loose	17	19	5	200	-	0.021	0	0.007	25	30	-	
	strong silty	moderate	18	20	15	600	-	0.006	0	0.003	75	32,5	-	
Loam 4)	clayey	fixed/solid	19 or 20	21 or 22	25	1000 or 1500	-	0.003 or 0.002	0	0.001 or 0	125 or 150	35 or 40	-	
	strong silty	moderate	18 or 19	20 or 21	5 or 20	450 or 650	-	0.008 or 0.005	0	0.003 or 0.001	25 or 35	27 or 32,5	-	
	clayey	strong silty	18 or 19	20 or 21	2 or 15	200 or 400	-	0.019 or 0.009	0	0.006 or 0.001	20 or 30	25 or 30	-	
	weak sandy	weak	-	19	1	25	650	0.188	0.004	0.056	2	27,5 or 30	0	
Clay	moderate	moderate	-	20	2	45	1300	0.084	0.002	0.028	5	27,5 or 32,5	2	
	fixed/solid	fixed/solid	-	21 or 22	3	70 or 100	1900 or 2500	0.049 or 0.030	0.001	0.017 or 0.005	10 or 20	27,5 or 35	5 or 7,5	
	strong sandy	weak	-	19 or 20	2	45 or 70	1300 or 2000	0.092 or 0.055	0.002	0.031 or 0.005	5 or 10	27,5 or 35	0 or 2	
	clean	moderate	-	14	0,5	7	80	1,357	0,013	0,452	1	17,5	0	
Peat	weak sandy	moderate	-	17	1	15	160	0,362	0,006	0,121	2	17,5	10	
	fixed/solid	fixed/solid	-	19 or 20	2	25 or 30	320 or 500	0,168 or 0,126	0,004	0,056 or 0,042	4 or 10	17,5 or 25	25 or 30	
	strong sandy	weak	-	15	0,7	10	110	0,759	0,009	0,253	1,5	22,5	0	
	organic	moderate	-	18	1,5	20	240	0,237	0,005	0,079	3	22,5	10	
Peat	not preloaded	fixed/solid	-	20 or 21	2,5	30 or 50	400 or 600	0,126 or 0,068	0,003	0,042 or 0,014	5 or 10	22,5 or 27,5	25 or 30	
	moderate	moderate	-	18 or 20	1	25 or 140	320 or 1680	0,190 or 0,027	0,004	0,063 or 0,025	2 or 5	27,5 or 32,5	0 or 2	
	loaded	weak	-	13	0,2	7,5	30	1,69	0,015	0,55	0,5	15	0 or 2	
	moderate	moderate	-	15 or 16	0,5	10 or 15	40 or 60	0,760 or 0,420	0,012	0,25 or 0,14	1 or 2	15	0 or 2	
Variation coefficient	weak	weak	-	10 or 12	0,1 or 0,2	5 or 7,5	20 or 30	7,59 or 1,81	0,023	2,530 or 0,6	0,2 or 0,5	15	2 or 5	
	moderate	moderate	-	12 or 13	0,2	7,5 or 10	30 or 40	1,81 or 0,900	0,016	0,6 or 0,3	0,5 or 1	15	5 or 10	
0,05		0,25											0,1	0,2



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.

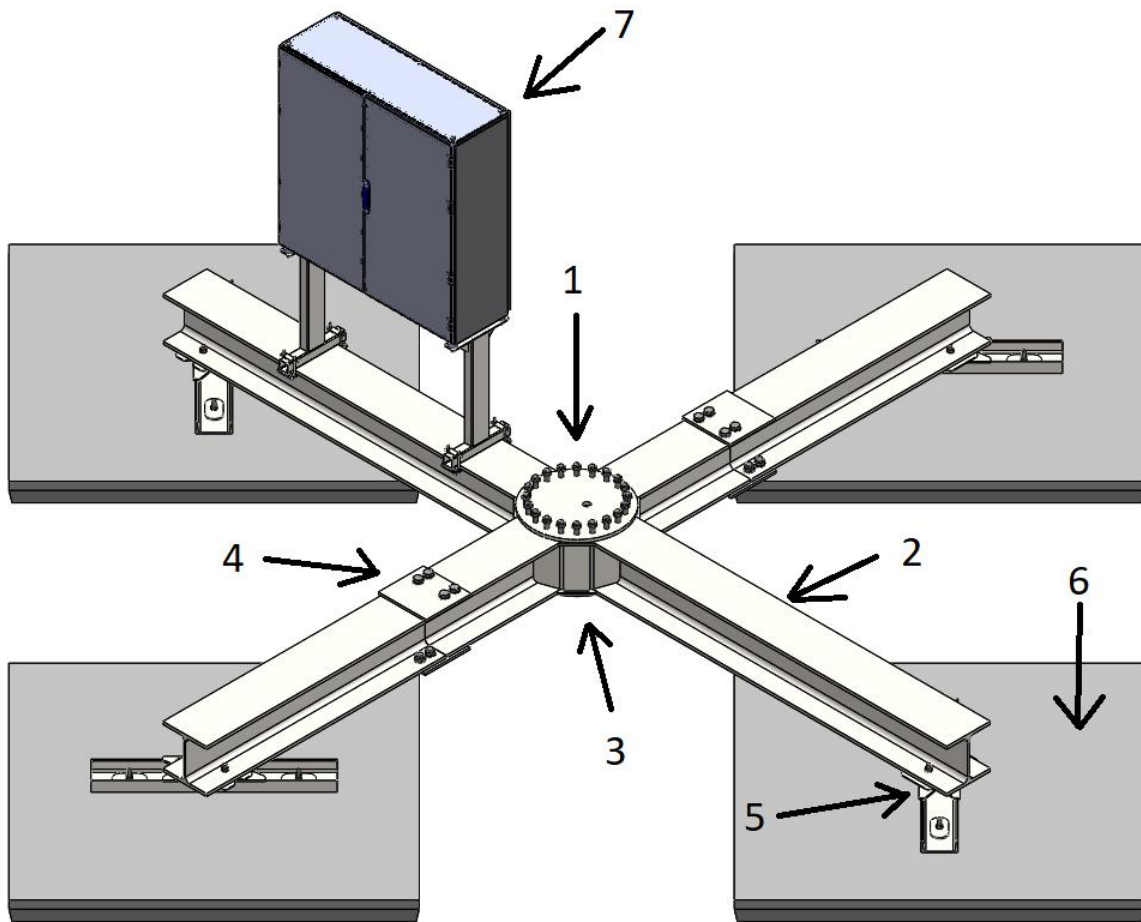


Figure 1: Overview of the foundation

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.

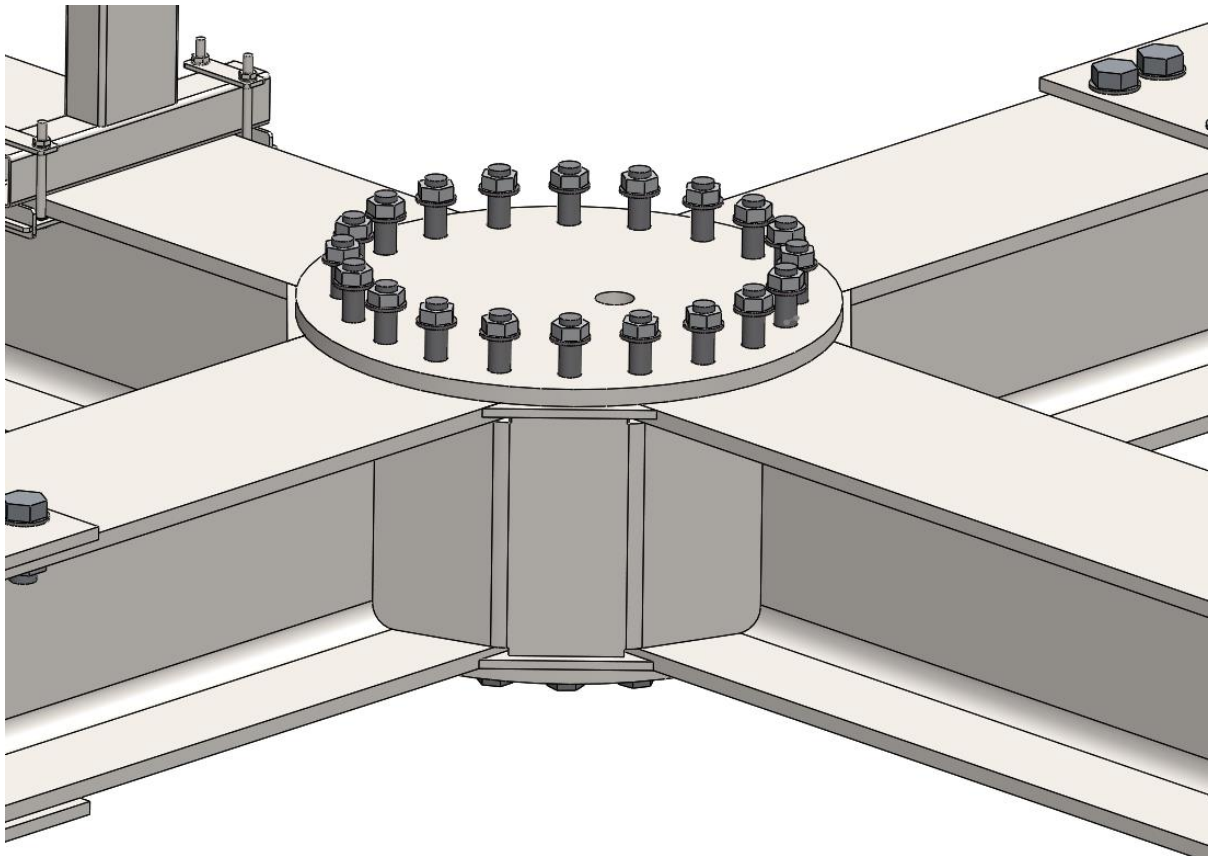


Figure 2: Center of cross welding connection

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.

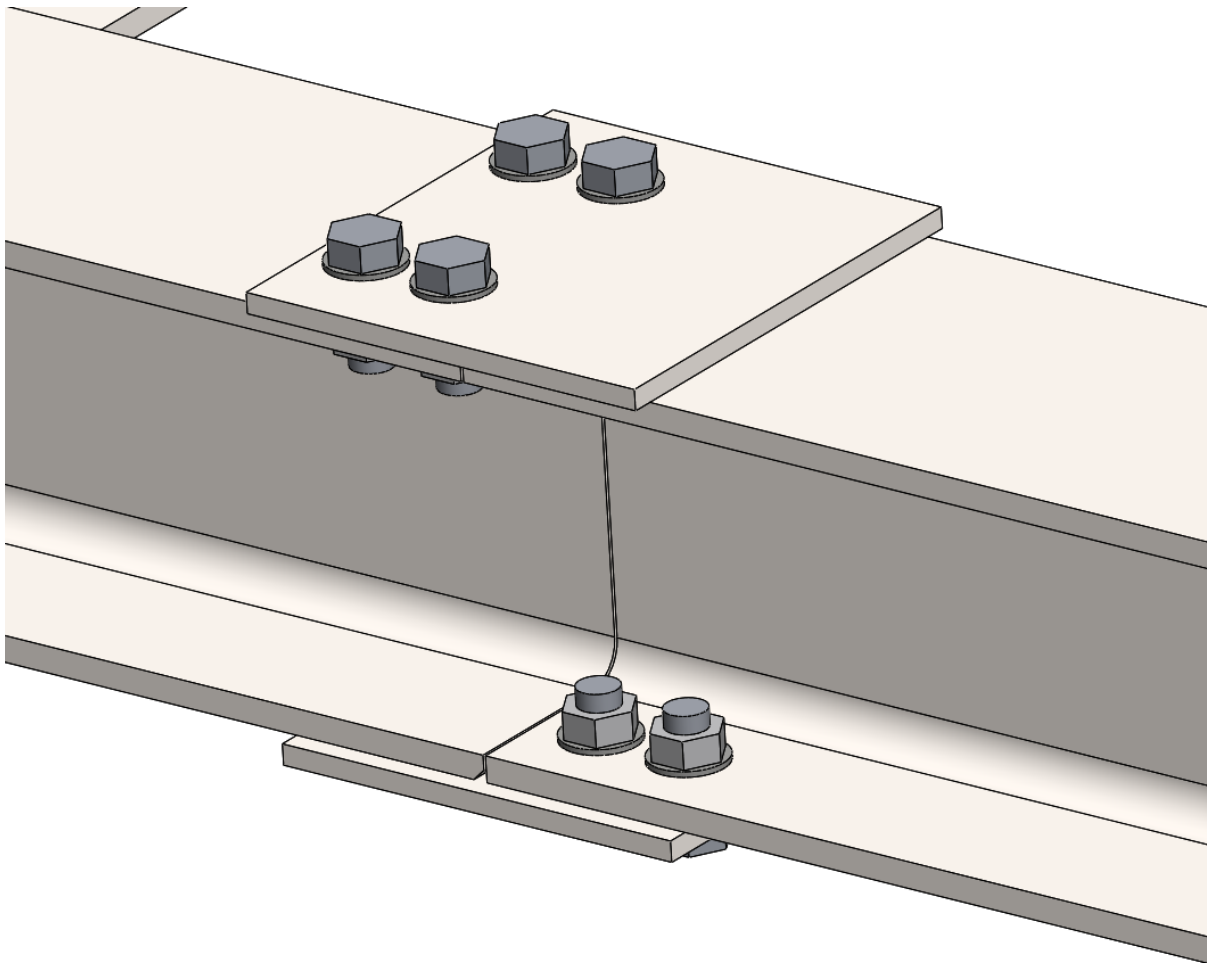


Figure 3: Overview of the HEB profile to HEB profile connection

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.

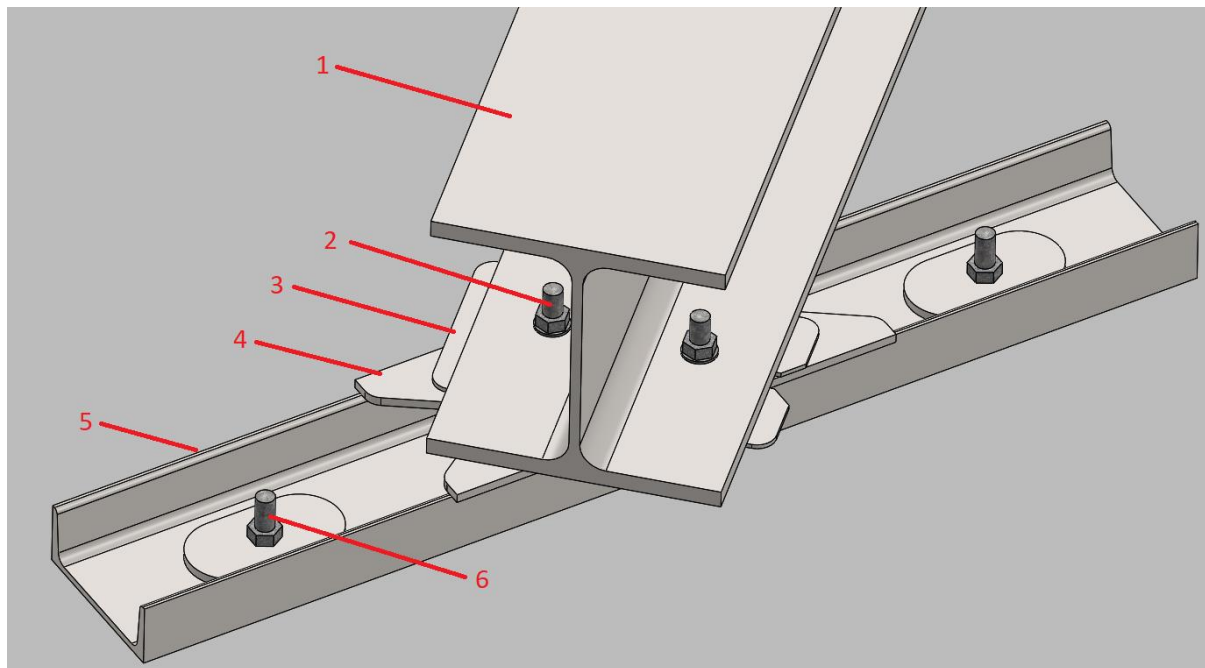


Figure 4: HEB300 to concrete plate connection

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.

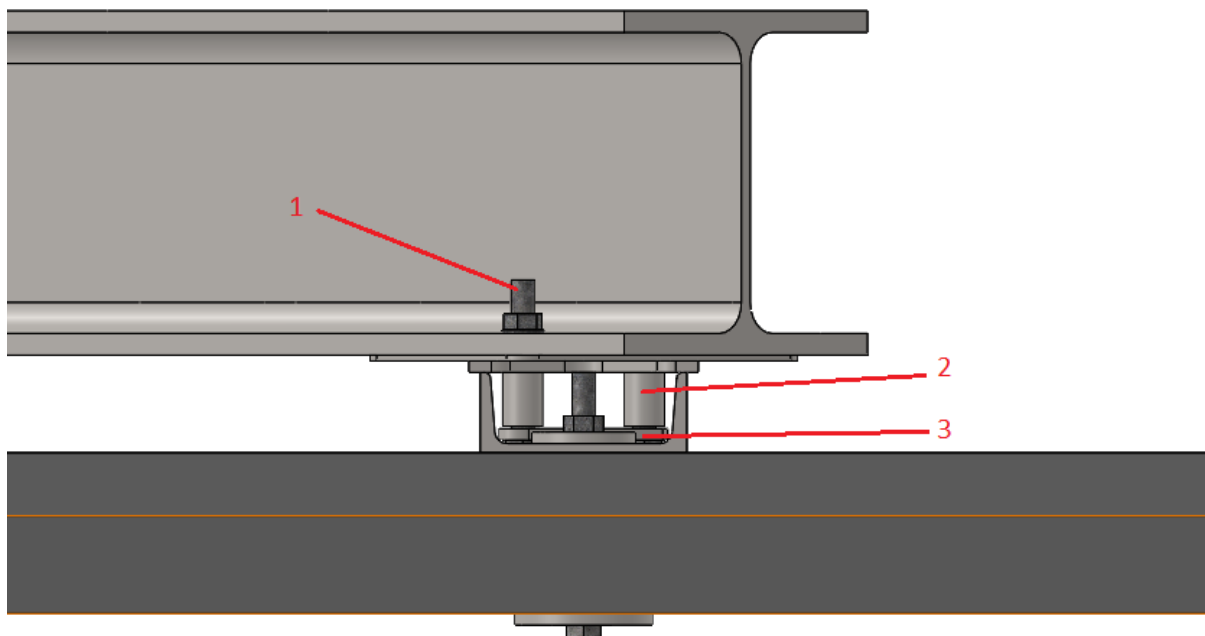


Figure 5: Side view of the HEB300 to concrete plate connection

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.

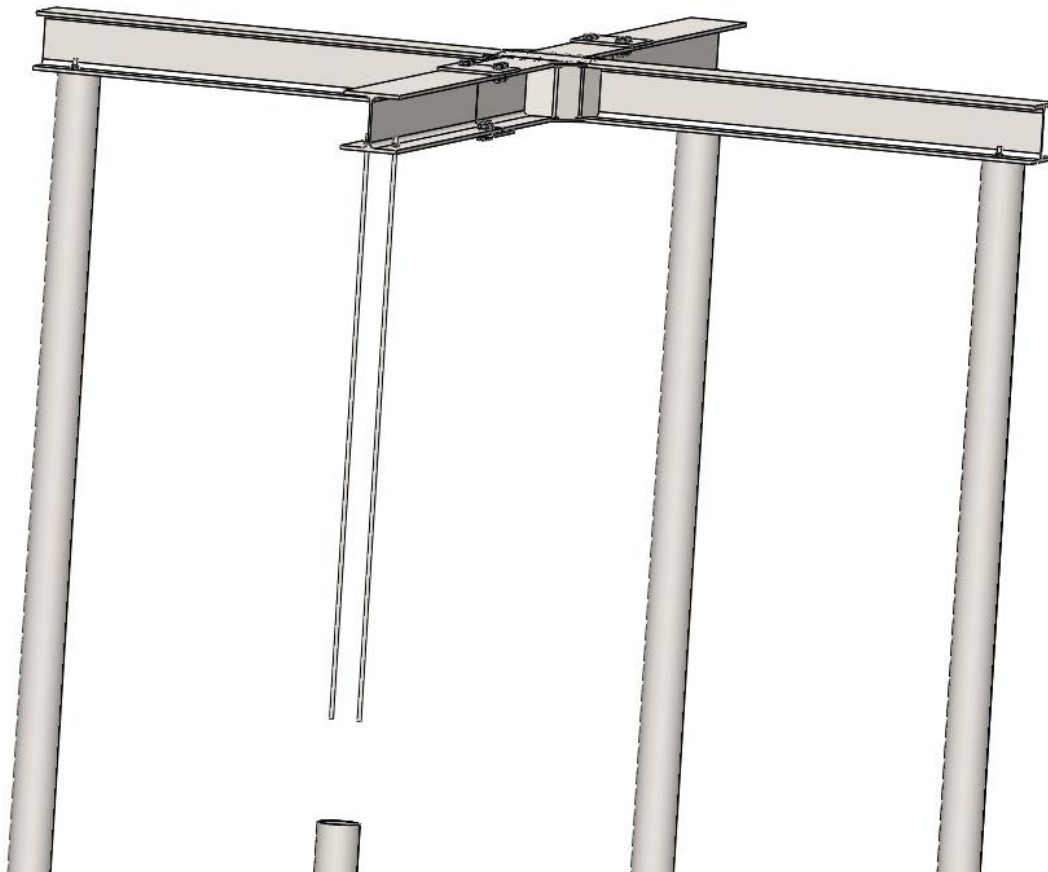


Figure 6: HEB Profile to pile connection

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.

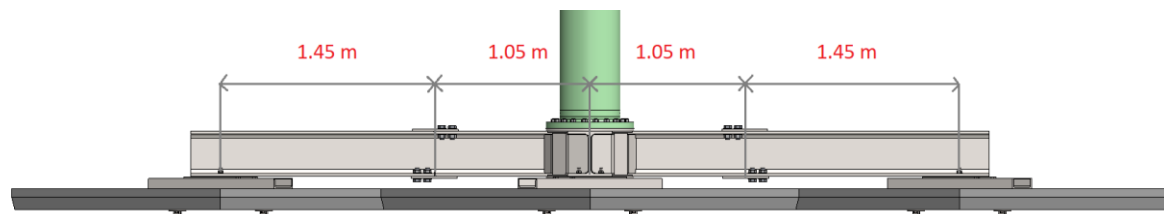


Figure 7: Main dimensions of the cross structure

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

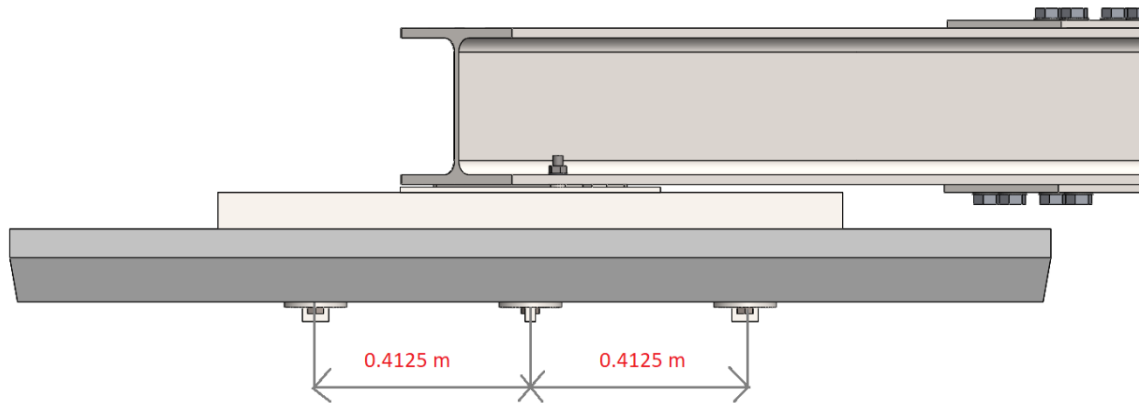


Figure 8: relevant dimensions of the HEB300 profile to concrete plate connection

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.

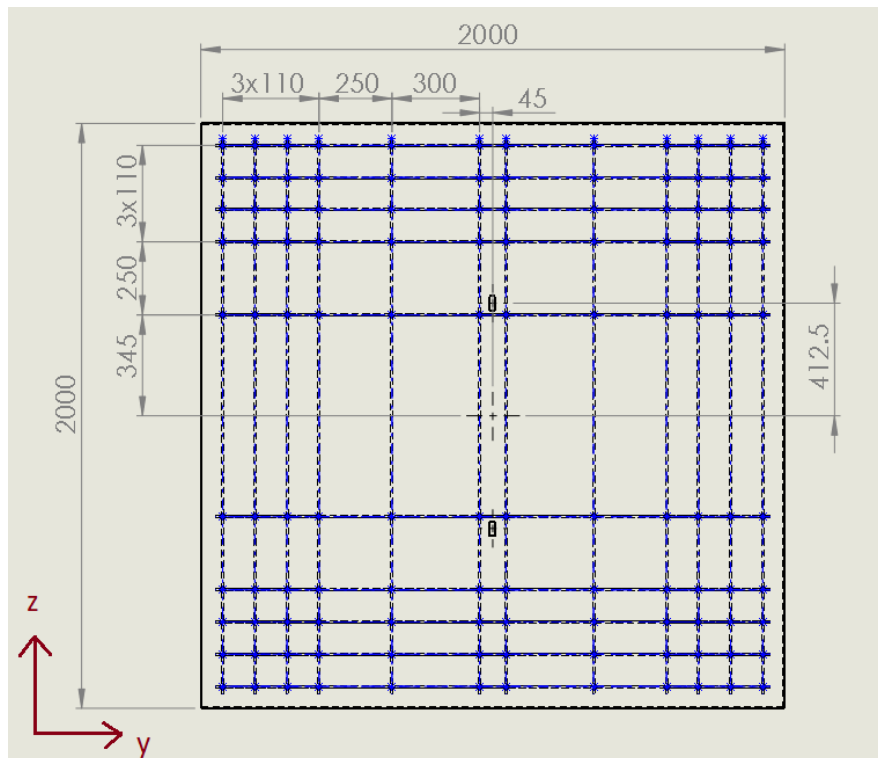


Figure 9: layout of the reinforcement

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

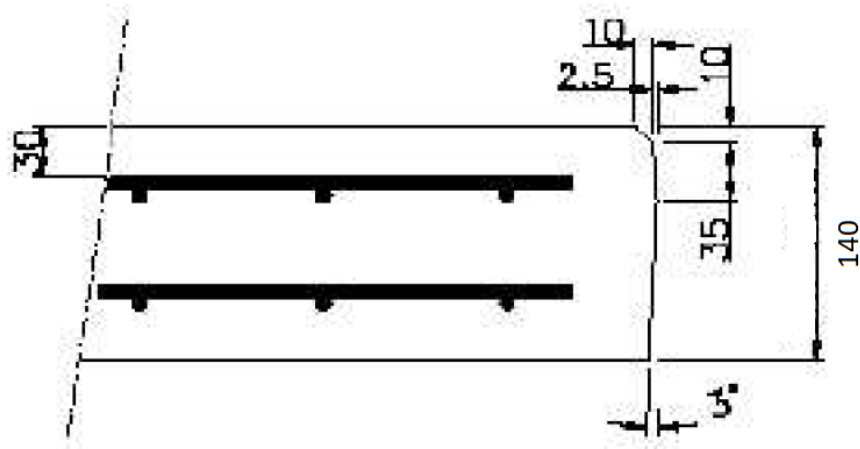


Figure 10: Height of the reinforcement

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.

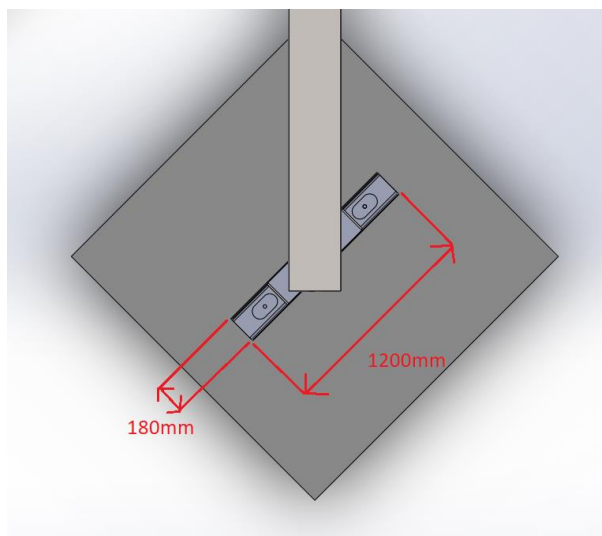


Figure 11: top view of the UNP180 profile to concrete plate connection

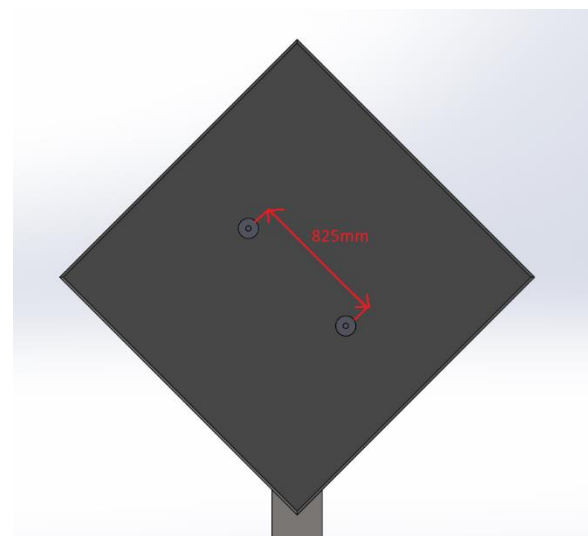


Figure 12: bottom view of the UNP180 profile to concrete plate connection

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.

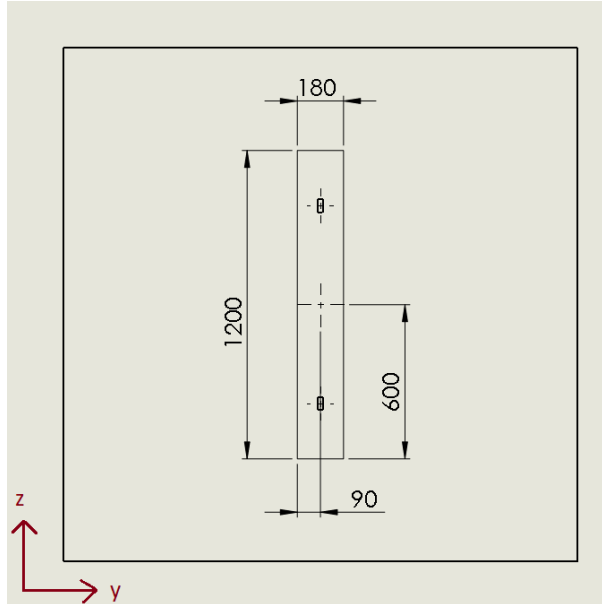


Figure 13: Position of the UNP180 profile

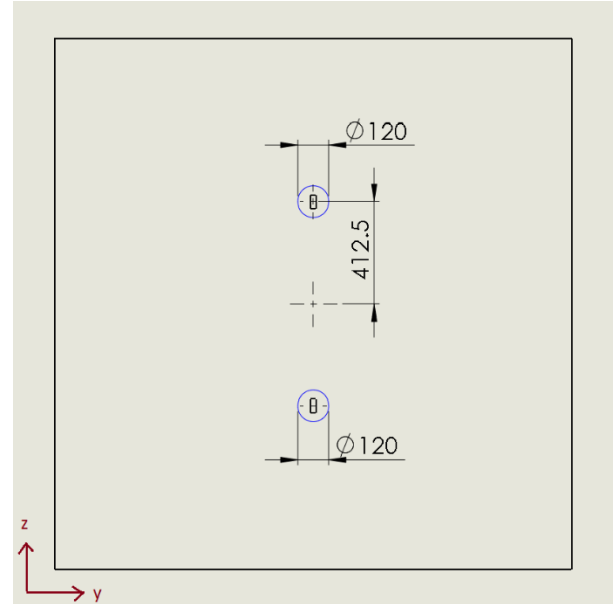


Figure 14: Position of the D120 plates

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.

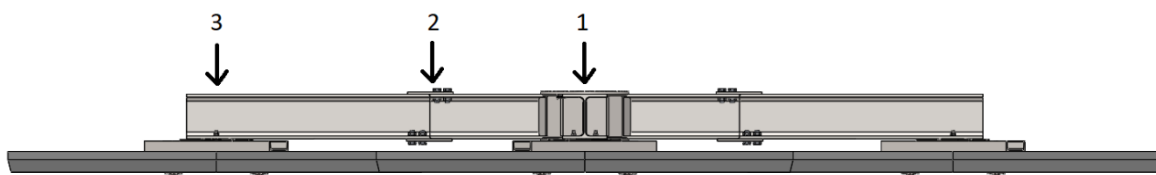
6 Calculation method

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)



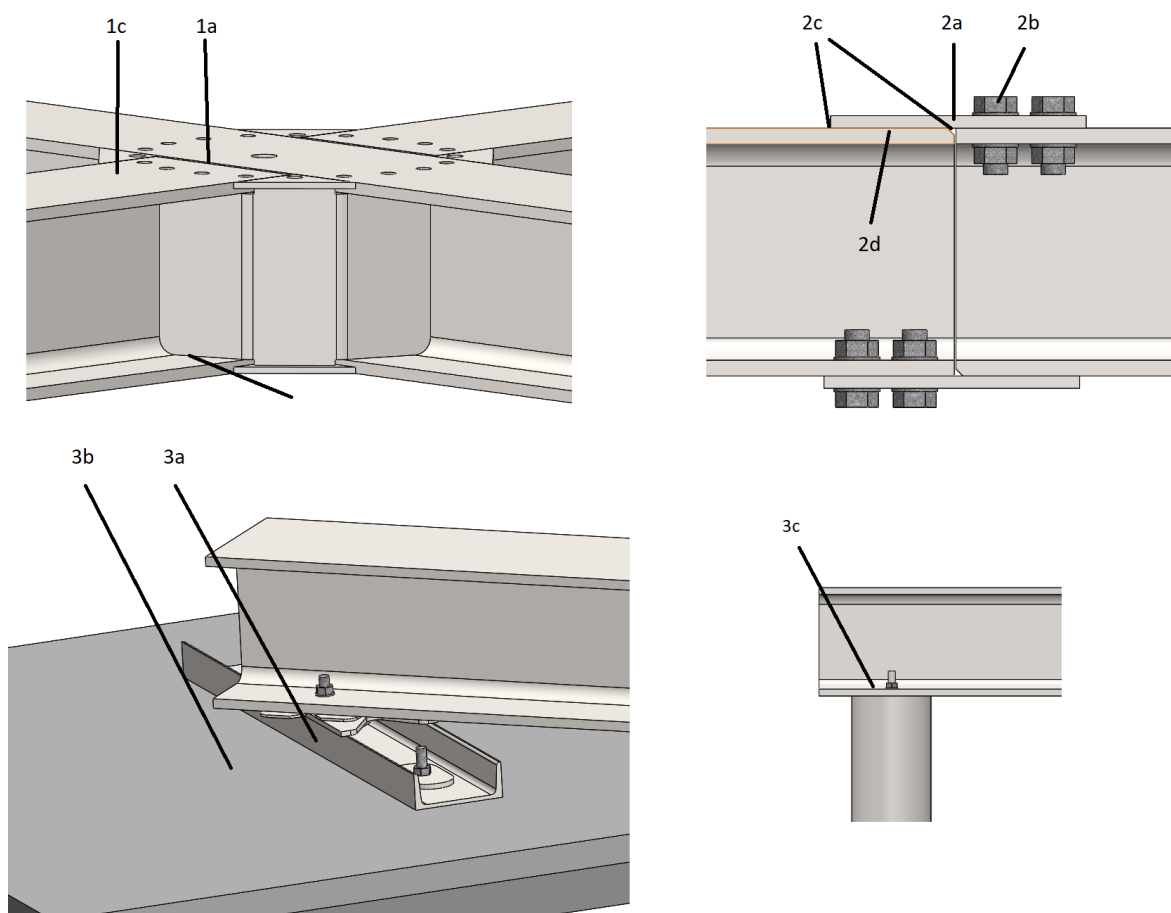


Figure 15: Overview of critical locations

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.

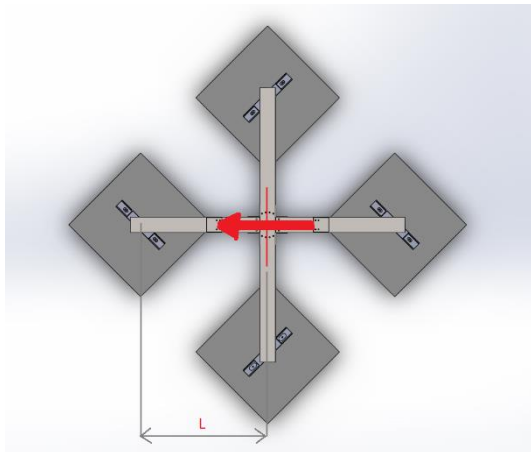


Figure 16: Moment direction is in line with HEB300 profile

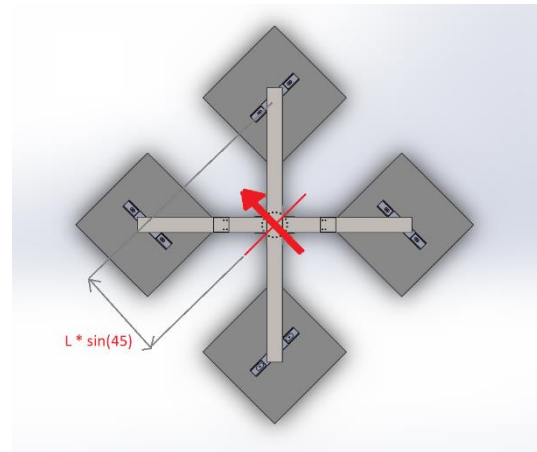


Figure 17: moment direction is in between the HEB300 profiles

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.

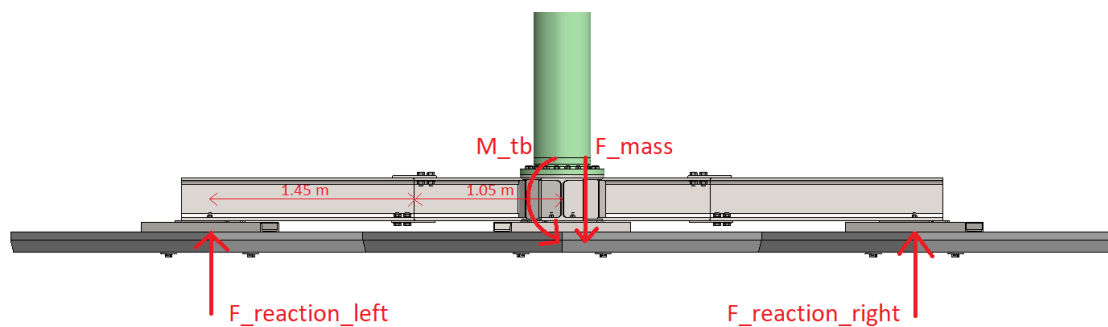


Figure 18: Overview of loads and reaction forces on the foundation

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:	$\frac{\sigma_{eq}}{\sigma_{Yield}/\gamma_{m_{ult}}} > 1$

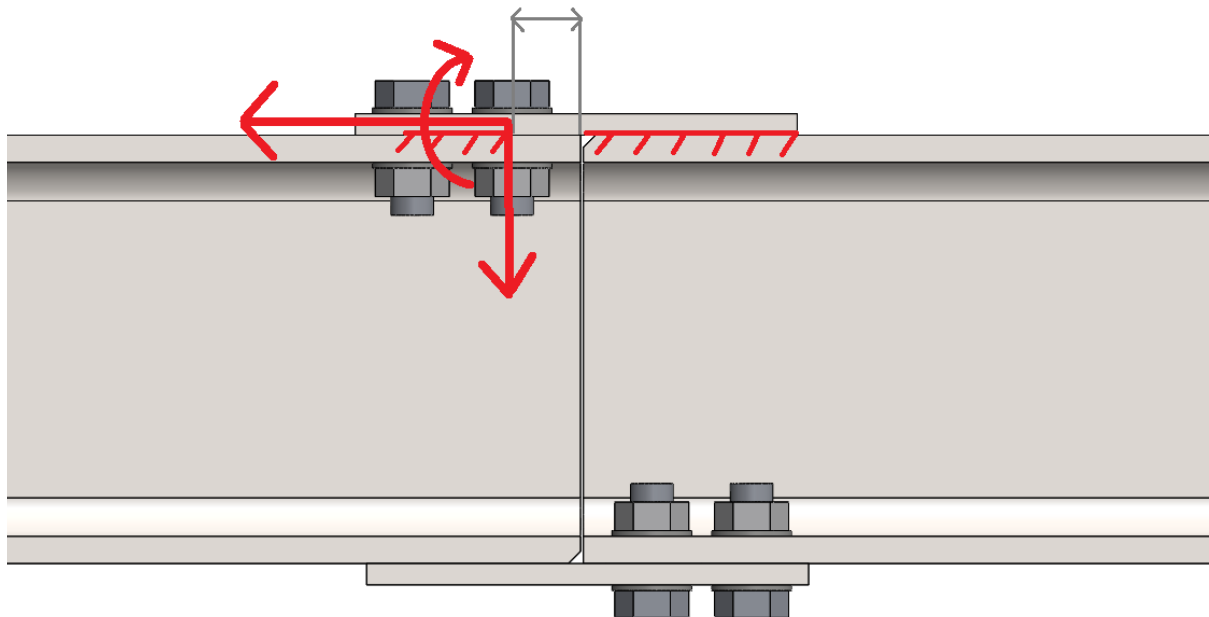


Figure 19: Schematic overview of the forces on the connection plate

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)	$\sigma = \sqrt{\left(\frac{F_{vert_{weld}}}{0.006m * 0.3m}\right)^2 + \left(\frac{F_{hor_{weld}}}{0.006m * 0.3m}\right)^2}$
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.

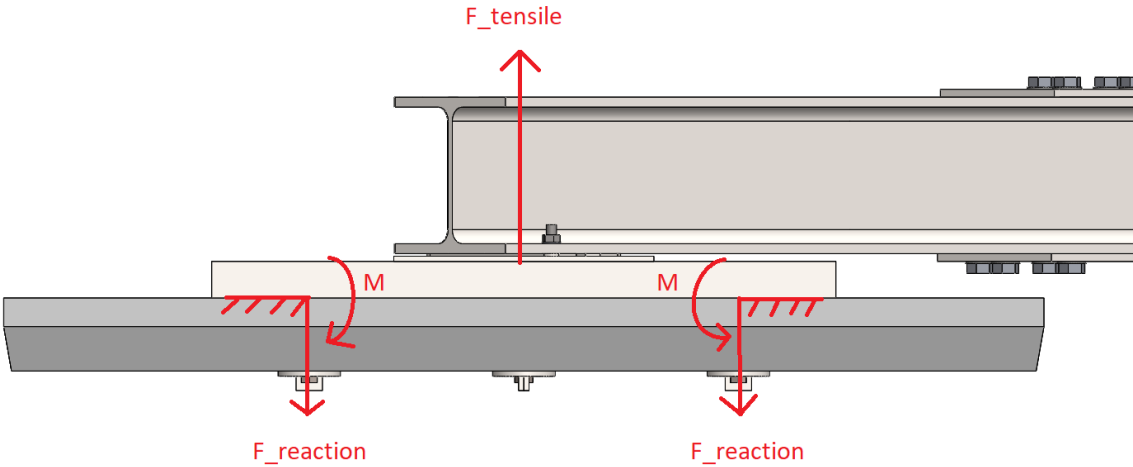


Figure 20: Overview of loading on UNP profile

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.

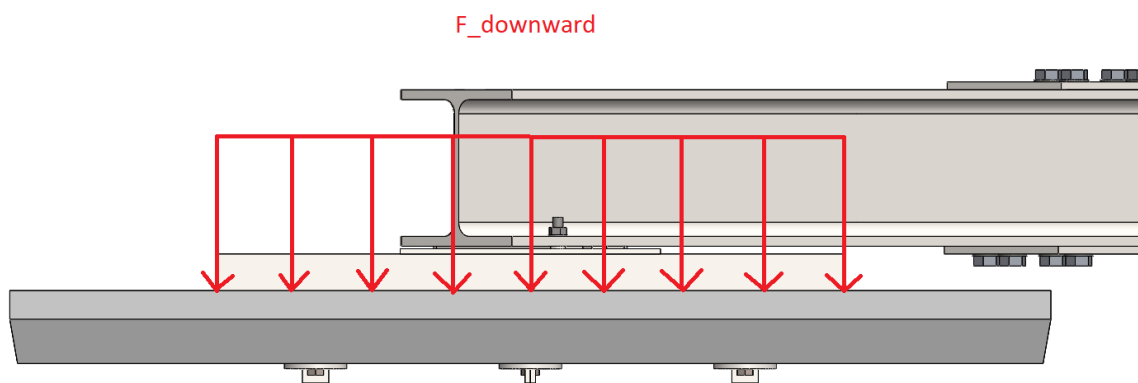


Figure 21: downward loading on the concrete plate

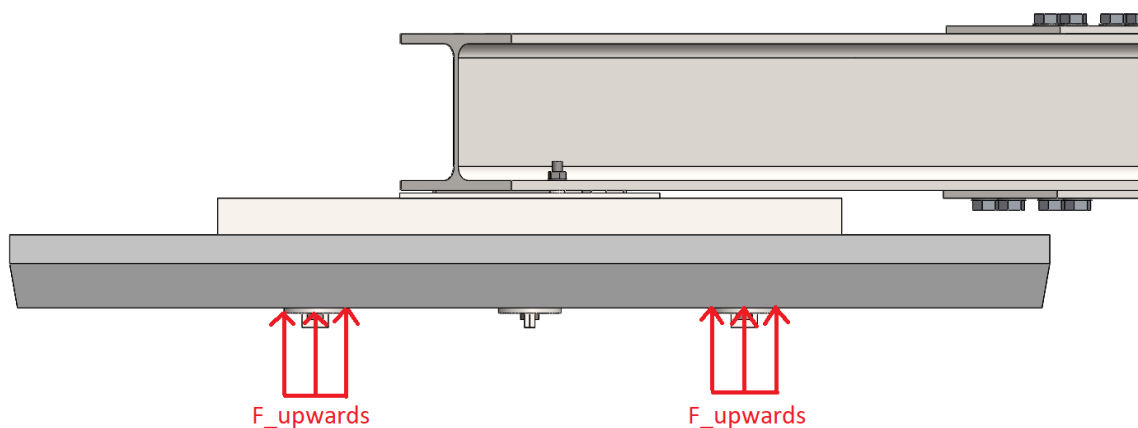


Figure 22: Upward loading on the concrete plate

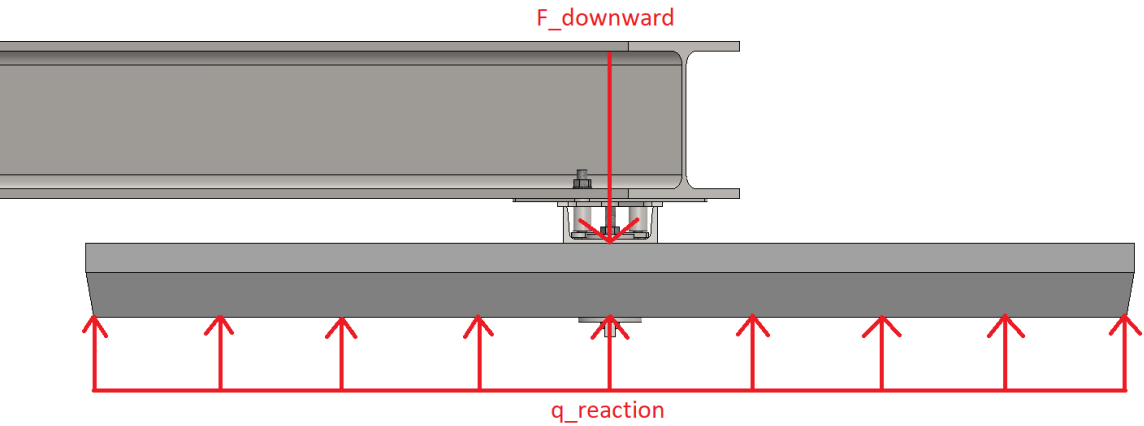


Figure 23: Downward loading and reaction q load of the ground

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	$\rho_{1y} = (4 * D_{low}) / ((C_1 + 6d_{eff}))$	0.18%	
reinforcement ratio over the z-axis cross section	$\rho_{1z} = (8 * D_{low}) / ((C_2 + 6d_{eff}))$	0.16%	
resulting reinforcement ratio	$\rho_1 = (\rho_{1y} * \rho_{1z})^2$	0.17%	
factor	$C_{Rd,c} = 0,12$	0.12	-
design value punching resistance	$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3}$	0.49	N/mm ²
punching circumference	$u_1 = 2(C_1 + C_2) + 4\pi * d_{eff}$	4041.77	mm
factor	$\beta = 1.15$	1.15	-
occurring load	V_{Ed}	57300.00	N
occurring shear stress	$v_{Ed} = \beta (V_{Ed} / (u_1 * d_{eff}))$	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	$\rho_{1y} = (4 * D_{low}) / ((C_1 + 6d_{eff}))$	0.20%	
reinforcement ratio over the z-axis cross section	$\rho_{1z} = (3 * D_{low}) / ((C_1 + 6d_{eff}))$	0.15%	
resulting reinforcement ratio	$\rho_1 = (\rho_{1y} * \rho_{1z})^2$	0.17%	
factor	$C_{Rd,c} = 0,12$	0.12	-
design value punching resistance	$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3}$	0.49	N/mm ²
punching circumference	$u_1 = (C_1 + 4 * d_{eff}) \pi$	1658.76	mm
factor	$\beta = 1.15$	1.15	-
occurring load	V_{Ed}	13650.00	N
occurring shear stress	$v_{Ed} = \beta (V_{Ed} / (u_1 * d_{eff}))$	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	$F_{hor} = \frac{211.5 \text{ kNm}}{15m * 4}$	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	$\frac{\sigma_{yield}}{\gamma_{mult}}$	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 tot 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	-

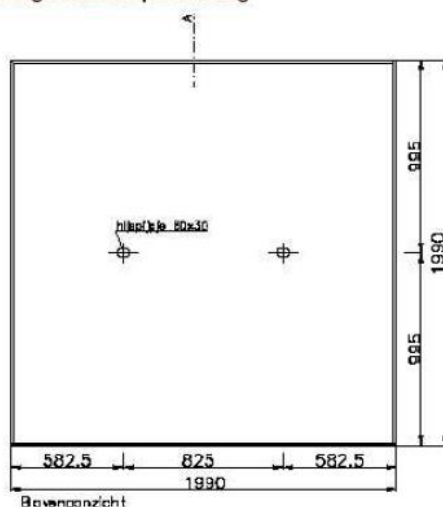
12 Annexes

12.1 Specification sheet concrete plate

vloerplaat industrie constructief met facetrand

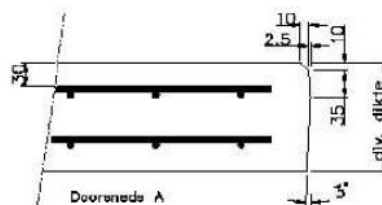
Afmetingen:

- 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.

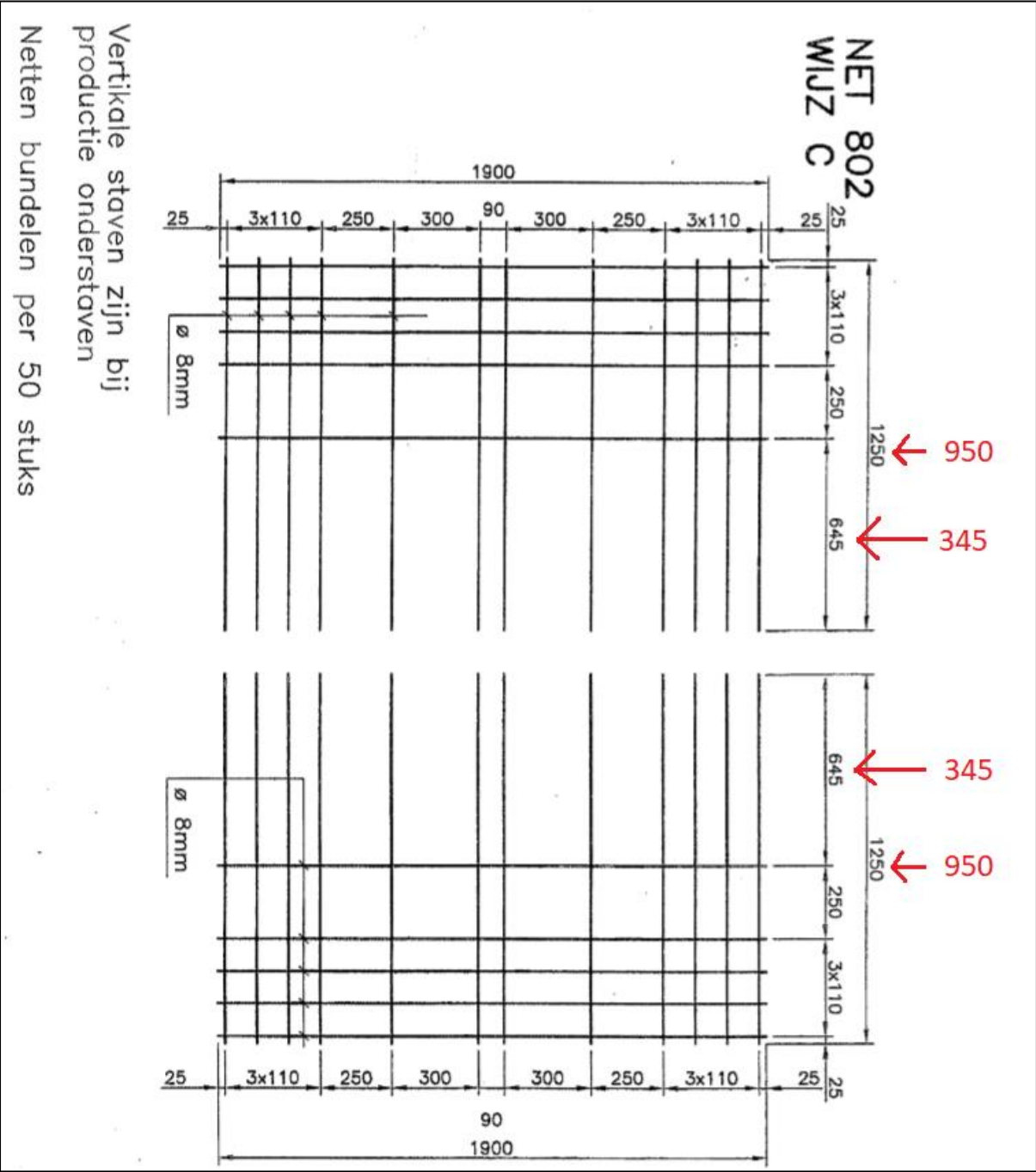
VERKEERSKLASSEN VRACHTWAGENS

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

HEFTRUCK EN PUNTLASTEN

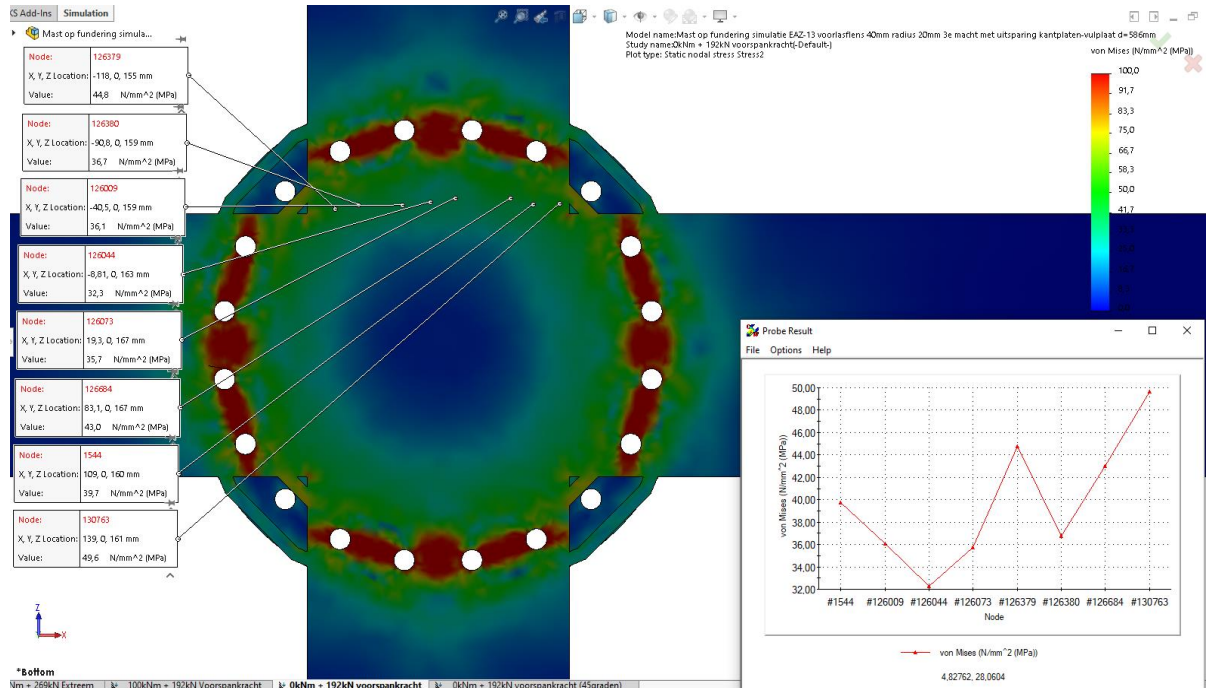
PLAATDIKTE IN MM:	140	160
Heftruck banden superelastisch	150 kN	160 kN
Heftruck banden massief	135 kN	145 kN
Puntlasten met opp. van 200x200 mm	95 kN	105 kN

12.2 Layout of the reinforcement

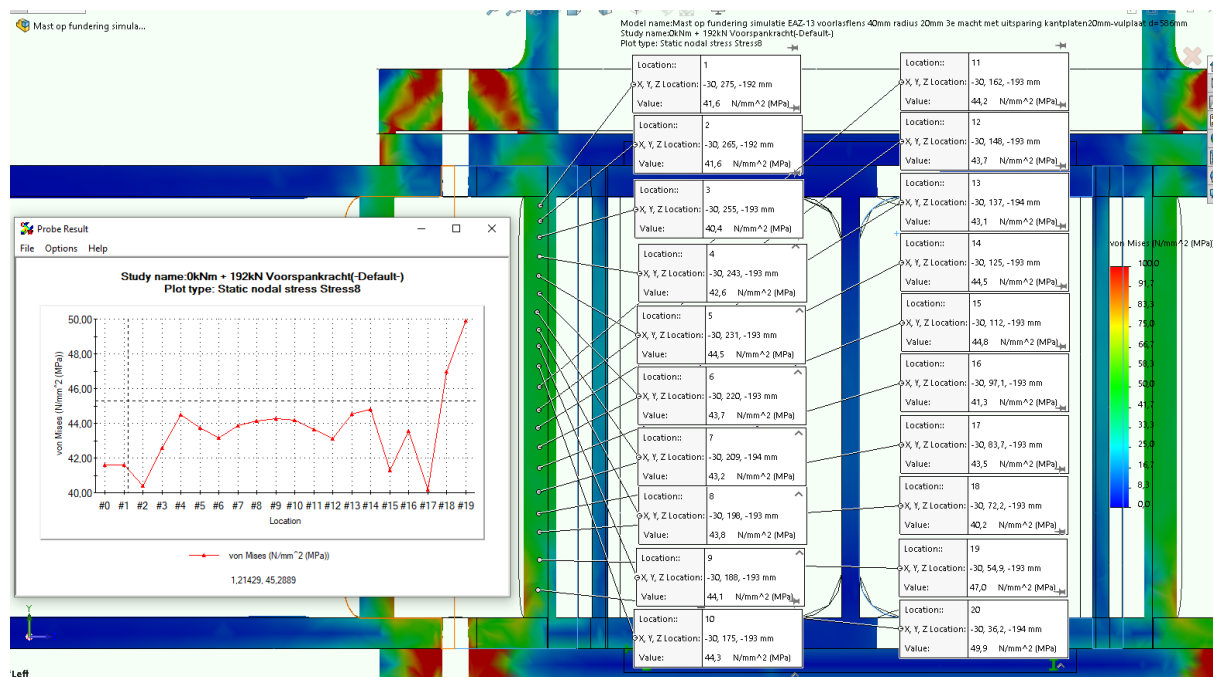


12.3 Results from FEM simulation 2

1a. HEB profile flange weld

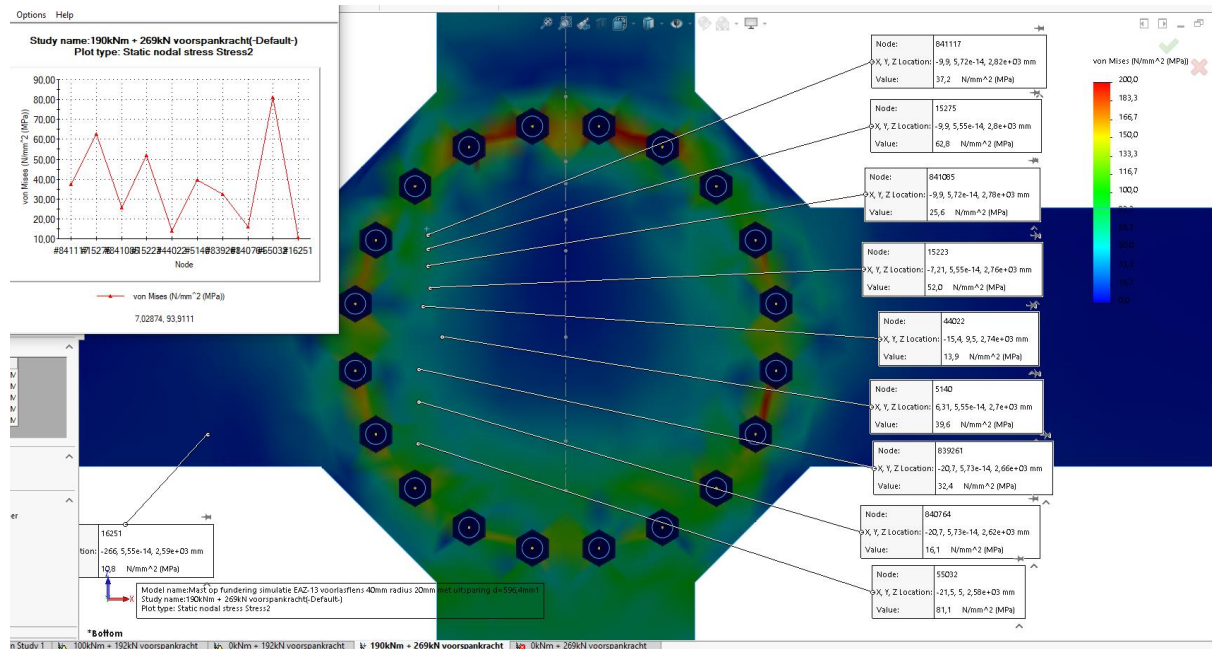


1b. Reinforcement plate weld

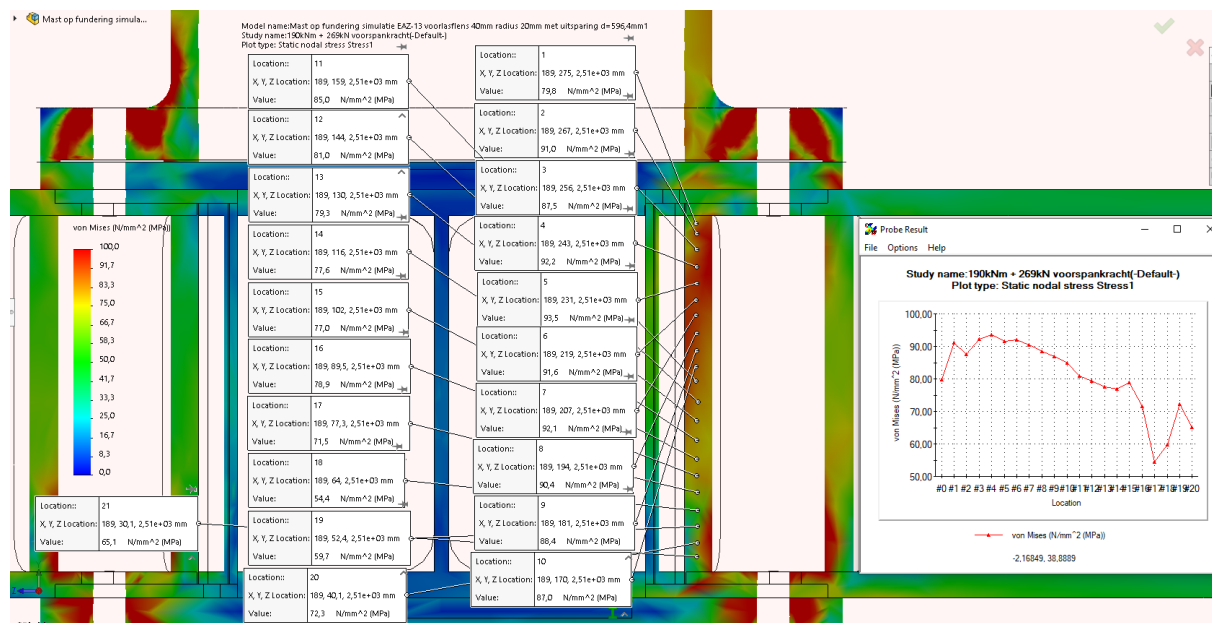


12.4 Results from FEM simulation 3

1a. HEB profile flange weld:

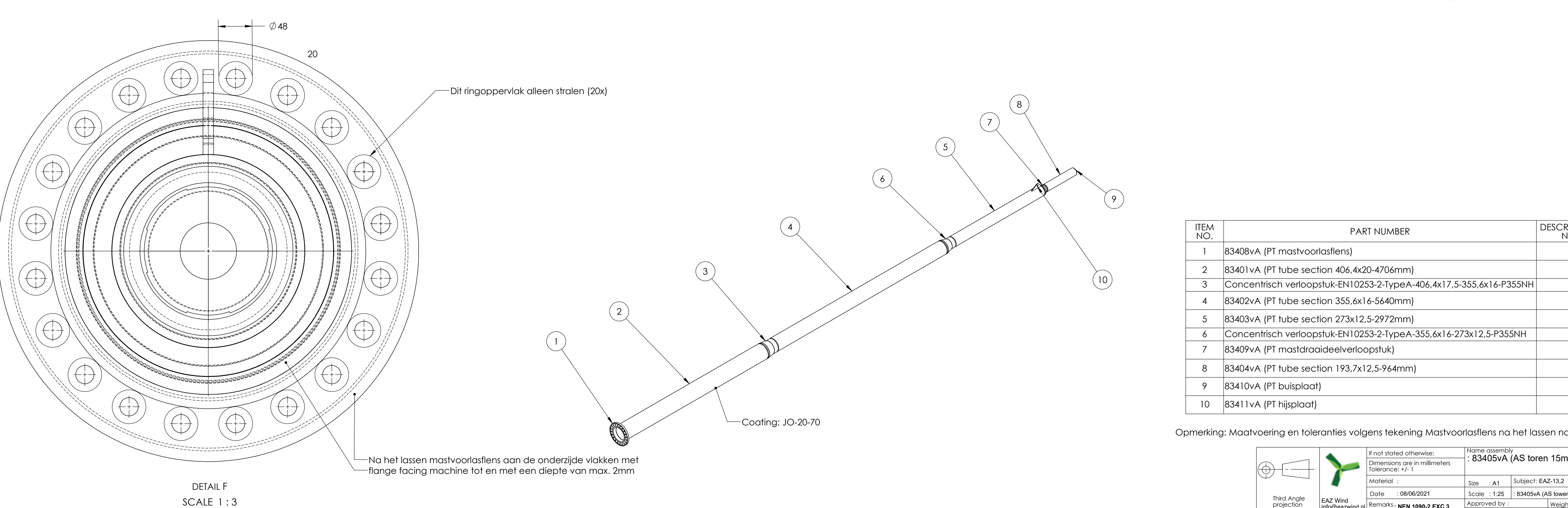
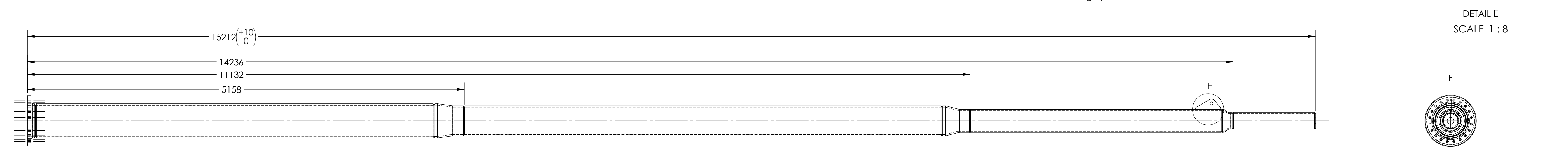
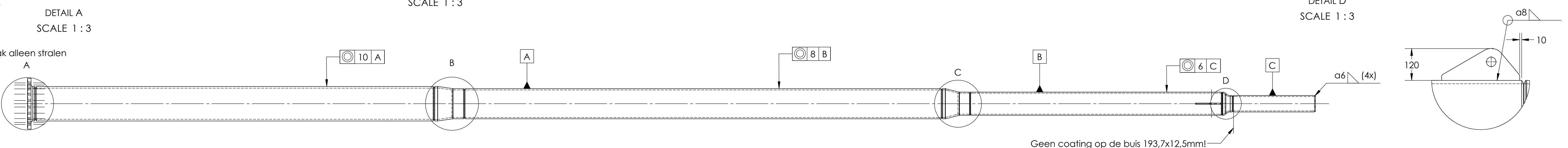
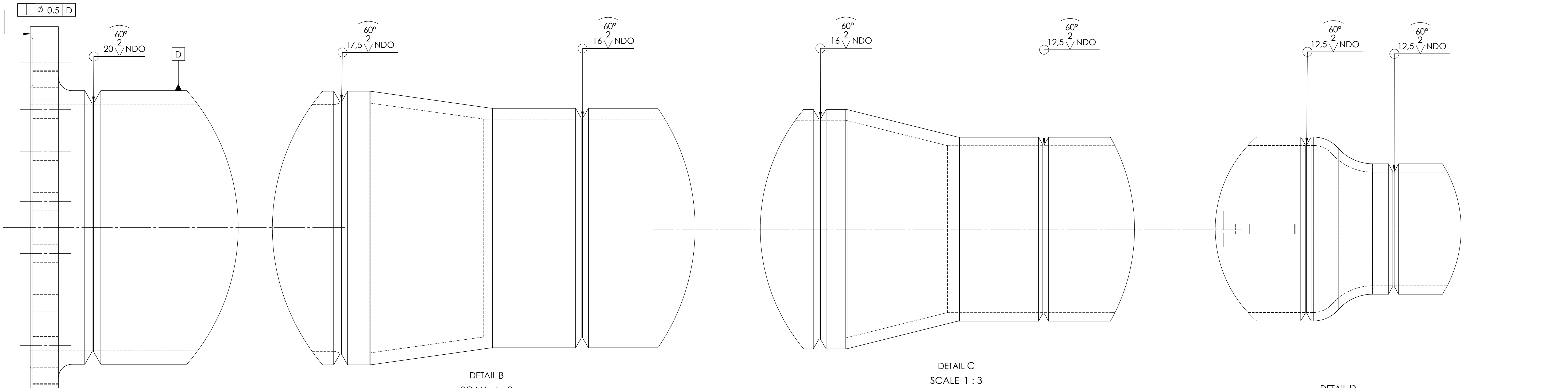


1b. Reinforcement plate weld:



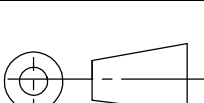
12.5 Rain flow counts

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



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTIO N	
1	83408vA (PT mastvoorlasflens)		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 Mastvoorlasflens na het lassen nameten!

 Third Angle projection	 EAZ Wind info@eazwind.nl	If not stated otherwise: Dimensions are in millimeters Tolerance: +/- 1		
		Name assembly : 83405vA (AS toren 15m)		
		Material : Date : 08/06/2021	Size : A1 Scale : 1:25	Subject: EAZ-13.2 : 83405vA (AS tower 15m)
		Remarks : NEN 1090-2 EXC 3	Approved by : Drawn : W. Huijssoon	Weight [kg] : 2087757 Version : A



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

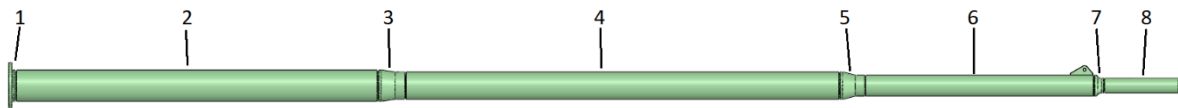


Figure 1: Overview of the tower

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.

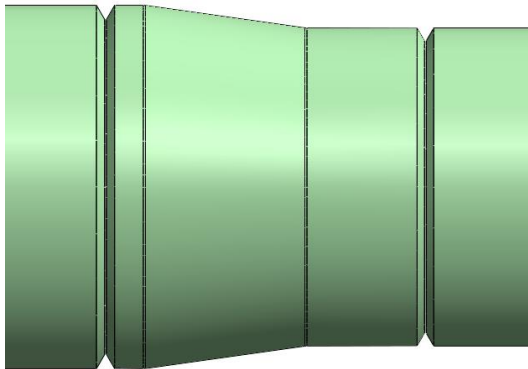


Figure 2: Connection of the tower sections

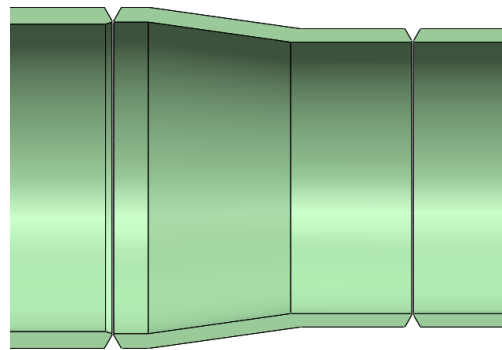


Figure 3: Section view of the connection

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.

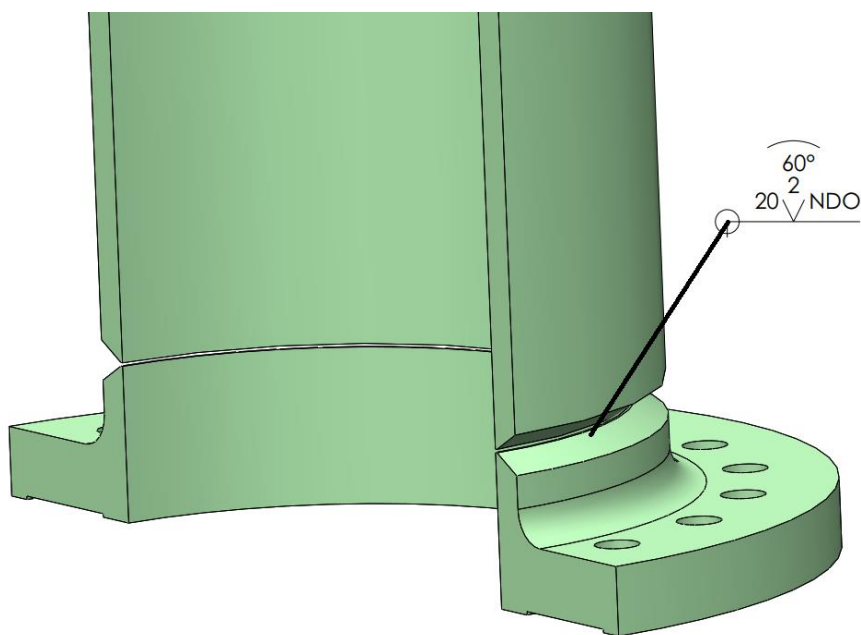


Figure 4: Sectional view of the base of the tower including the weld

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

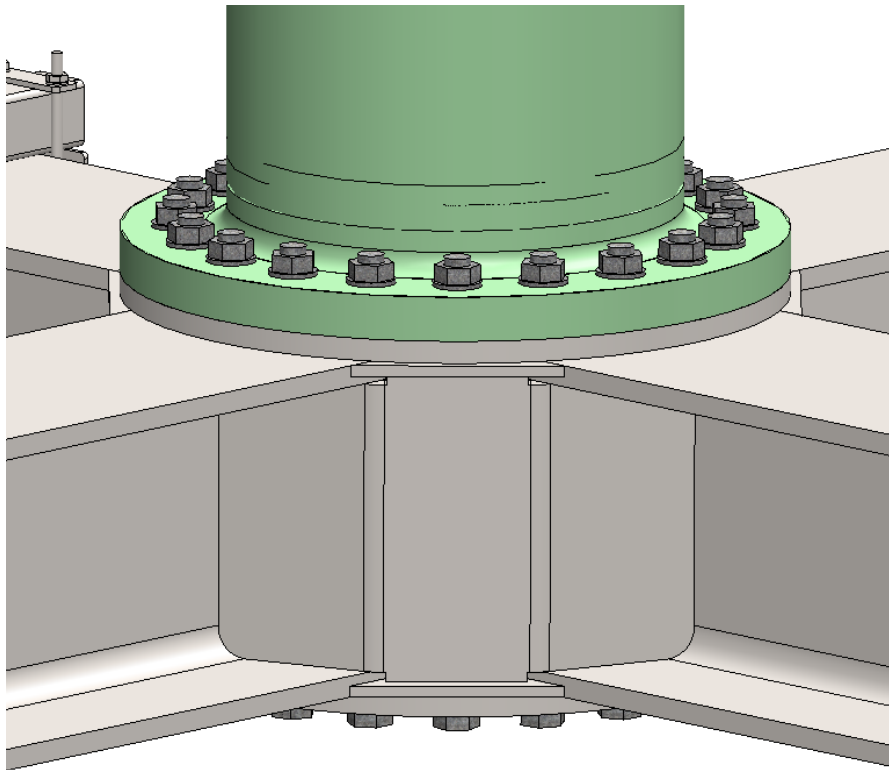


Figure 5: Bolt connection of the flange to the foundation

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

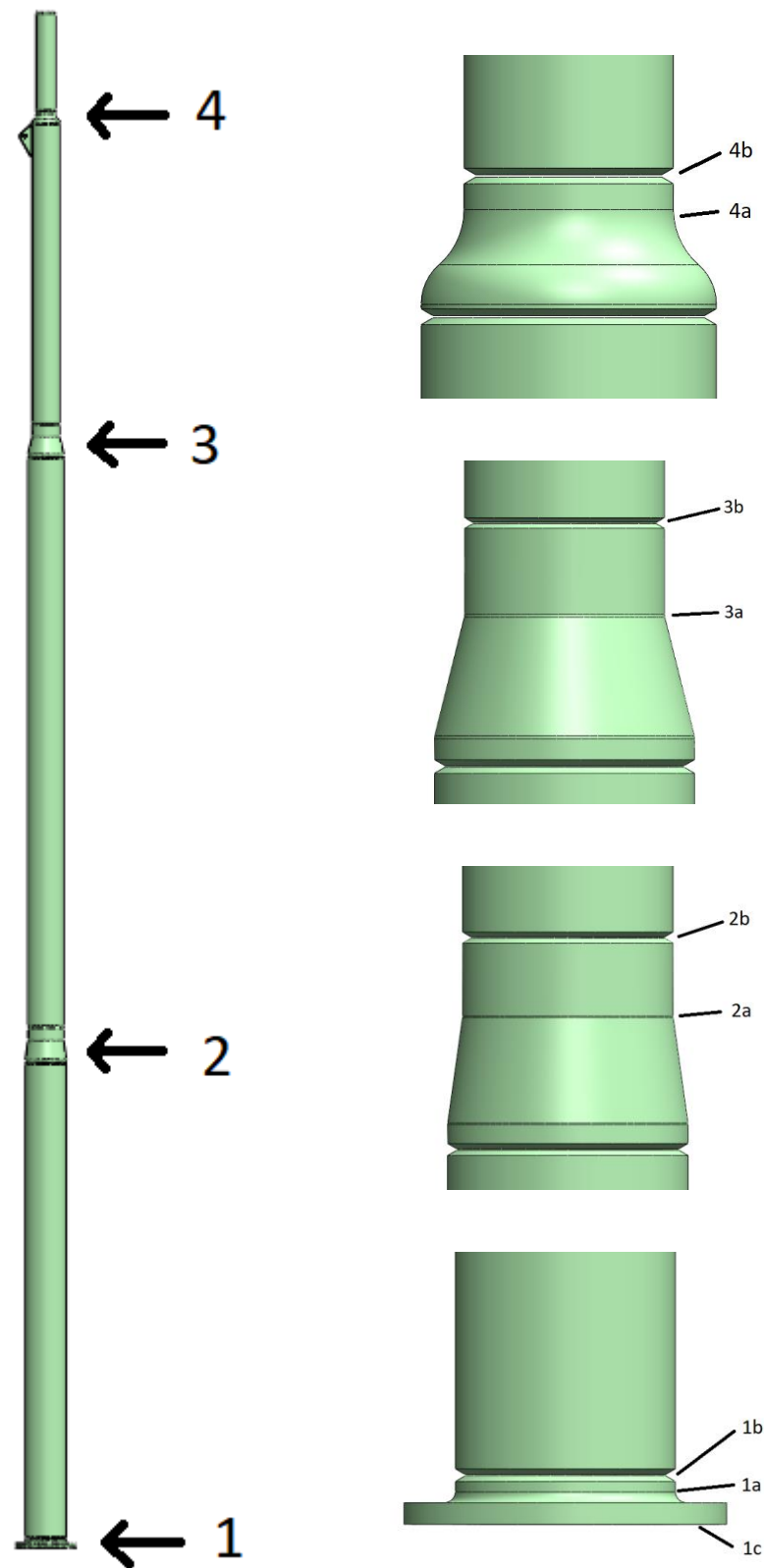


Figure 6: Critical locations of the tower

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:	$\frac{313372.6}{5.619 * 10^6} = 5.577 * 10^{-2}$

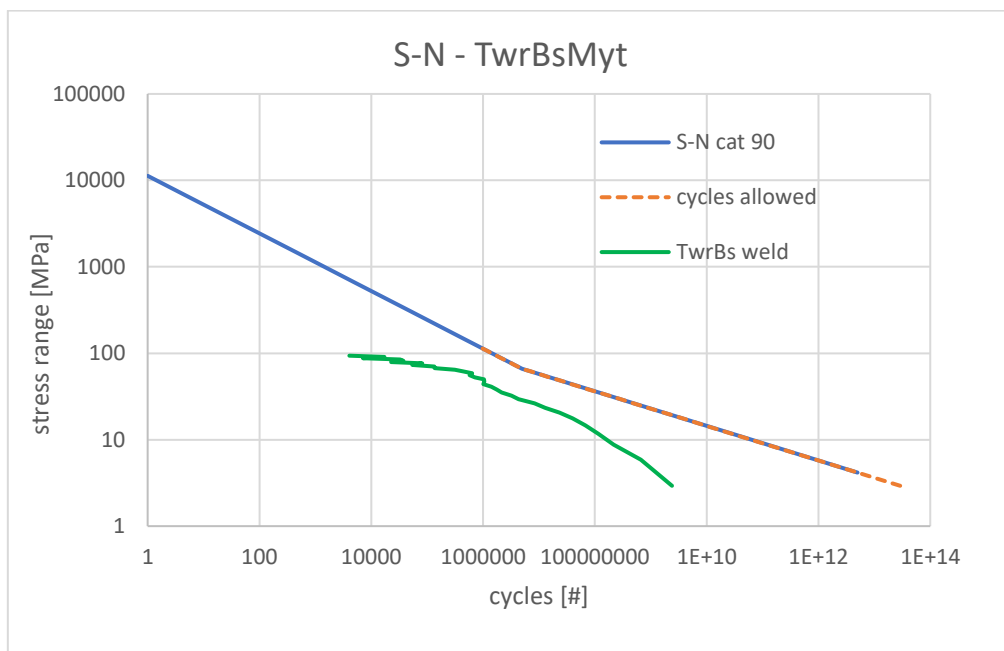


Figure 7: SN-curve and rainflow counted stress in flange weld.

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.

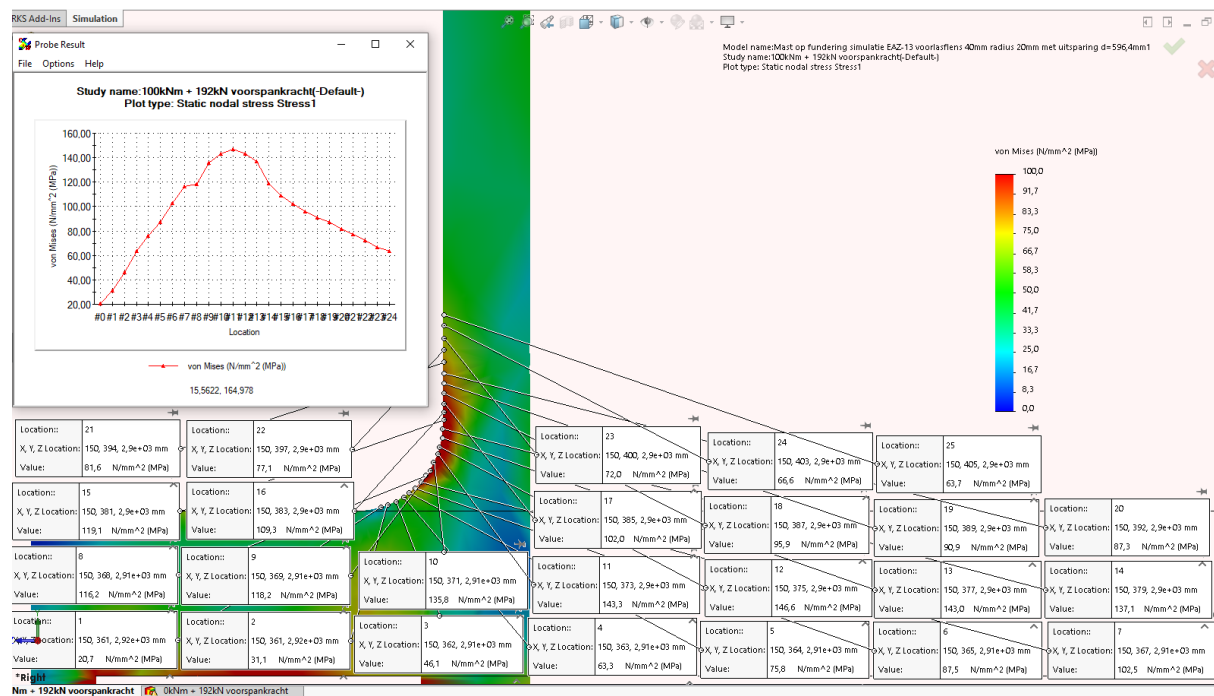
Table 16: Fatigue load evaluation of bolts

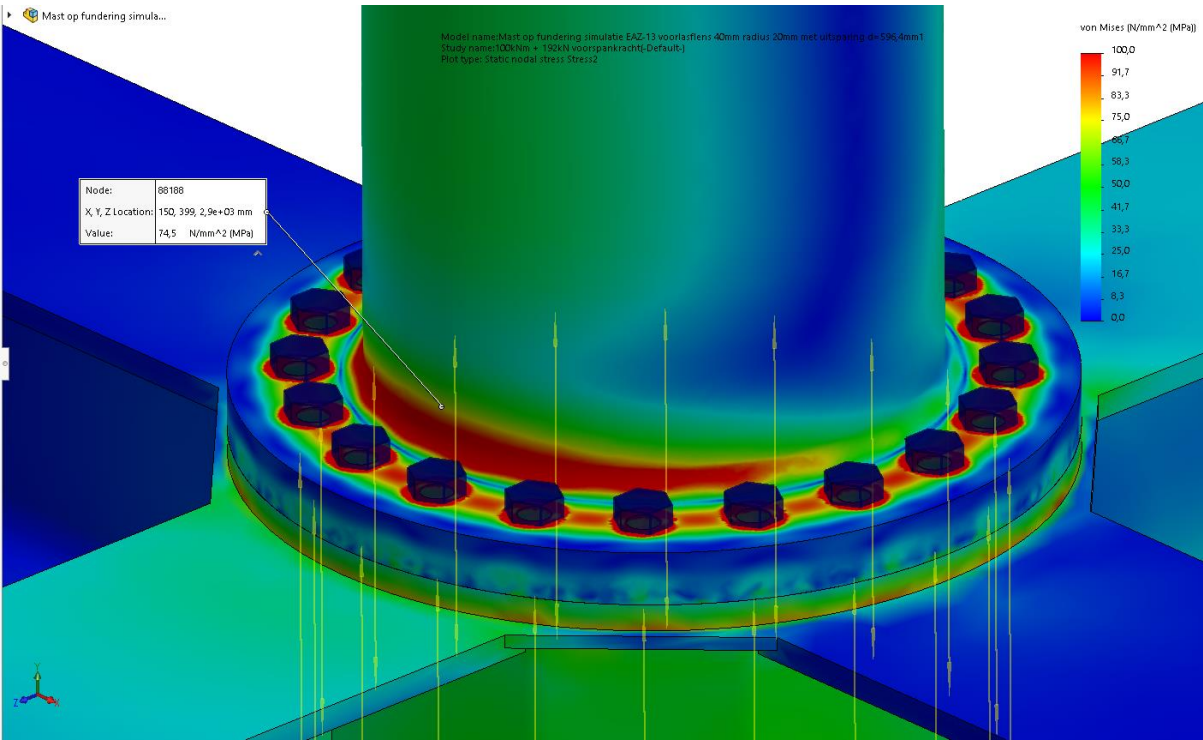
		Bottom flange to foundation
Evaluation	[-]	0.010

9 Annexes

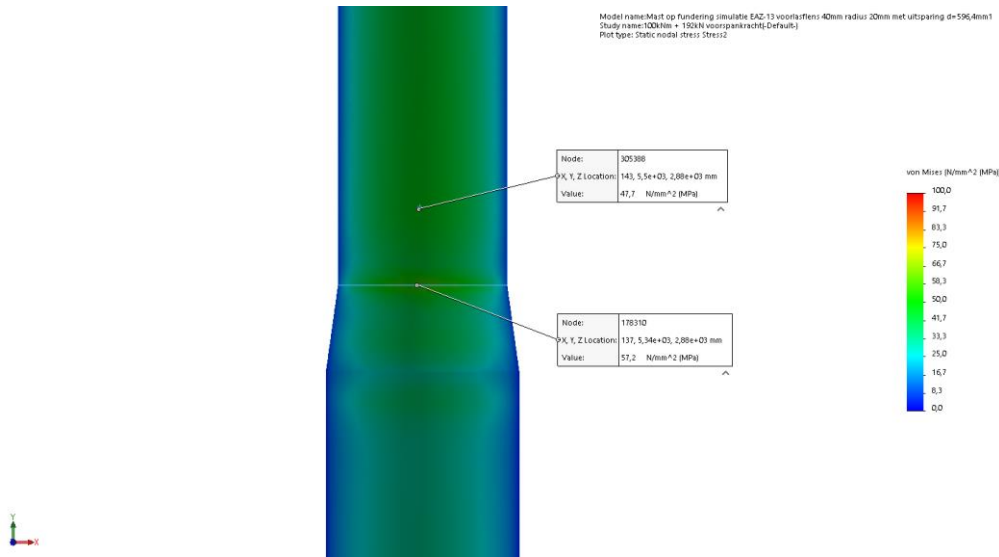
9.1 Results FEM simulation 1

Bottom flange:

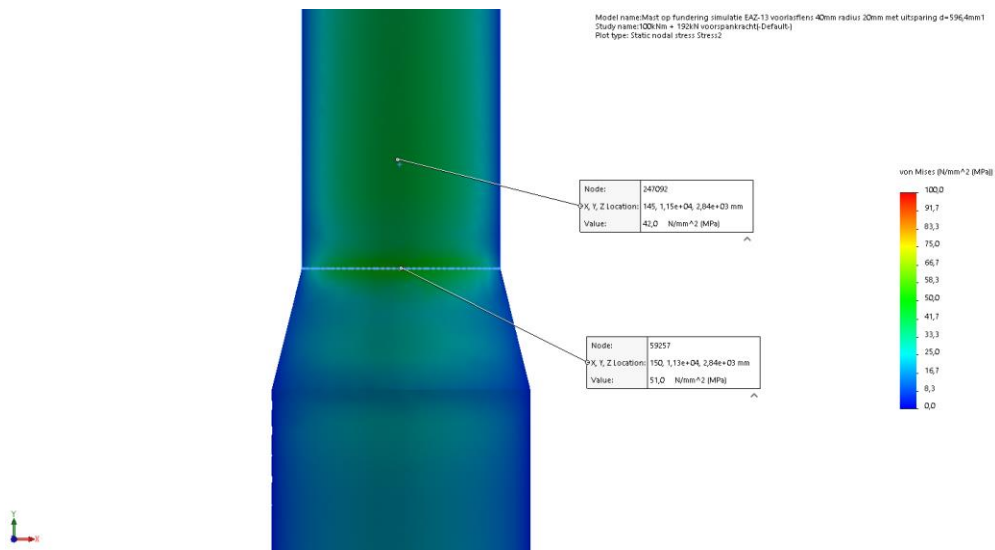




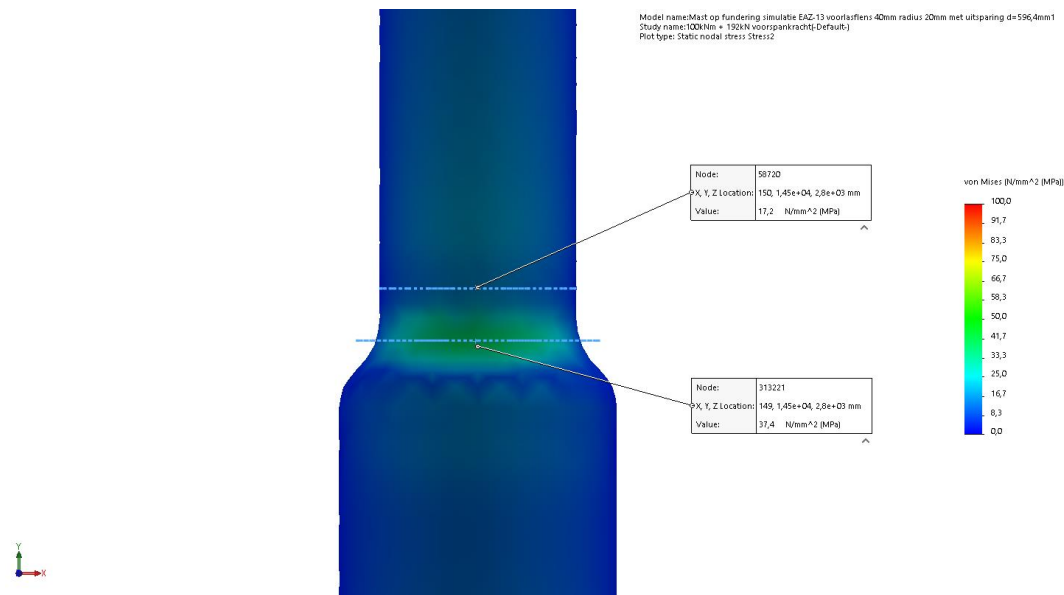
Reducer 1:



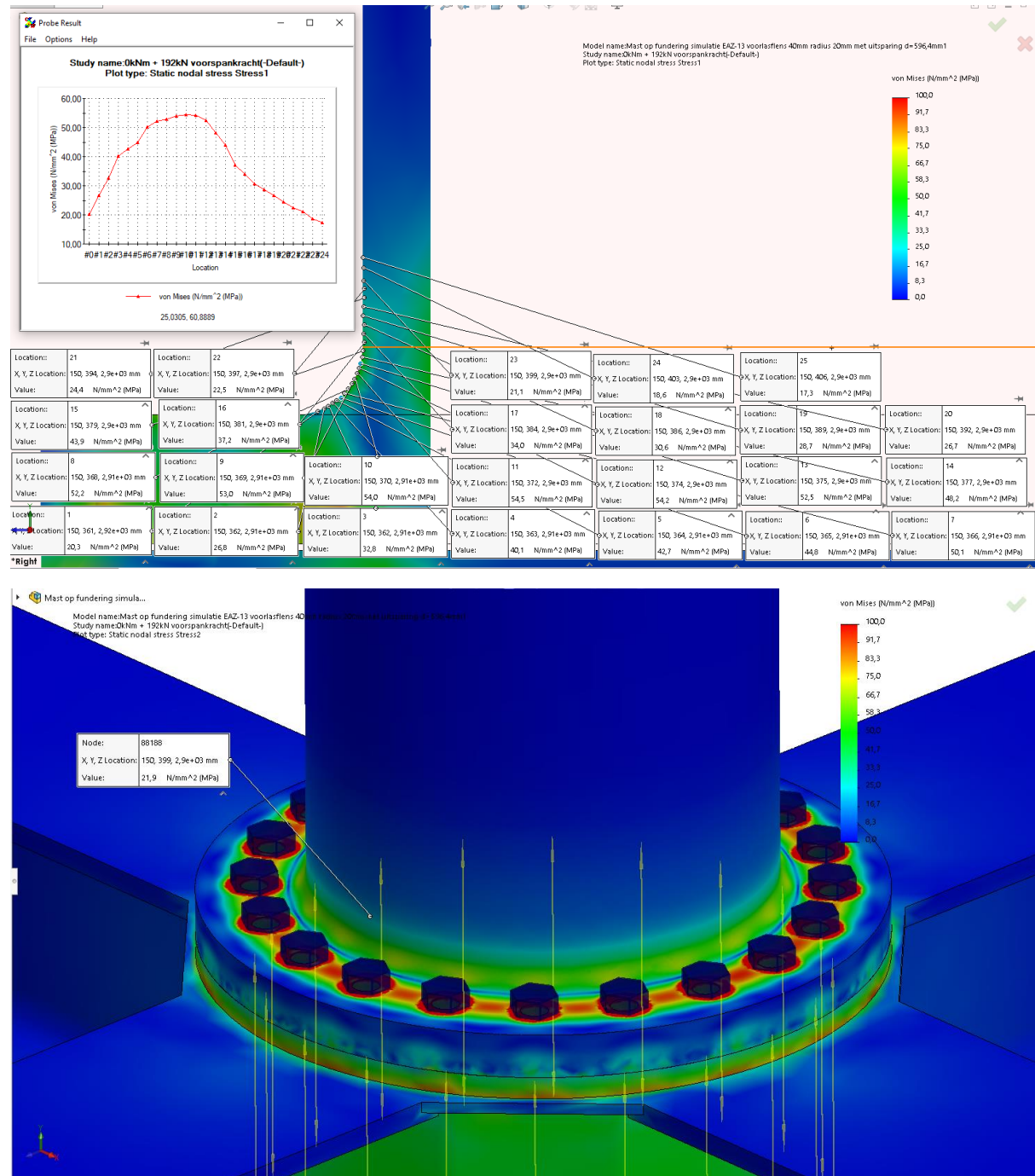
Reducer 2:



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

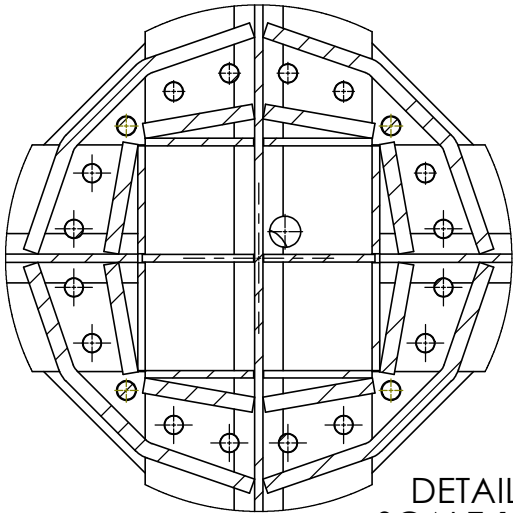
9.4 Bolt stresses at maximum pre-tension

	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

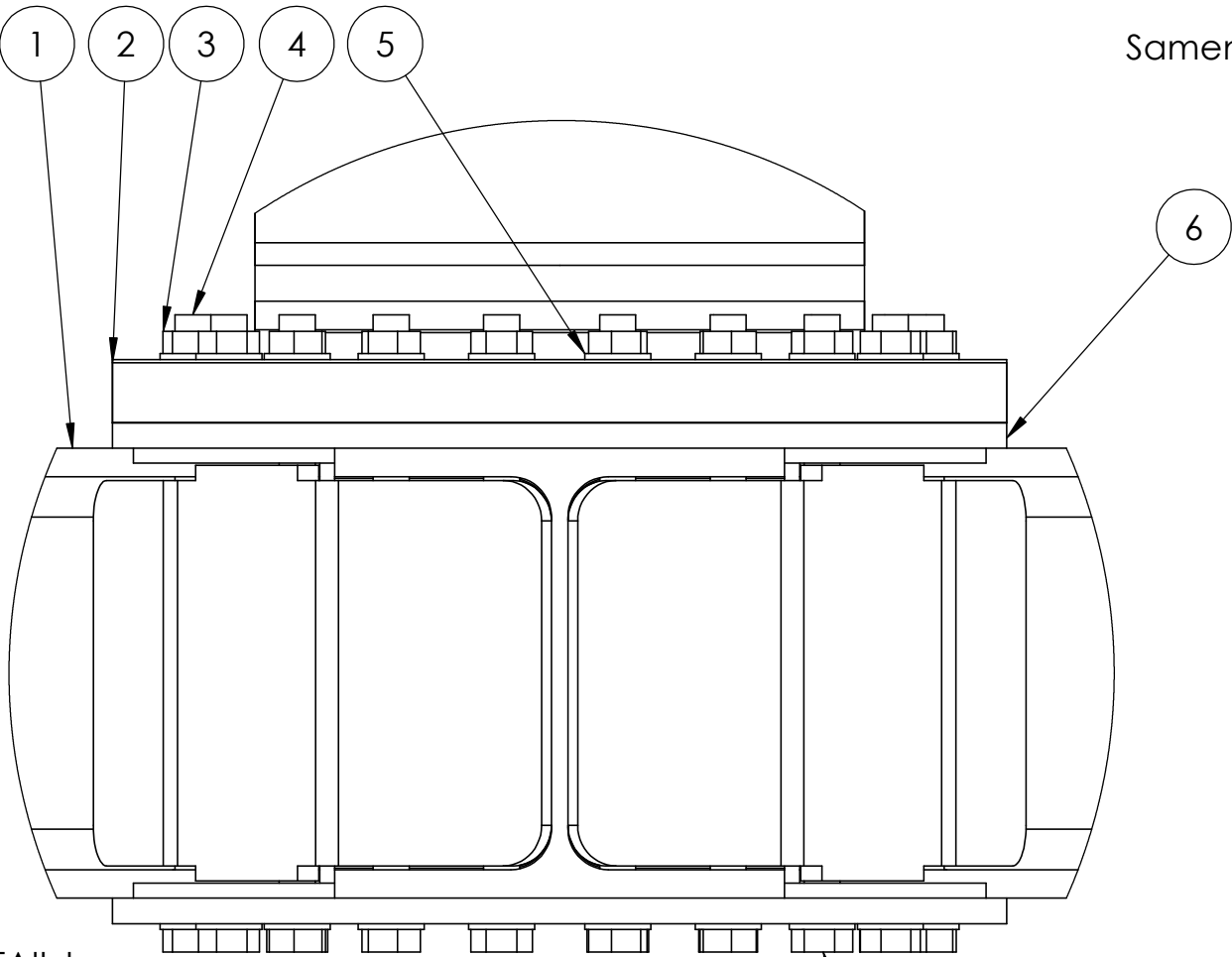
9.5 Bolt stresses at minimum pre-tension

	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

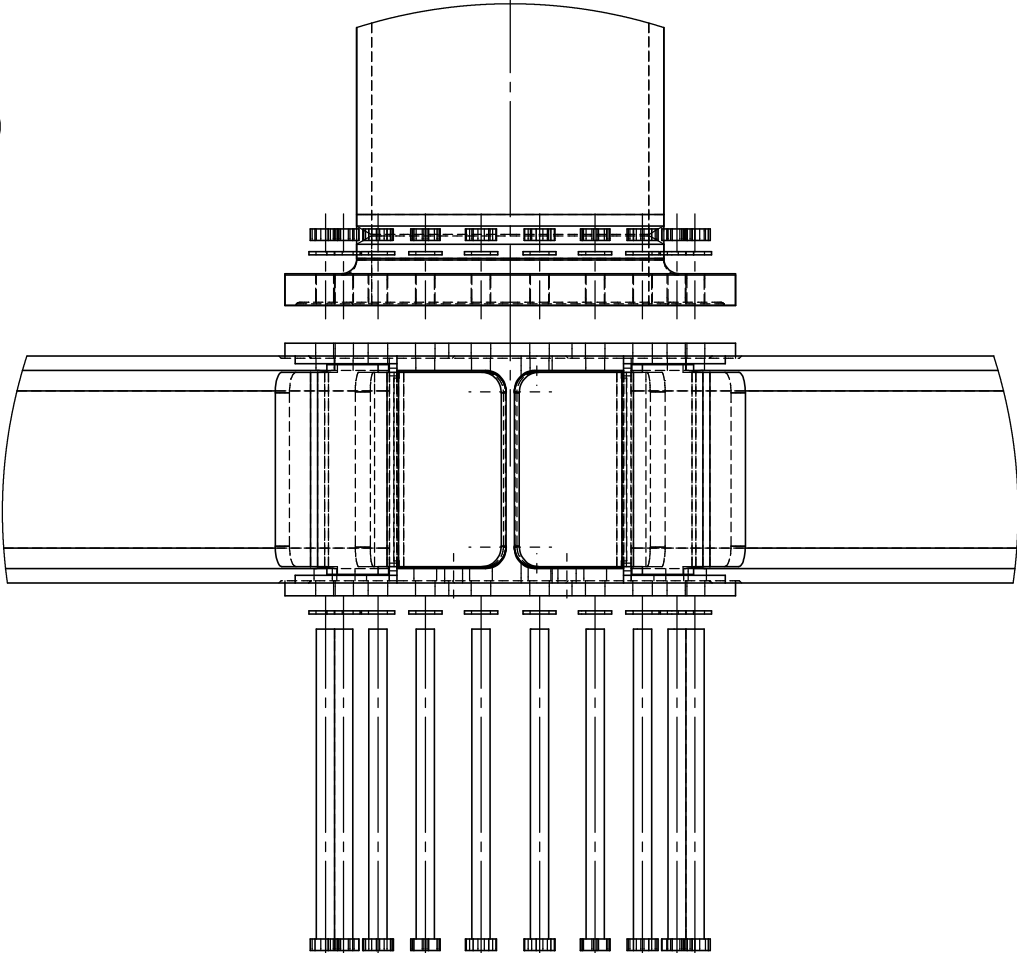
Samenstelling installatie methode:



DETAIL F
SCALE 1 : 10

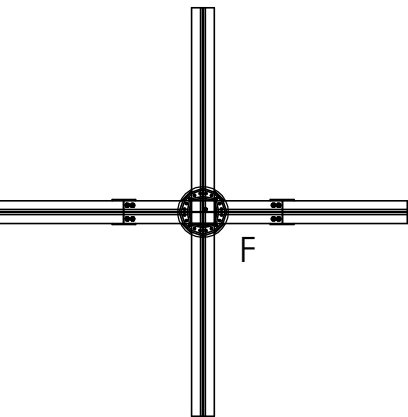


DETAIL I
SCALE 1 : 5

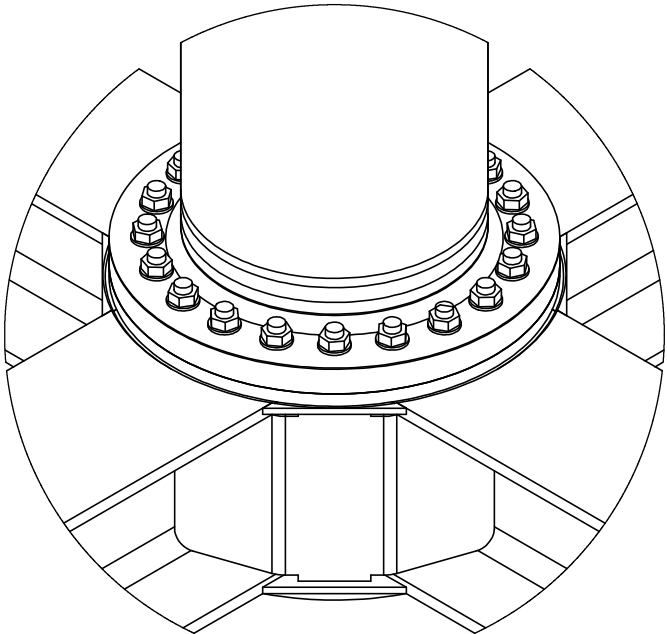
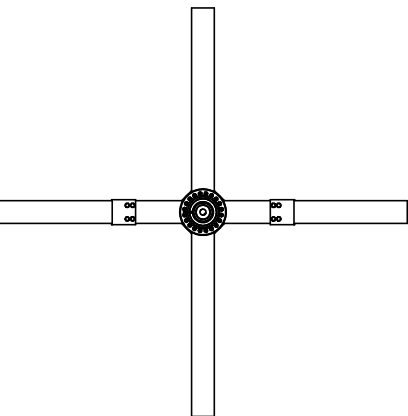


DETAIL C
SCALE 1 : 10

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

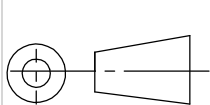
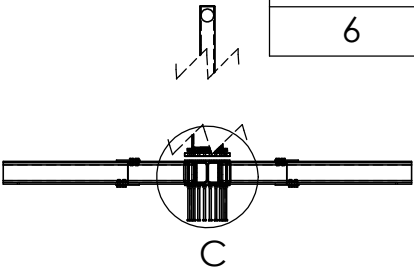
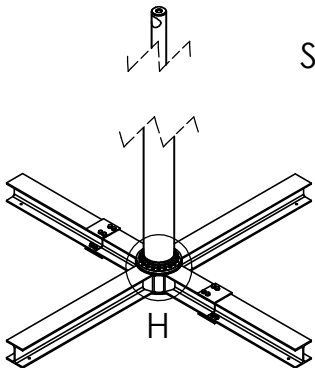
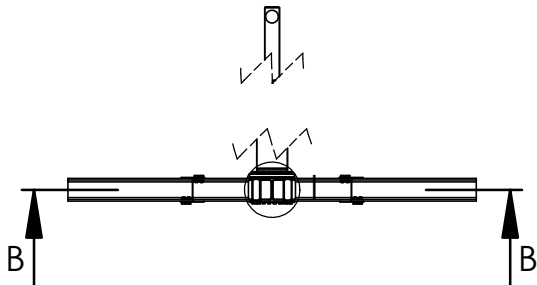


SECTION B-B
SCALE 1 : 100



DETAIL H
SCALE 1 : 10

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



EAZ Wind
info@eazwind.nl

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

Scale : 1:100

Approved by :

Drawn : W. Huijssoon

Subject: Fundering 15m mast

: 83505 HooAssFunderingMast

Weight(kg): 3500

SW Version : 4

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.

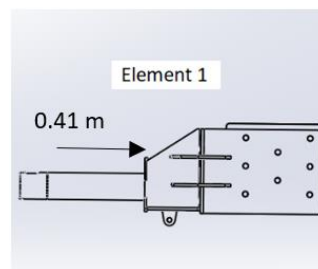


Figure 2 radial positions at blade clamp.

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

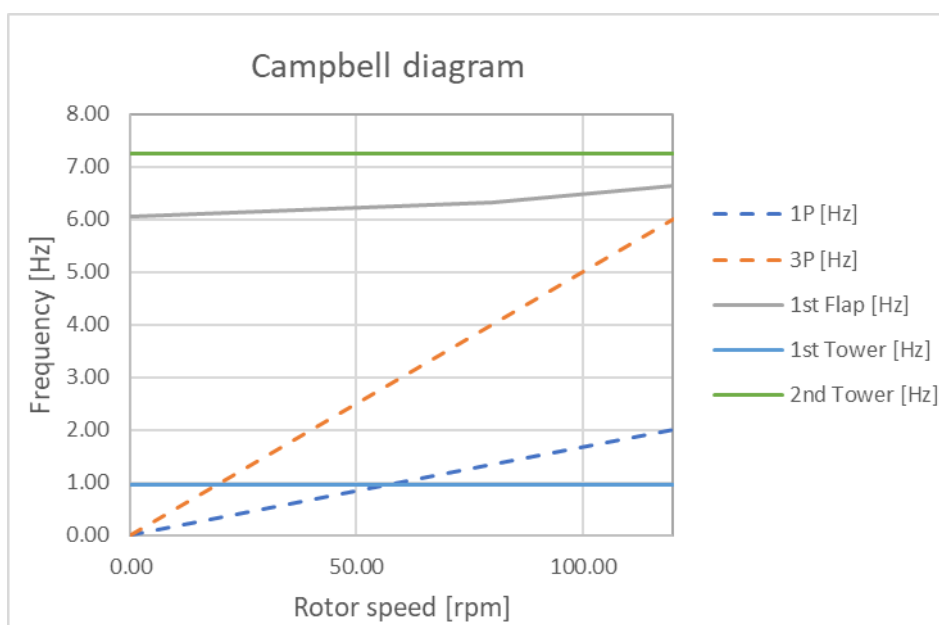


Figure 3: Campbell diagram EAZ-13.2 wind turbine

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 blades 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.

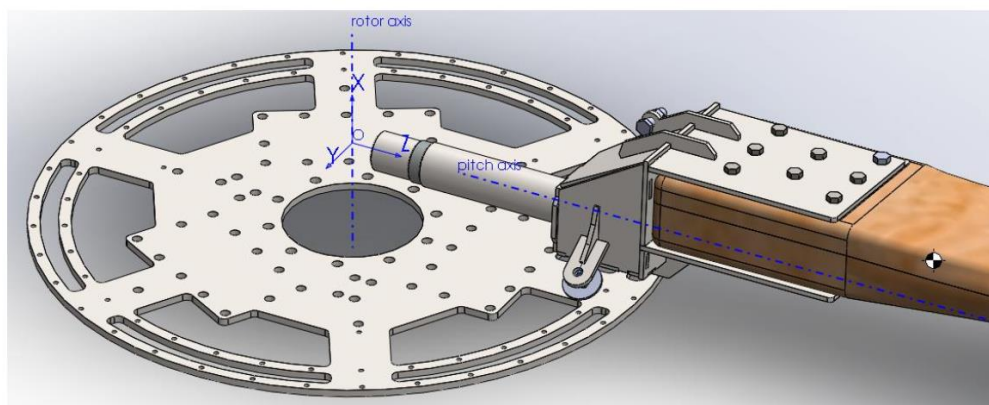


Figure 4: Blade clamp coordinate system

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.

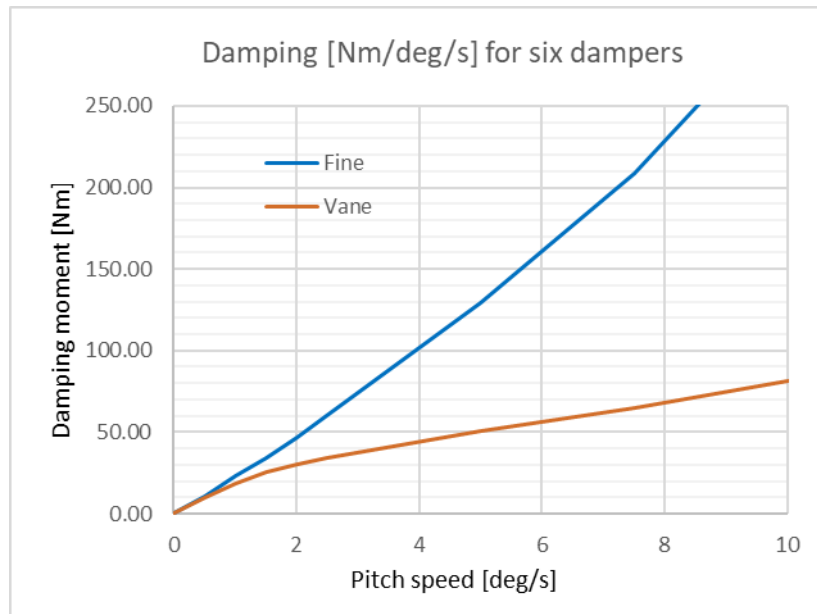


Figure 5: damping of pitch system as function of pitch speed and direction

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.

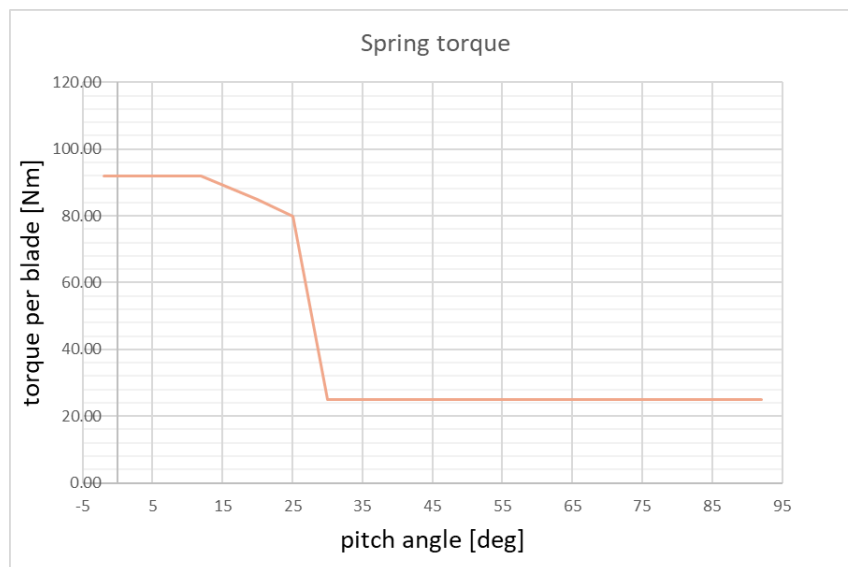


Figure 6: pitch system spring torque

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.

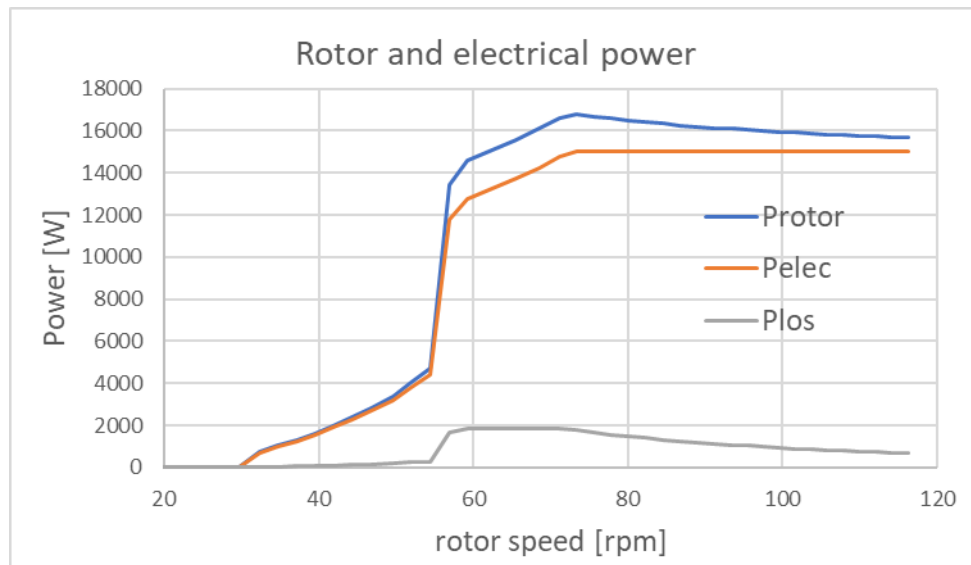


Figure 7: rotor and electrical power with corresponding power loss

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.

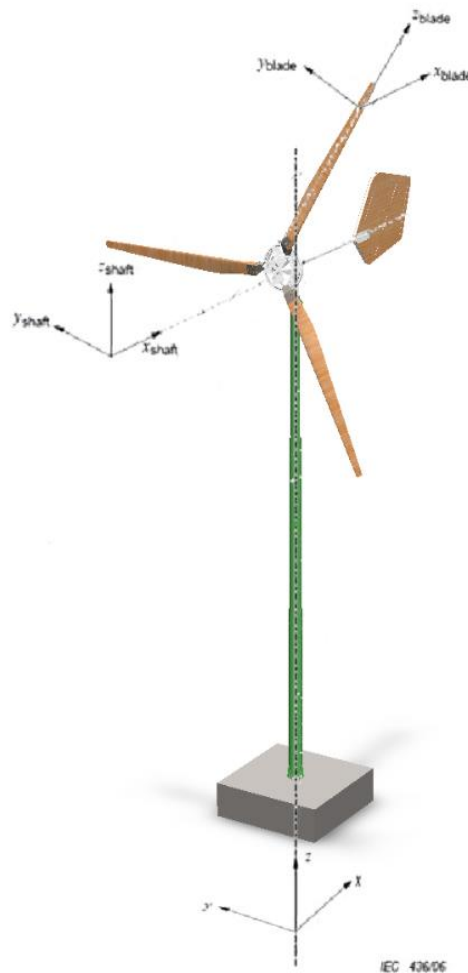


Figure 8: loads coordinate system

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      NBInpSt - 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
100.000000	-0.257999986	1.907099996	-0.400000006
105.000000	-0.418300003	1.856999999	-0.375000000
110.000000	-0.569199979	1.785200000	-0.349999994
115.000000	-0.707400024	1.693099998	-0.325000018
120.000000	-0.829400003	1.582200005	-0.300000012
125.000000	-0.932099998	1.454499996	-0.275000006
130.000000	-1.012400003	1.312600002	-0.250000000
135.000000	-1.067100005	1.159299997	-0.225000009
140.000000	-1.093500002	0.998000026	-0.200000003
145.000000	-1.088799995	0.832599998	-0.174999997
150.000000	-1.050400002	0.667200029	-0.150000006
155.000000	-0.976000011	0.507000029	-0.125000000
160.000000	-0.863499999	0.357499987	-0.100000001
165.000000	-0.710900009	0.224900007	-7.50000030E-02
170.000000	-0.734600008	0.116200000	-5.00000007E-02
175.000000	-0.367300004	3.95000018E-02	-2.50000004E-02
180.000000	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





Tel. 070-7780680

info@eazwind.com

www.eazwind.com

Datum: 17-3-2022
Betreft: Plaatsing EAZ-13.2 windmolen
Opdrachtgever: Veehouderij B.M. van der Kooi
Uitvoerende instantie: E.A.Z. Wind
Locatie: Marwei 1, 9064KN Aldtsjerk

Kantoor: Cort van der Lindenstraat 19
2288 EV | Rijswijk

Productie: Industrieweg 23a
9601LJ | Hoogezand, Groningen

De fundering betreft een fundering op beton die speciaal is ontworpen om bij slappe ondergronden voldoende stabiliteit te bieden. De fundering is geschikt voor zowel slappe klei als hard zand. De minimaal benodigde grondeigenschappen staan beschreven in "05 - 82213 - Minimale Bodemkarakterisering tbv Fundering". In dit document staat beschreven dat de stabiliteit van de fundering is gewaarborgd als de conusweerstand minimaal 0.5N/mm² bedraagt. Dit staat gelijk aan de sterkte van zachte klei.

De bodemsamenstelling is bepaald aan de hand van het DINO Locket volgens het DGM v2.2 model, zie bijgevoegde appelboor (vd Kooi te Aldtsjerk). Hieruit blijkt dat de bodem en de ondergrond tot +/- 30 meter diep bestaat uit [4] geologische eenheden die voornamelijk uit zand bestaan (deze worden beschreven aan de hand van de lithologie):

1. De formatie van Boxtel (BX) dat zich kenmerkt door: *"Zand, zeer fijn tot zeer grof, lokaal kleiig, grindig of humeus; leem, lokaal zandig, lokaal humeus; klei, siltig tot zandig; veen, kleiig."*

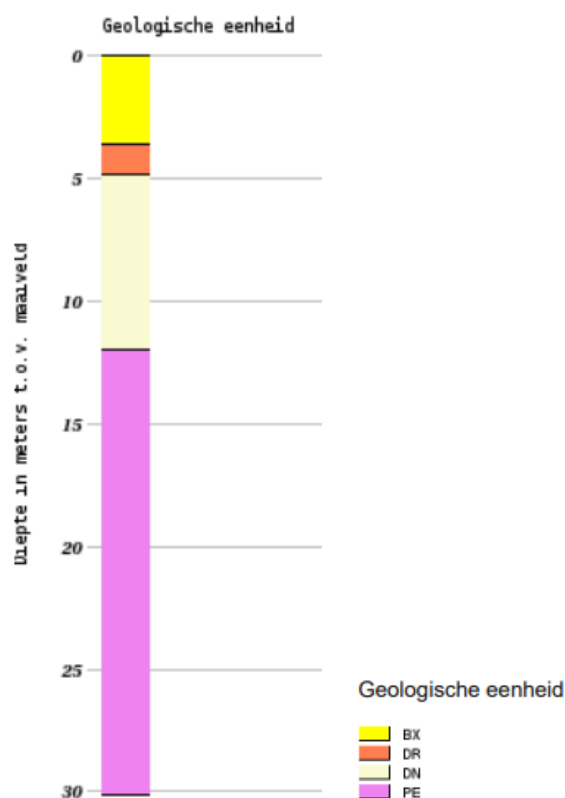
2. De Formatie van Drente (DR) wordt beschreven als: *"Zand, zeer fijn tot uiterst grof, lokaal kleiig tot grindig; leem, kleiig tot grindig; klei, lokaal siltig tot zandig; grind; stenen; keien; blokken."*

3. De Formatie van Drachten (DN), dit is een zandformatie met als beschrijving: *"Zand, matig fijn tot uiterst grof, lokaal kleiig tot grindig; klei, lokaal siltig tot zandig, lokaal humeus; veen, lokaal kleiig."*

4. De Formatie van Peelo (PE), een zandformatie bestaande uit: *"Zand, uiterst fijn tot uiterst grof: klei, lokaal siltig tot zandig."*

Appelboor BRO DGM v2.2

Coördinaten: 188619, 586115 (RD)
Maaiveld: 0.87 m t.o.v. NAP
Diepte t.o.v maaiveld: 0.00 m - 444.55 m
Geselecteerde diepte: 0.00 m - 30.13 m



Conclusie

Deze ondergrond, met deze samenstelling, biedt voldoende stabiliteit voor de beschreven fundering.

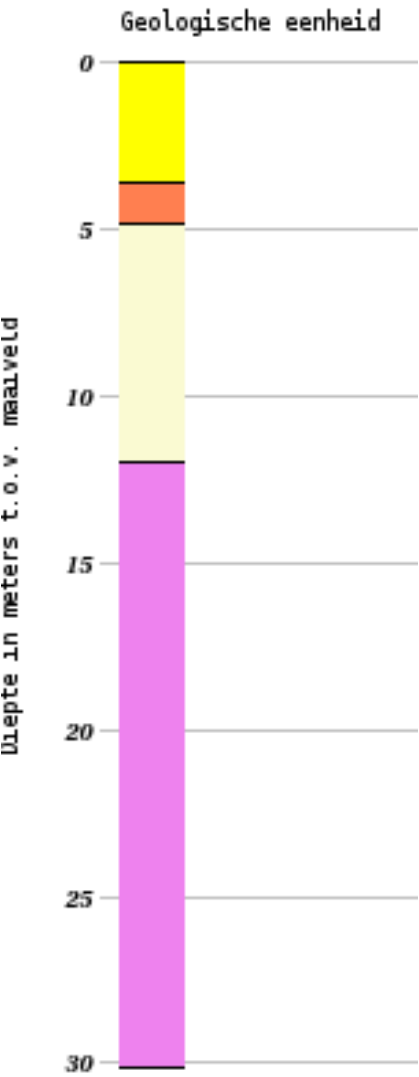
Appelboor BRO DGM v2.2

Coördinaten:188619, 586115 (RD)

Maaiveld:0.87 m t.o.v. NAP

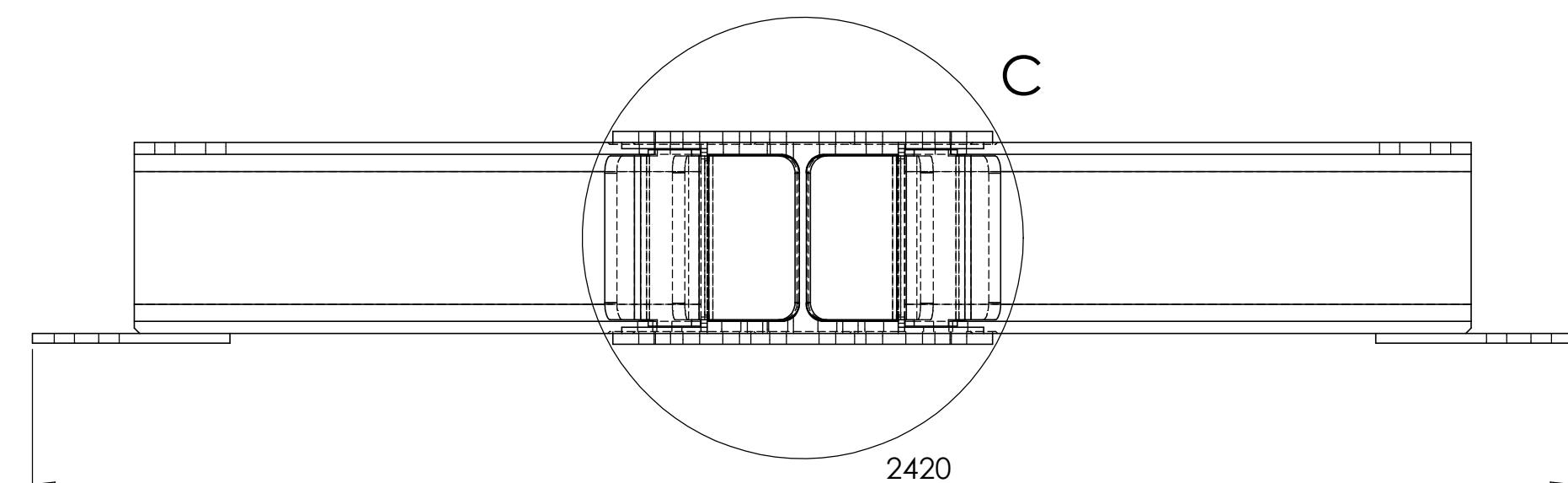
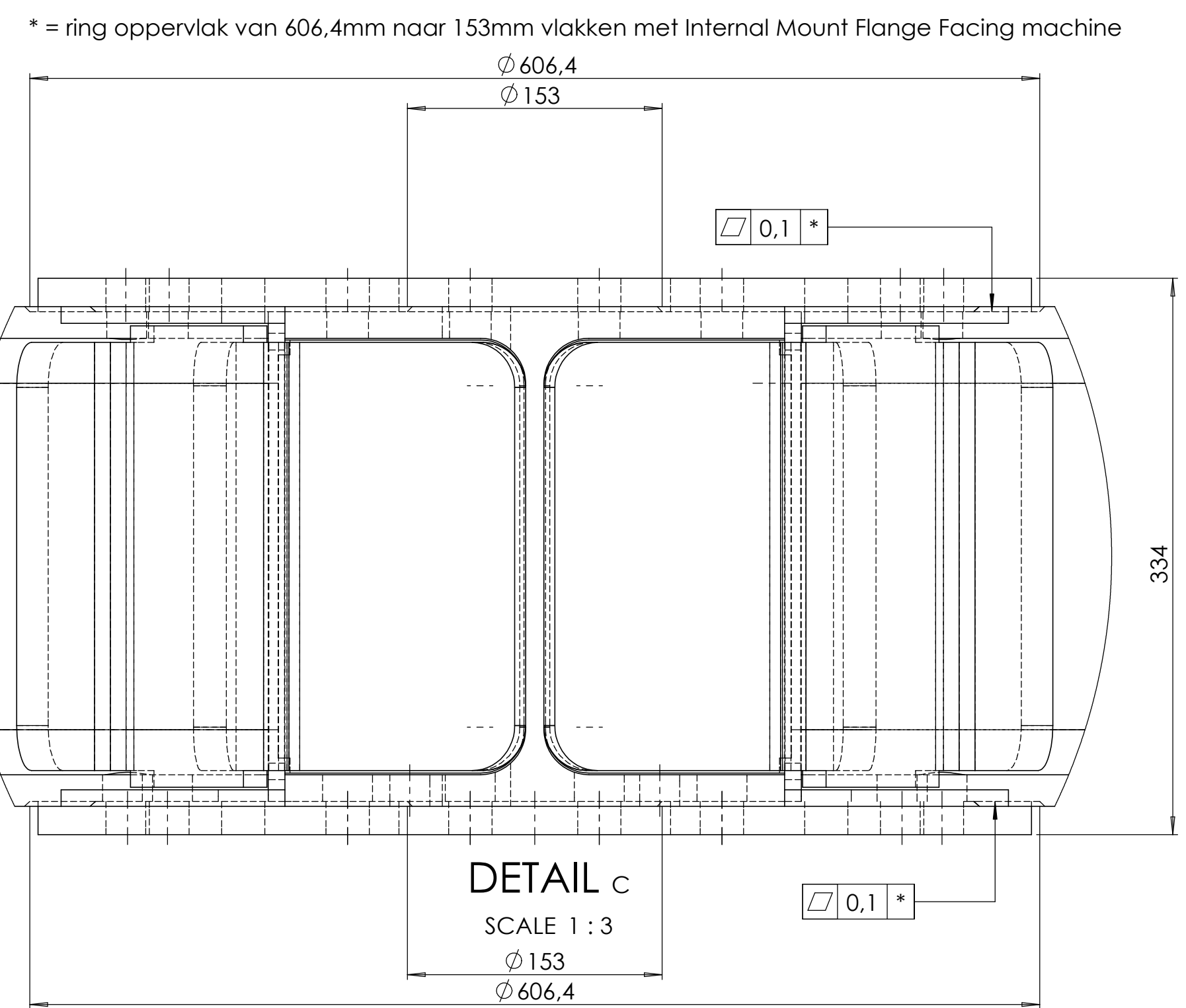
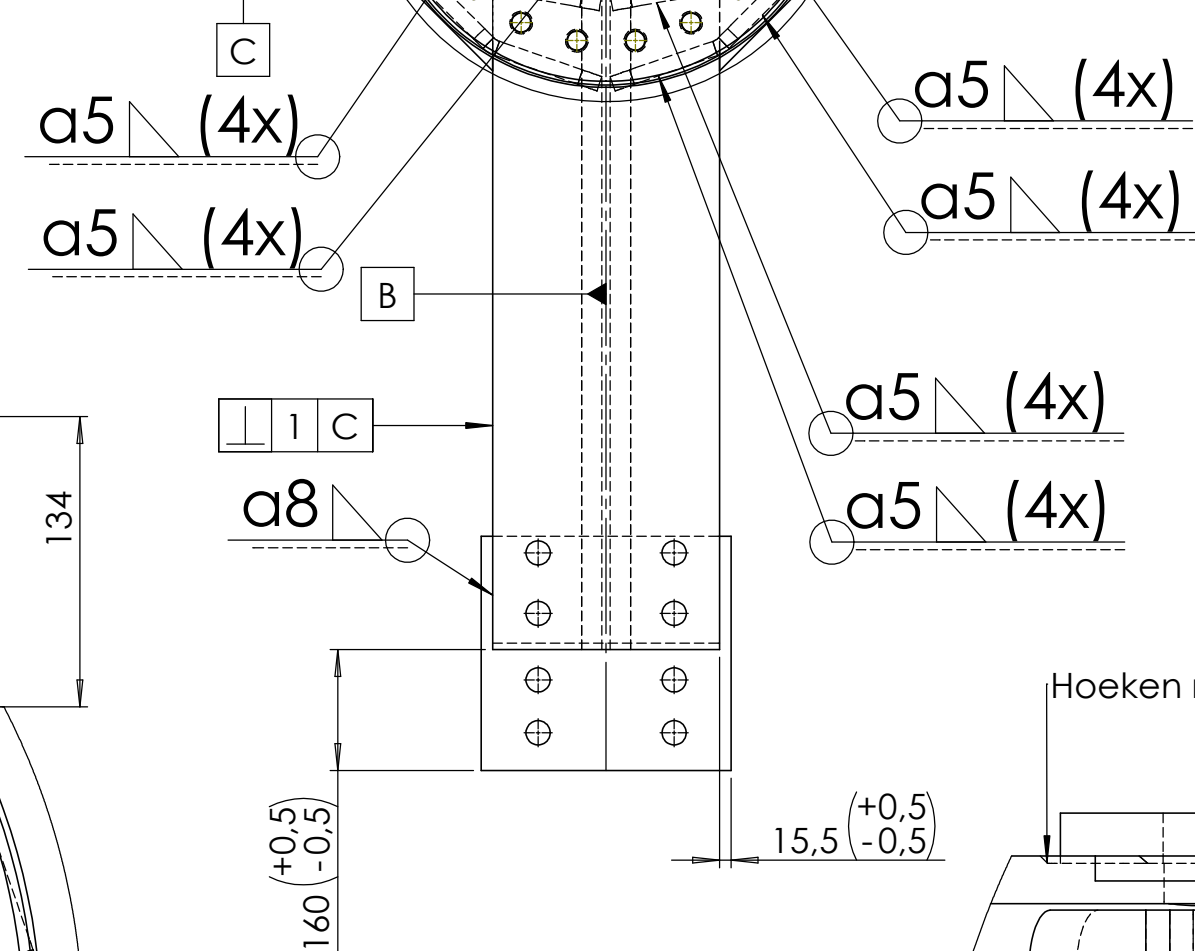
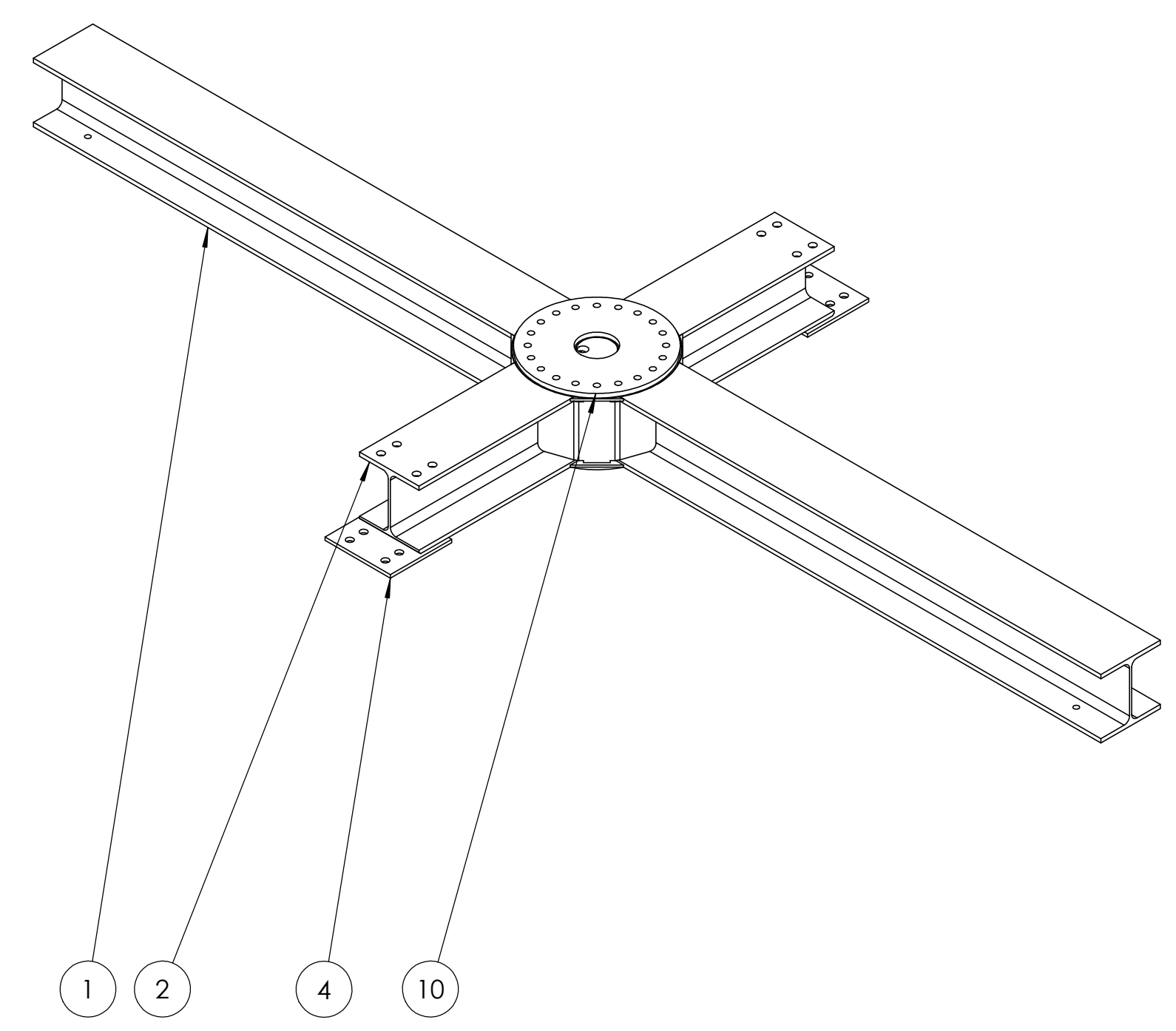
Diepte t.o.v maaiveld:0.00 m - 444.55 m

Geselecteerde diepte:0.00 m - 30.13 m



Geologische eenheid

-  BX
-  DR
-  DN
-  PE



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 WinWind info@eazwind.nl	If not stated otherwise: Dimensions are in millimeters Tolerance: ± 1	83504 Lassamenstaal funderingskruis 15m EAZ-13,2 v20210222	
		Material Date : 02/12/2020 Remarks: NEN 1090-2 EXC 3	Size : A1 Scale : 1:10 Drawn : W. Huijsdonk Approved : W. Huijsdonk	Subject Fundering 15m mast 83504 Lassamenstaal funderingskruis 15m EAZ-13,2 Weight (kg) : 1072356.29 SW Version : 1



Plattegrond

Opdrachtgever:
Veehouderij B.M. van der Kooi

Adres:
Marwei 1, 9064KN Oudkerk
Gemeente Tytsjerksteradiel

Datum:
24-05-2022

Legenda

Bouwvlak



Windmolen



Coördinaten windmolen(s)

id	x	y
1	188618,8	586112,48

Opgesteld door:
E.A.Z. Wind

Versie:
20220524

Coördinatenstelsel:
RD Amersfoort

Bron:
PDOK services

Schaal
1:1.000





Tel. 070-7780680

info@eazwind.com

www.eazwind.com

Datum: 17-3-2022
Betreft: Onderbouwing achterwege laten
natuurtoets
Opdrachtgever: Veehouderij B.M. van der Kooi
Uitvoerende instantie: E.A.Z. Wind
Locatie: Marwei 1, 9064 KN Oudkerk

Kantoor: Cort van der Lindenstraat 19
2288 EV | Rijswijk

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.”

Tim Beernink

Beleidsmedewerker Ruimte
Afdeling Omgevingszaken
Werkdagen: ma t/m vr
(058) 292 5925
t.beernink@fryslan.nl

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



Plaatsing E.A.Z.-Windturbine

Ruimtelijke onderbouwing ten behoeve van locatie Marwei 1 te Aldtsjerk

E.A.Z. Wind

20 juli 2022

Project Plaatsing E.A.Z.-Windturbine
Opdrachtgever E.A.Z. Wind

Document Ruimtelijke onderbouwing ten behoeve van locatie Marwei 1 te Aldtsjerk
Status Concept 01
Datum 20 juli 2022
Referentie 115826/22-010.888

Projectcode 115826
Projectleider J.A. Zoete MSc
Projectdirecteur drs. M.J. Schilt

Auteur(s) M.A.P.M. Verbunt MSc
Gecontroleerd door R. de Jong MSc
Goedgekeurd door J.A. Zoete MSc

Paraaf



Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer
Stationsweg 5
Postbus 3465
4800 DL Breda
+31 (0)76 523 33 33
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veelelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Ligging plangebied	6
1.3	Vigerende bestemmingsplan	6
1.4	Planologische procedure	8
1.5	Leeswijzer	8
2	PLANBESCHRIJVING	9
2.1	Huidige situatie	9
2.2	Toekomstige situatie	10
3	BELEIDSKADER	12
3.1	Algemeen	12
3.2	Rijksbeleid	12
3.2.1	Nationale Omgevingsvisie	12
3.2.2	Besluit algemene regels ruimtelijke ordening (Barro)	12
3.2.3	Structuurvisie Windenergie op land	13
3.3	Provinciaal beleid	13
3.3.1	Omgevingsvisie Fryslân - De Romte Diele	13
3.3.2	Omgevingsverordening Fryslân	14
3.4	Regionaal beleid	15
3.4.1	Regionale Energiestrategie 1.0 Fryslân	15
3.5	Gemeentelijk beleid	16
3.5.1	Omgevingsvisie Tytsjerksteradiel 2021 - 2040	16
4	OMGEVINGSEFFECTEN EN MILIEUEFFECTEN	17
4.1	Landschappelijke inpasbaarheid	17
4.2	Milieueffectrapportage	18
4.3	Verkeer en parkeren	18
4.4	Geluidshinder	19

4.5	Luchtkwaliteit	19
4.6	Natuur	19
4.7	Waterhuishouding	22
4.8	Bodem	23
4.9	Ontplobbare Oorlogsresten (OO)	24
4.10	Cultuurhistorie en archeologie	24
4.11	Externe veiligheid	26
4.12	Bedrijven en milieuzonering	26
4.13	Kabels en leidingen	27

5	UITVOERBAARHEID	28
----------	------------------------	-----------

5.1	Maatschappelijke uitvoerbaarheid	28
5.1.1	Vooroverleg	28
5.1.2	Zienswijzen en participatie	28
5.1.3	Economische uitvoerbaarheid	28

	Laatste pagina	28
--	--------------------------------	----

Bijlage(n)	Aantal pagina's
-------------------	------------------------

I	Akoestisch onderzoek	9
II	Digitale watertoets	7

1

INLEIDING

1.1 Aanleiding

Veehouderij B.M. van der Kooi, gelegen aan Marwei 1 te Aldtsjerk, is voornemens één E.A.Z. 13.2 windturbine op het eigen terrein van het bedrijf te realiseren. De plaatsing van de kleine windturbine is strijdig met de bepalingen in het vigerende bestemmingsplan 'Bestemmingsplan Buitengebied 2013' (vastgesteld op 27 juni 2013 door de gemeenteraad van de gemeente Tytsjerksteradiel). Om het planvoornemen juridisch-planologisch mogelijk te maken, wordt op grond van artikel 2.1 lid 1 sub c van de Wabo een aanvraag ingediend voor een omgevingsvergunning afwijken bestemmingsplan.

Afbeelding 1.1 toont een bovenaanzicht van het agrarisch bedrijf Veehouderij B.M. van der Kooi, met daarop de locatie aangeduid van de te realiseren windturbine.

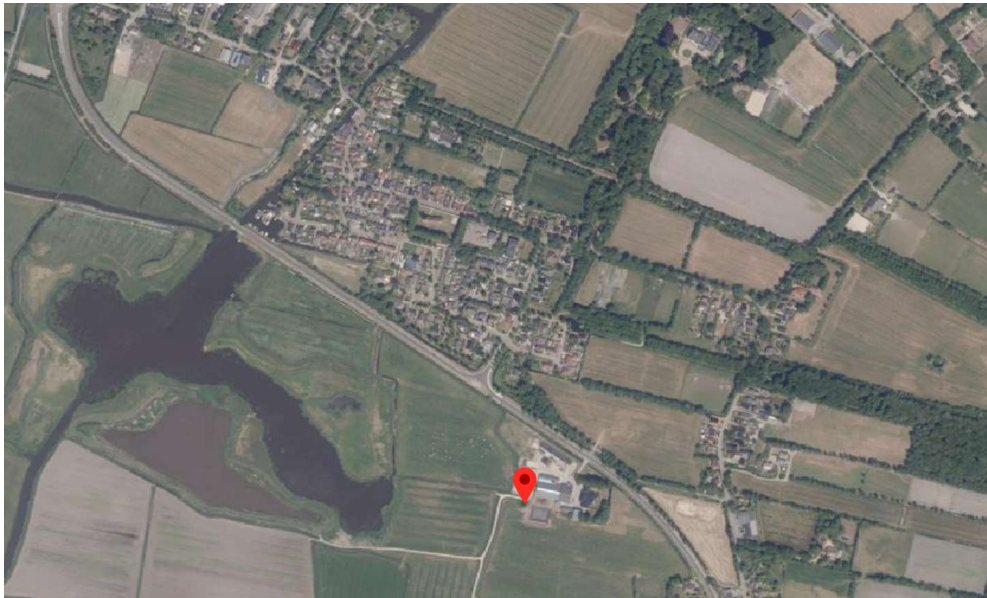
Afbeelding 1.1 Het bedrijf Veehouderij B.M. van der Kooi, gelegen aan Marwei 1 te Aldtsjerk met de locatie van de te realiseren windturbine



1.2 Ligging plangebied

Het plangebied is gelegen ten zuiden van de kern van Aldtsjerk, in de gemeente Tytsjerksteradiel provincie Fryslân. Afbeelding 1.2 toont de globale ligging en de omgeving van het plangebied.

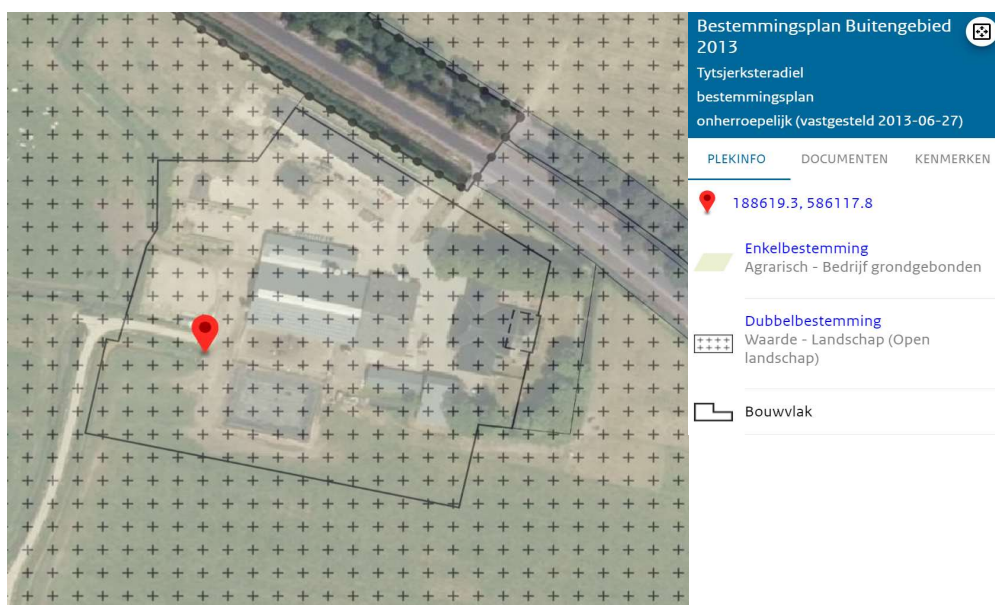
Afbeelding 1.2 Globale ligging plangebied (rode locatiemarkering geeft indicatie van locatie windturbine)



1.3 Vigerende bestemmingsplan

Op het perceel is onder meer het bestemmingsplan 'Bestemmingsplan Buitengebied 2013' (vastgesteld op 27 juni 2013 door de gemeenteraad van de gemeente Tytsjerksteradiel) van kracht. Afbeelding 1.3 toont een uitsnede van de bestemmingsplanverbeelding ter plaatse van het bedrijf met de locatie van de windturbine aangeduid door de rode locatiemarkering.

Afbeelding 1.3 Vigerende bestemmingen op en rondom het bedrijf, met aanduiding beoogde locatie windturbine (bron: ruimtelijkeplannen.nl)



De windturbine wordt ontwikkeld op gronden met de enkelbestemming 'Agrarisch - Bedrijf grondgebonden'. Daarnaast is de dubbelbestemming 'Waarde Landschap (Open landschap)' van kracht ter plaatse van het plangebied. De beoogde locatie van de kleine windturbine bevindt zich binnen het bouwvlak.

Enkelbestemming 'Agrarisch - Bedrijf grondgebonden' (artikel 4)

De voor 'Agrarisch - Bedrijf grondgebonden' aangewezen gronden zijn bestemd voor:

- gebouwen ten behoeve van een agrarisch bedrijf met een in hoofdzaak grondgebonden agrarisch bedrijf.

Voor het bouwen van bouwwerken, geen gebouwen zijnde, gelden de volgende regels:

- de bouwhoogte van de overige bouwwerken, geen gebouwen zijnde, bedraagt ten hoogste 5 m, met dien verstande dat:
 - de bouwhoogte van masten, niet zijnde antennemasten, en palen ten hoogste 10 m bedraagt;
 - de bouwhoogte van antennemasten ten hoogste 15 m bedraagt.

Dubbelbestemming 'Waarde Landschap (Open landschap)' (artikel 49)

De voor 'Waarde - Landschap (Open landschap)' aangewezen gronden zijn, behalve voor de andere daar voorkomende bestemming(en), mede bestemd voor het behoud en herstel van cultuurhistorische, landschappelijke en natuurwaarden van het open landschap met in achtneming van de specifieke kenmerken van de deelgebieden binnen het open landschap.

Overige ruimtelijke plannen

Naast het vigerende bestemmingsplan, is één voorbereidingsbesluit vastgesteld binnen het plangebied.

Vorbereidingsbesluit hyperscale datacenters (d.d. 16 februari 2022)

Dit voorbereidingsbesluit heeft betrekking op de plaatsing van hyperscale datacenters en is dus niet relevant voor de plaatsing van een kleine windturbine.

Conclusie

Een windturbine met een ashoogte van 15 m past niet binnen de planregels zoals opgenomen in het vigerende bestemmingsplan. Daartoe is een omgevingsvergunning voor het afwijken van het bestemmingsplan nodig, waarbij deze ruimtelijke onderbouwing de plaatsing van de kleine windturbine toetst aan het beleid en de relevante milieuthema's.

1.4 Planologische procedure

De voorgenomen ontwikkeling past niet binnen de vigerende planologische kaders van het bestemmingsplan 'Bestemmingsplan Buitengebied 2013' (vastgesteld op 27 juni 2013). De ontwikkeling kan planologisch mogelijk gemaakt worden middels een omgevingsvergunning afwijken bestemmingsplan. Voorliggend rapport dient ter onderbouwing dat het voornemen in overeenstemming is met een goede ruimtelijke ordening (artikel 2.1 lid c Wabo jo. artikel 2.12 lid 1 onder a en onder 2 Wabo).

1.5 Leeswijzer

Dit hoofdstuk beschreef de aanleiding van het planvoornemen. Hoofdstuk 2 gaat in op de planbeschrijving. Hoofdstuk 3 vormt een beschrijving van het beleid van verschillende overheden en de geldende relevante wet- en regelgeving. Hoofdstuk 4 gaat dieper in op de milieu- en omgevingsaspecten. Hoofdstuk 5 is het laatste hoofdstuk en betreft de maatschappelijke en economische uitvoerbaarheid van de voorgenomen ontwikkeling.

2

PLANBESCHRIJVING

2.1 Huidige situatie

De huidige situatie betreft een agrarische onderneming met bijbehorende bedrijfsbebouwing en een bedrijfswoning. De omgeving van het agrarisch bedrijf kan worden gekarakteriseerd als landelijke omgeving met verschillende agrarische bedrijven en woningen. Ten noorden van de planlocatie ligt de Marwei. Gemeente Tytsjerksteradiel heeft een landelijke ligging, maar Leeuwarden, Drachten en Dokkum zijn via de Centrale As goed te bereiken. Ook ligt Aldtsjerk nabij het nationale landschap 'Noordelijke Wouden'.

Afbeelding 2.1 toont de lokale ligging van het plangebied. De rode markering geeft hier de voorgenomen locatie van de windturbine weer.

Afbeelding 2.1 Lokale ligging van het plangebied, met aanduiding locatie kleine windturbine



2.2 Toekomstige situatie

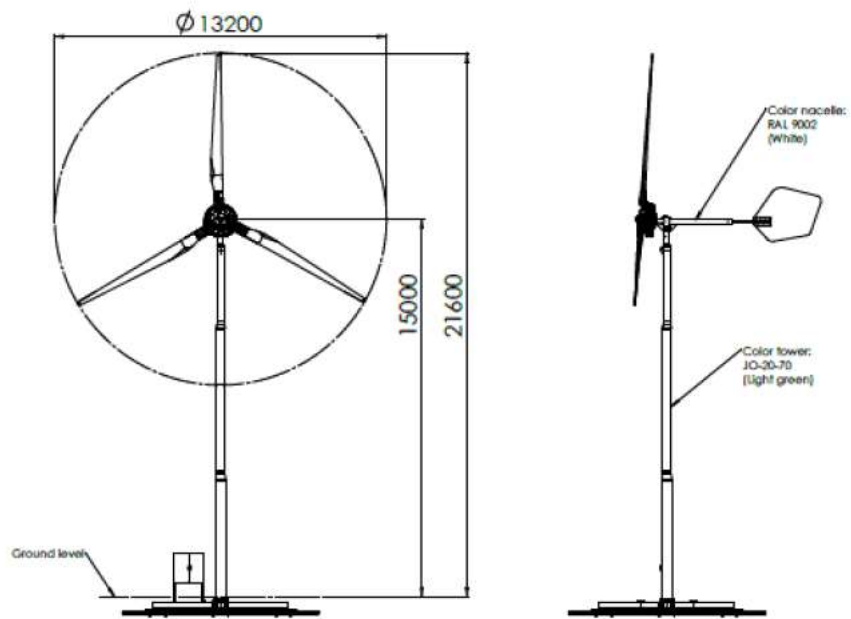
In de toekomstige situatie wordt één windturbine geplaatst, die worden geleverd en geïnstalleerd door E.A.Z. Wind. De windturbine betreft het type E.A.Z. 13.2. Dit is een type met ashoogte van 15 m, een tiphoogte van 21,6 m, een rotordiameter van 13,2 m, een stelconplaatfundering en een nominaal vermogen van 15 kW.

In tabel 2.1 zijn de specificaties van de E.A.Z 13.2 windturbine opgenomen. Op afbeelding 2.2 zijn technische tekeningen weergegeven.

Tabel 2.1 De specificaties van een E.A.Z 13.2 windturbine

Onderdeel	Specificatie
certificering	De E.A.Z 12 windturbine is gecertificeerd, echter wordt hier de E.A.Z 13.2 windturbine geplaatst. De E.A.Z 13.2 windturbine is een doorontwikkeling van deze E.A.Z 12 windturbine. Naar verwachting wordt de certificering van de E.A.Z 13.2 in december dit jaar gerealiseerd.
rotor	- 13,2 m diameter, 137 m² 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	25.000 kWh - 50.000 kWh, afhankelijk van de locatie
geluidsniveau op 60m	39 dB
generator	direct drive, dual-rotor, air core, synchronous generator
netaansluiting	- 3 fasen; - 3 x 25A
monitoring	- 3g LTE connectiviteit; - vlootbeheersysteem met mobiele app voor de klant voor inzicht in opwek en verbruik; - meting van: bewegingen en toerentallen van toren en turbine, vermogen, belasting en temperatuur van generator, temperatuur van elektrakast en uitlezen omvormergegevens; - stroomkwaliteit van zon en wind met voltage en capaciteit meting 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 80 cm onder het maaiveld voor extra ballast; - oppervlakte 30,25 m²; - stalen kruis op buispalen gevuld met beton voor zettingsgevoelige onderdelen

Afbeelding 2.2 Technische tekening van E.A.Z. 13.2 windturbine (bron: E.A.Z. Wind)



BELEIDSKADER

3.1 Algemeen

Dit hoofdstuk geeft een beeld van nationaal, regionaal en lokaal ruimtelijk beleid dat voor de voorgenomen ontwikkeling relevant is. Allereerst wordt het Rijksbeleid beschreven, gevolgd door het provinciaal beleid, het regionaal beleid en het gemeentelijk beleid.

3.2 Rijksbeleid

3.2.1 Nationale Omgevingsvisie

In juni 2019 is het NOVI vastgesteld. Met de NOVI geeft de Rijksoverheid een langetermijnvisie op de ruimtelijke inrichting en de kwaliteit van de leefomgeving in Nederland. De NOVI komt voort uit de Omgevingswet, die naar verwachting per januari 2023 in werking treedt. Het uitgangspunt in de aanpak van de Omgevingswet is dat ingrepen in de leefomgeving niet los van elkaar plaatsvinden, maar in samenhang. Burgers worden beter betrokken en overheden trekken samen op. Zo moet er gekomen worden tot betere geïntegreerde keuzes. De NOVI geldt hiermee als kader voor andere planinstrumenten.

De druk op de fysieke leefomgeving in Nederland is groot. Om hiermee om te gaan beschrijft de NOVI nationale belangen waarop de Rijksoverheid wil sturen en richting aan wil geven. Deze komen samen in vier prioriteiten: klimaatadaptatie en energietransitie, duurzaam economisch groeipotentieel, sterke en gezonde steden en regio's en toekomstbestendige ontwikkeling van het landelijk gebied.

Conclusie

Het NOVI op land legt geen beperkingen op ten aanzien van de voorgenomen ontwikkeling. Het planvoornemen is in lijn met het beleid, zoals opgenomen in het NOVI onder energietransitie en duurzaam economisch groeipotentieel.

3.2.2 Besluit algemene regels ruimtelijke ordening (Barro)

Het Besluit algemene regels ruimtelijke ordening (Barro) regelt de juridische implementatie van de kaderstellende uitspraken uit de SVIR ten aanzien van de 13 daarin genoemde nationale belangen in ruimtelijke plannen. Het gaat om de volgende belangen: Rijkswaardwegen, Project Mainportontwikkeling Rotterdam, Kustfundament, Grote rivieren, Waddenzee en Waddengebied, Defensie, Ecologische hoofdstructuur, Erfgoederen van uitzonderlijke universele waarde, hoofdwegen en hoofdspoorwegen, elektriciteitsvoorziening, buisleidingen van nationaal belang voor vervoer van gevaarlijke stoffen, primaire waterkeringen buiten het kustfundament en IJsselmeergebied (uitbreidingsruimte). Met de komst van de NOVI komt de SVIR te vervallen en gaat de SVIR bijna geheel op in de NOVI. Het Barro blijft ook onder de NOVI van kracht.

Door de nationale belangen vooraf in bestemmingsplannen te borgen, wordt met het Barro bijgedragen aan de versnelling van de besluitvorming bij ruimtelijke ontwikkelingen. In de NOVI is vastgesteld dat voor een beperkt aantal onderwerpen de bevoegdheid om algemene regels te stellen wordt ingezet.

Conclusie

Het Barro legt geen beperkingen op ten aanzien van de voorgenomen ontwikkeling. Het planvoornemen is in lijn met het beleid zoals opgenomen in het Barro.

3.2.3 Structuurvisie Windenergie op land

De Structuurvisie Windenergie op land is een uitwerking van de Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte. In deze uitwerking presenteert het kabinet een ruimtelijk plan voor de doorgroei van windenergie op het grondgebied van Nederland (land en grote wateren, uitgezonderd de Noordzee). Doelstelling voor dit plan is om zodanige voorwaarden te scheppen dat in 2020 een opwekkingsvermogen van tenminste 6.000 megawatt (MW) aan windturbines operationeel is. In zoverre de doelstelling niet tijdig wordt gerealiseerd, zal het restant van de opgave verdubbeld worden en meelopen in de Regionale Energie Strategieën. Deze verdubbeling zal gerealiseerd worden in de periode 2021-2023. Met de komst van de NOVI komt de SVIR te vervallen en gaat de SVIR bijna geheel op in de NOVI. De Structuurvisie Windenergie op land blijft ook onder de NOVI van kracht.

Conclusie

De Structuurvisie Windenergie op land legt geen beperkingen op ten aanzien van de voorgenomen ontwikkeling. Het planvoornemen is in lijn met het beleid zoals opgenomen in de Structuurvisie Windenergie op land.

3.3 Provinciaal beleid

3.3.1 Omgevingsvisie Fryslân - De Romte Diele

Op 23 september 2020 is door Provinciale Staten van Fryslân de Omgevingsvisie De Romte Diele vastgesteld. De Omgevingsvisie omvat al het provinciale beleid voor de fysieke leefomgeving. Brede welvaart in een vitaal, veerkrachtig, karakteristiek en gezond Fryslân is de hoofddambitie van de provincie. In de Omgevingsvisie zijn ook een aantal urgente opgaven benoemd.

Opgave 1 omvat de volgende thema's; leefbaar, vitaal en bereikbaar. Om Fryslân leefbaar te houden sluit de Omgevingsvisie zich aan bij de provinciale Beleidsbrief Duurzame Energie 2017, het nationale Klimaatakkoord en het Klimaatakkoord van Parijs 2015.

Om deze doelen te behalen zet de provincie in op de volgende aanpak;

- besparen;
- opwekken;
- verduurzamen OV en landbouw;
- samenleving betrekken.

Besparen

Energie die niet gebruikt wordt, hoeft ook niet opgewekt te worden. De Omgevingsvisie zet in op een besparing van 25% in 2030 ten opzichte van 2010.

Opwekken

De resterende energiebehoefte wordt stapsgewijs duurzaam opgewekt, 33 % in 2030 en 100 % in 2050. Voor verwarming, het opwekken van elektriciteit en voor brandstof moeten duurzame energiebronnen ingezet worden. Daarbij gaat de Omgevingsvisie uit van een mix van bronnen zoals geothermie, zon, wind, waterstof, aquathermie en biomassa. Belangrijk is dat het karakter van het Friese landschap behouden blijft.

Provincie Fryslân richt zich vooral op vormen van duurzame energieopwekking die weinig of geen effect op het landschap hebben en weinig of geen overlast veroorzaken.

Verduurzamen OV en landbouw

Voor overschakeling op elektrisch vervoer of waterstof, zijn ingrijpende aanpassingen nodig in infrastructuur en bijbehorende voorzieningen zoals elektrische laadpalen. Voor verduurzaming van het OV zijn grote investeringen nodig. De landbouw stoot broeikasgassen uit via onder andere mest en stallucht. In het kader van verduurzaming van de landbouw werkt de provincie aan vermindering van deze uitstoot.

Samenleving betrekken

Op meerdere plekken in de provincie werken mensen, vaak verenigd in coöperaties, al aan de energietransitie om zelfvoorzienend te worden. Zulke initiatieven blijft de provincie faciliteren. Draagvlak in de samenleving wordt hierbij als cruciaal gezien voor een succesvolle energietransitie.

Conclusie

Het planvoornemen draagt bij aan de doelstelling voor duurzame energie en past binnen de regels die provincie Fryslân heeft vastgelegd over windenergie. Het planvoornemen is hiermee in lijn met de Omgevingsvisie De Romte Diele.

3.3.2 Omgevingsverordening Fryslân

De regels voor de fysieke leefomgeving zijn samengevoegd in één verordening, zodat duidelijk is welke regels waar gelden in provincie Fryslân. De Omgevingsverordening 2021 van provincie Fryslân is nog niet vastgesteld. Het ontwerp van de Omgevingsverordening lag ter inzage van 1 maart tot en met 12 april 2021. Na deze inspraak wordt de Omgevingsverordening aangepast. Echter blijven de regels voor wind- en zonne-energie onveranderd ten opzichte van de Verordening Romte Fryslân 2014.

De provincie wil met de omgevingsverordening ontwikkelingen, zoals woningbouw en de energietransitie, mogelijk maken en zet in op het beschermen van mooie en bijzondere gebieden in provincie Fryslân. Hierbij is gezocht naar een evenwichtige balans tussen economische groei en leefbaarheid. De belangrijkste belangrijke ambities voor Fryslân, zoals omschreven in de Omgevingsvisie, zijn verankerd in de nieuwe Omgevingsverordening Fryslân 2021.

Voor het planvoornemen is het onderstaande artikel uit de Omgevingsverordening Fryslân relevant:

Artikel 9.1 Nieuwe windturbines

- 1 een ruimtelijk plan bevat geen bouwmogelijkheid voor nieuwe windturbines;
- 2 in afwijking van het eerste lid kan in een ruimtelijk plan het plaatsen van maximaal 3 windturbines op of direct grenzend aan het bouwperceel van een bestaand agrarisch bedrijf worden toegestaan, met in achtneming van de volgende voorwaarden:
 - de windturbines mogen een maximale as-hoogte van 15 m hebben;
 - het op te stellen vermogen is gericht op de energiebehoefte van het agrarisch bedrijf;
 - de turbines moeten zorgvuldig worden ingepast binnen de landschappelijke en cultuurhistorische kernkwaliteiten, waarbij de mogelijkheden om te voorzien in de energiebehoefte van het agrarisch bedrijf door middel van zonnepanelen op de gebouwen zijn verkend;
- 3 in afwijking van het eerste lid kan in een ruimtelijk plan een nieuwe solitaire windturbine met een tiphoogte van maximaal 100 m worden toegestaan ter vervanging van meerdere solitaire windturbines, met inachtneming van de volgende voorwaarden:
 - de gezamenlijke tiphoogte van de te vervangen windturbines is minimaal gelijk aan de tiphoogte van de nieuwe windturbine;
 - de te vervangen windturbines hebben een tiphoogte van 45 m of meer;
 - de omgeving moet participeren in het planproces;
 - het positief rendement komt mede ten goede aan de directe omgeving;

- er mogen geen windturbines worden geplaatst op de Waddeneilanden;
- de windturbine moet zorgvuldig worden ingepast binnen de landschappelijke en cultuurhistorische kernkwaliteiten.

Op grond van artikel 9.1 lid 2 is het toegestaan om een windturbine met een ashoogte van maximaal 15 m hoog te realiseren op een agrarisch bouwperceel. Wel moet de mogelijkheid om te voorzien in energiebehoefte door middel van zonnepanelen verkend zijn. In paragraaf 4.1 wordt nader ingegaan op het aspect landschap. In deze paragraaf wordt gemotiveerd dat de windturbine in landschappelijk opzicht aansluit op de bijbehorende bebouwing en dat de windturbine ruimtelijk zorgvuldig wordt ingepast.

Conclusie

Het planvoornemen is in lijn met de regels zoals deze zijn vastgelegd in de Omgevingsverordening van de provincie Fryslân. Wanneer alleen energie opgewekt wordt middels zonnepanelen kan slechts een beperkt deel van de eigen energiebehoefte gelijktijdig opgewekt worden. Omdat veehouderij B.M. van der Kooi gebruik maakt van een melkstal voor het melken van het vee zijn twee pieken in verbruik aanwezig. Deze pieken vinden plaats in de ochtend en avond. Er bestaat een mismatch tussen het moment van opwek en het moment van verbruik. Het verbruik vindt namelijk 's ochtends en 's avonds plaats waar de opwek juist overdag plaatsvindt.

3.4 Regionaal beleid

3.4.1 Regionale Energiestrategie 1.0 Fryslân

Met de Regionale Energiestrategie (RES) 1.0 bouwt de provincie Fryslân verder aan de energietransitie. Op veel plekken in de provincie wordt al volop gewerkt aan en innovatief geëxperimenteerd met de verduurzaming van de energievraag. Met de RES wil de provincie deze initiatieven verder versterken. Dat doen ze 'op syn Frysk', door samen te werken vanuit draagvlak en van onderaf. 'Mei inoar, mei de mienskip', want draagvlak op de lange termijn is essentieel om de energietransitie te laten slagen.

Enkele gemeenten, Wetterskip Fryslân en de Friese Energie Alliantie hebben aangegeven ook windenergie te willen gebruiken in het realiseren van de energieambities. Ook netbeheerder Liander heeft gewezen op de voordelen van netefficiency bij het combineren van wind- en zonneprojecten. Het vigerende provinciaal beleid biedt echter geen ruimte voor de opwek van nieuwe, grootschalige windenergieprojecten. Deze RES 1.0 richt zich voornamelijk op grootschalige windenergieprojecten.

In de RES 1.0 wordt ook verwezen naar de Handreiking Fryske Energie Waaier. Deze waaier is een handreiking voor de ontwikkelingen van energieprojecten om duurzame stroom op te wekken in Fryslân. Hierin wordt beschreven dat het van belang is dat de veranderingen een nieuwe dimensie gaan toevoegen aan het bestaande landschap. Het huidige landschap is tenslotte ook een opeenstapeling van de ontwikkelingen in de afgelopen eeuwen. Belangrijk is dat hierbij zorgvuldig wordt voortgeborduurd op de bestaande kwaliteiten en dat de nieuwe ontwikkelingen passend zijn in het landschap.

Conclusie

Gelet op de uitgangspunten uit de RES 1.0 kan worden geconcludeerd dat de ontwikkeling past binnen de door de regio opgestelde energiestrategie, mits er oog is voor de landschappelijke inpassing en de toegevoegde dimensie aan het landschap. In paragraaf 4.1 wordt nader ingegaan op de landschappelijke inpassing van de kleine windturbine.

3.5 Gemeentelijk beleid

3.5.1 Omgevingsvisie Tytsjerksteradiel 2021 - 2040

De Omgevingsvisie van gemeente Tytsjerksteradiel ligt op dit moment ter inzage voor een periode van 13 januari 2022 - 30 juni 2022. Afhankelijk van de zienswijzen wordt de ontwerp omgevingsvisie aangepast. De ontwerp Omgevingsvisie benoemt het volgende over klimaat en energie;

‘Om klimaatverandering tegen te gaan is een energietransitie nodig. De energietransitie betekent dat we overgaan van energie uit fossiele brandstoffen naar koolstofvrije, schone energie. Dat heeft effect op de fysieke leefomgeving: opwekken van die schone energie is nodig, huizen moeten worden verduurzaamd en auto’s worden steeds meer elektrisch aangedreven. Dit vraagt de nodige aanpassingen van de infrastructuur.’

De visie voor 2040 is om schone energie beschikbaar te hebben voor iedere inwoner. Dit doet de gemeente door ruimte te creëren voor kleine winmolens bij agrarische bedrijven en zonnepanelen volgens de gemeentelijke zonneladder.

Conclusie

De ontwikkeling past binnen de doelstellingen van het ontwerp van de gemeentelijke Omgevingsvisie. Het draagt bij aan de het beschikbaar maken van schone energie voor iedere inwoner.

4

OMGEVINGSEFFECTEN EN MILIEUEFFECTEN

4.1 Landschappelijke inpasbaarheid

De komende decennia zal het Nederlandse landschap in hoog tempo veranderen door de verdere uitbreiding van het aantal windturbines op land. Windturbines op land met een vermogen van 6-7 MW hebben door hun tiphoogte, soms wel tot 250 m hoogte, grote impact op het landschap¹. Ze torenen ver boven andere bebouwing en bossen uit. Ook vanwege de omvang en kleur gaan de windturbines moeizaam op in de omgeving. De beleving van het landschap kan daardoor sterk veranderen. Dit ligt genuanceerder bij de inpassing van kleine (E.A.Z.-) turbines. De kleine windturbines van E.A.Z. Wind meten een ashoogte van 15 m, een maximale tiphoogte van 21,6 m en dragen bij aan de duurzame transitie op bedrijfsschaalniveau.

De E.A.Z.-windturbine heeft een eenvoudig uiterlijk met een lichtgroene mast, die bestaat uit drie dikwandige buissecties met verschillende diameters van hoge sterkte staal. Meest opvallend aan de windturbine zijn de drie houten rotorbladen en de houten staart. Anders dan bij de grote windturbines past de windturbine goed bij de schaal van een boerenerf en de bebouwing, zoals stallen, schuren of silo's. De beperkte hoogte draagt in algemene zin ook bij aan weinig zichthinder². De aanwezige landschapsstructuur, zoals verkaveling en de grens tussen land en water, blijft leesbaar wanneer een kleine windturbine wordt geplaatst. De openheid van het gebied raakt minimaal beïnvloed.

Afbeelding 4.1 E.A.Z.-windturbine op achtererf van agrarische bouwkaavel (bron: eigen bewerking)



¹ Agentschap NL - ministerie van Economische Zaken - Handreiking waardering landschappelijke effecten van windenergie - april 2013.

² Dorp Stad en Land, adviseurs ruimtelijke kwaliteit, document locatie- en plaatsingsonderzoek E.A.Z. 13.2-windmolens.

Conclusie

Er is stedenbouwkundig gezien geen onevenredige aantasting van het straat en bebouwingsbeeld. De windturbine tast de landschappelijke waarden die in het grootschalige, open landschap van de polder kenmerkend zijn, niet onevenredig aan. De ruimtelijke samenhang tussen het erf met haar bebouwing wordt door plaatsing van de windturbine binnen de erfcontour versterkt. De windturbine staat op een logische, ondergeschikte plek direct grenzend aan het achtererf. Hierdoor wordt de windturbine vanaf de voornaamste zichtpunten vanaf de weg gelezen in eenheid met de rest van het agrarische erf. Het aspect landschap vormt hierdoor geen belemmering voor het planvoornemen.

4.2 Milieueffectrapportage

Het Besluit milieueffectrapportage (Besluit m.e.r.) is een algemene maatregel van bestuur (AMvB). Het Besluit milieueffectrapportage (Besluit m.e.r.) is essentieel om te kunnen bepalen of bij de voorbereiding van een plan of een besluit een m.e.r.-(beoordelings)procedure moet worden doorlopen. Dat de m.e.r.-plicht voor een belangrijk deel is geregeld in het Besluit m.e.r. volgt uit art. 7.2 Wm. Het Besluit m.e.r. bestaat uit een hoofddeel en vier bijlagen. De vier bijlagen staan aangeduid als de onderdelen A, B, C en D:

- onderdeel A bevat de omschrijving van diverse begrippen die in het Besluit m.e.r. genoemd worden;
- onderdeel B is reeds vervallen;
- onderdeel C bevat activiteiten, plannen en besluiten waarvoor het doorlopen van een m.e.r. verplicht is;
- onderdeel D bevat activiteiten, plannen en besluiten waarvoor het maken van een m.e.r.-beoordeling verplicht is.

In onderdeel A van de bijlage bij het Besluit m.e.r. is een aantal definities opgenomen van termen die worden gebruikt bij de omschrijving van activiteiten en gevallen in de kolommen 1 en 2 van de onderdelen C en D van het Besluit m.e.r. Onderdelen C en D bestaan elk uit vijf kolommen:

- nummer van de categorie;
- kolom 1: activiteiten;
- kolom 2: gevallen;
- kolom 3: plannen;
- kolom 4: besluiten.

Conclusie

De voorgenomen activiteit staat niet in kolom 1: activiteiten van onderdeel C. De voorgenomen activiteit staat ook niet in kolom 1: activiteiten van onderdeel D. Hieruit volgt dat het project niet m.e.r.-(beoordelings)plichtig is.

4.3 Verkeer en parkeren

In de aanlegfase is sprake van werkzaamheden van twee dagen met beperkt materiaal. Het bestaande wegennet op en rondom het bedrijf functioneert voldoende voor deze verkeersafwikkeling. Door de komst van de windturbine is in de gebruiksfase geen sprake van een verkeersaantrekkende werking. De windturbine en de omvormer zijn goed bereikbaar via de Marwei en het erf van het agrarisch bedrijf. Hulpdiensten kunnen de windturbine en de omvormer daarom goed bereiken.

Conclusie

Het onderdeel verkeer en parkeren vormt geen belemmering voor de totstandkoming van het plan.

4.4 Geluidshinder

Op 3 juni 2022 is door Geluid Plus Adviseurs een akoestisch onderzoek uitgevoerd (projectnummer 22.002-55) ter plaatse van de meest nabijgelegen woning, zie bijlage I. Er is uitgegaan van de volgende gegevens;

- 1 windturbine;
- ashoogte van de windturbine bedraagt 15 m;
- afstand windturbine tot woning bedraagt 207 m;
- 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 1 of meerdere windturbines ten hoogste 47 dB Lden (gemiddelde over het etmaal) en 41 dB Lnight (tussen 23.00 uur en 07.00 uur) bedragen.

De berekeningen zijn uitgevoerd conform het Reken- en meetvoorschrift windturbines, bijlage 4 van de Activiteitenregeling milieubeheer. Ter plaatse van de maatgevende woning bedraagt de jaargemiddelde geluidbelasting 36 en 30 dB voor respectievelijk Lden en Lnight. Hiermee wordt voldaan aan de geluidnormering van $L_{den} \leq 47$ dB en $L_{night} \leq 41$ dB conform het Activiteitenbesluit. De berekeningen laten zien dat ter plaatse van de meest nabij gelegen woning wordt voldaan aan de normen van het Activiteitenbesluit.

Conclusie

Op basis van het uitgevoerde onderzoek kan worden geconcludeerd dat de te realiseren windturbine niet zorgt voor een overschrijding van de geluidsnormen. De ontwikkeling is akoestisch inpasbaar in de omgeving.

4.5 Luchtkwaliteit

De windturbine is emissievrij. Daarnaast leidt de aanlegfase niet tot een toename in het aantal verkeersbewegingen. De windturbine leidt in de gebruiksfase niet tot negatieve effecten op de luchtkwaliteit. Het onderdeel luchtkwaliteit is hiermee in lijn met de voorwaarden van artikel 5.16, lid 1 Wet milieubeheer.

Conclusie

De komst van de kleine windturbine voldoet aan de geldende grenswaarden voor luchtkwaliteit uit de Wet milieubeheer.

4.6 Natuur

De Wet natuurbescherming (Wnb) ziet toe op het behoud en de versterking van de biodiversiteit. De bescherming van natuur is geregeld via gebiedsbescherming en soortenbescherming. De Wnb vormt het geldend wettelijk kader.

Toetsing aan de Wnb

Het beschermen, ontwikkelen en beheren van natuurgebieden is niet altijd genoeg om de verscheidenheid aan planten- en diersoorten in stand te houden. Bovendien komen veel soorten ook buiten natuurgebieden voor. De Wnb vervangt sinds 1 januari 2017 drie wetten: de Natuurbeschermingswet 1998, de Boswet en de Flora- en Faunawet. Het doel van de Wnb is drieledig:

- 1 bescherming van de biodiversiteit in Nederland;
- 2 decentralisatie van verantwoordelijkheden;
- 3 vereenvoudiging van regels.

Het Natuurnetwerk Nederland (NNN), voorheen Ecologische Hoofdstructuur genoemd, is een samenhangend netwerk van bestaande en nog te ontwikkelen belangrijke natuurgebieden in Nederland en vormt de basis voor het natuurbeleid.

Soortenbescherming

Artikelen 3.1 tot en met 3.11 van de Wnb regelen de bescherming van soorten. De bescherming is opgedeeld in vijf categorieën met soorten:

- 1 vogels met jaarrond beschermde nesten;
- 2 overige vogels;
- 3 soorten van de Habitatrictlijn (bijlage IV) en de Verdragen van Bern (bijlage II) en Bonn (bijlage I);
- 4 overige soorten die op nationaal niveau beschermd zijn en waarvoor provinciaal geen vrijstelling geldt;
- 5 overige soorten die op nationaal niveau beschermd zijn, maar waarvoor provinciaal wel een vrijstelling geldt.

Van belang is om na te gaan in hoeverre sprake is, of kan zijn, van één of meerdere van de bovengenoemde 'verboden activiteiten'.

Ashoogte van 40 m of meer

Er is veel onderzoek verricht naar slachtoffers onder vleermuizen en vogels bij windparken met windturbines met een ashoogte van 40 m of meer. Daaruit blijkt dat het aantal slachtoffers per windturbine laag is. Voor vleermuizen tussen de nul en drie per jaar en voor vogels tussen vijf en tien per jaar (Rydell et al. 2010 en Kleyheeg-Hartman et al. 2015). Dit is mede het gevolg van vermijdingsgedrag van vleermuizen en vogels. Voor middelgrote en grote windturbines en windparken worden verstoringsafstanden tussen 80 en 600 m vastgesteld (Voslamber & Liefing 2011 en Zehindjiev et al. 2017).

Ashoogte van 30 m

In Nederland is onderzoek gedaan naar windturbines met een ashoogte van 30 m. Voor ganzen is geen verstoringsafstand vastgesteld (Winkelman 1989). Voor steltlopers is een maximale afstand van 100 m (Spaans et al. 1998). In de onderzoeken worden geen effecten gevonden voor kraaiachtigen, spreeuwen of kokmeeuwen en steltlopers.

Ashoogte < 20 m

Sweco (2019) heeft recent een beleidsevaluatie¹ uitgevoerd naar de effecten van het plaatsen van kleine windturbines op vogels en vleermuizen binnen agrarische en niet-agrarische bouwpercelen in het buitengebied en in stedelijk gebied. Uit de beleidsevaluatie komt naar voren dat grotere vogels hebben een hoger risico op aanvaring met kleine windturbines dan kleinere vogels.

Daarnaast heeft Ecosensys een pilotstudie (monitoringsonderzoek)² uitgevoerd naar de effecten van kleine windturbines binnen agrarische en niet-agrarische bouwpercelen in buitengebied. Uit het monitoringsonderzoek komt naar voren dat verschillende vogelsoorten en vleermuissoorten in de buurt van kleine windturbines kunnen voorkomen. Bij het slachtofferonderzoek zijn echter vrijwel geen vogelslachtoffers gevonden. Uit observaties met warmtebeeldcamera's zijn geen aanvaringen van vleermuizen met windturbines vastgesteld en zijn ook geen slachtoffers gevonden tijdens het slachtofferonderzoek. Er zijn derhalve geen slachtoffers gevonden waarvan met zekerheid te stellen valt dat deze door windturbines zijn gedood. Hierdoor valt het verstoringsaspect van de windturbines met een ashoogte < 20 m te verwaarlozen. Nader onderzoek naar flora en fauna is hierdoor in deze situatie ook niet nodig.

Daarnaast moet volgens de provinciale verordening bij ruimtelijke ontwikkelingen in belangrijke weidevogelgebieden mogelijke schade aan de waarde van het leefgebied voor weidevogels worden beoordeeld en dienen mogelijk compensatiemaatregelen getroffen worden. Dit komt voort uit de provinciale 'beleidsregel compensatie natuur, recreatie en landschap'. De beleidsregel is van toepassing wanneer Gedeputeerde Staten of Provinciale Staten op enigerlei wijze betrokken is. De voorgenoemde locatie ligt niet binnen provinciaal beschermd weidevogelgebied.

¹ Sweco 2019. Evaluatie beleid kleine windturbines Provincie Groningen. Rapportnr. SWNL0242800.

² Jonge Poerik, B. & S. van Houten-Munten 2020. Pilotproject effecten kleine windturbines op vogels en vleermuizen. Provincie Groningen.

Desondanks wordt aanvullend onderzoek naar flora en fauna uitgevoerd. Hierin wordt onderzocht wat de mogelijke locatie-specifieke effecten zijn op beschermde soorten. De resultaten van dit onderzoek worden op een later moment gedeeld.

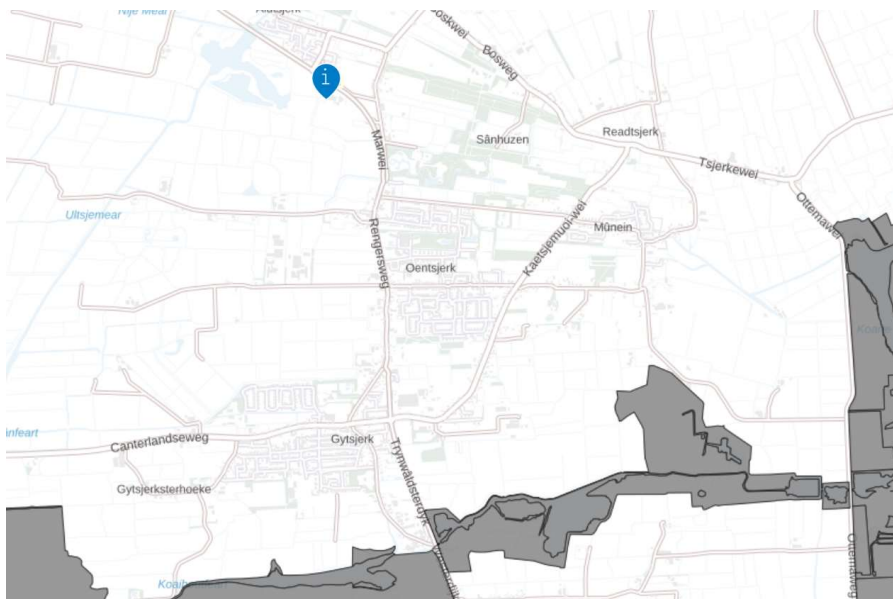
Bij de planning en uitvoering van de werkzaamheden dient te allen tijde rekening te worden gehouden met het broedseizoen. Verstoring van broedgevallen (in gebruik zijnde nesten) van vogels dient te worden voorkomen.

Gebiedsbescherming

Natura 2000-gebieden betreffen een samenhangend netwerk van natuurgebieden in Europa. Natura 2000 bestaat uit gebieden die zijn aangewezen in het kader van de Europese Vogelrichtlijn (79/43/EEG) en de gebieden die zijn aangemeld op grond van de Europese Habitatrichtlijn (92/43/EEG). Deze gebieden worden in Nederland op grond van de Wnb beschermd. Het NNN, voorheen ook wel Ecologische Hoofdstructuur genoemd) is een samenhangend netwerk van bestaande en nog te ontwikkelen belangrijke natuurgebieden in Nederland en vormt de basis voor het natuurbeleid.

Onderstaande afbeelding geeft de ligging van NNN-gebieden in de omgeving van het projectgebied weer. De NNN-gebieden zijn aangegeven middels een grijze aanduiding en de locatie van de windturbine met een blauwe markering. Op afbeelding 4.2 is te zien dat de planlocatie buiten NNN-gebied valt, op een afstand van 2,5 km. Van een aantasting van het NNN is geen sprake. De provincie Friesland kent geen externe werking ten aanzien van NNN-gebieden. De planontwikkeling heeft dan ook geen negatieve effecten op de wezenlijke kenmerken en waarden van het Natuurnetwerk Nederland buiten het projectgebied.

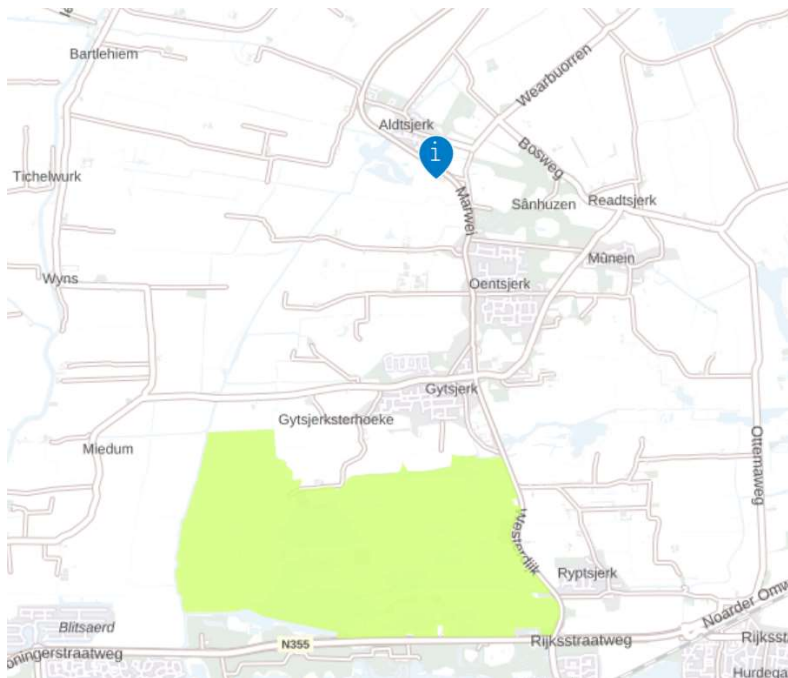
Afbeelding 4.2 NNN-gebieden in omgeving (blauwe markering laat de locatie van de windturbine zien)



Afbeelding 4.3 toont de Natura 2000-gebieden in de omgeving van het projectgebied. De projectlocatie is op afbeelding 4.3 aangegeven middels een blauwe markering en het Natura 2000-gebied is aangegeven middels een groen vlak. Op circa 3 km afstand van het projectgebied ligt het Natura 2000-gebied Groote Wielen. In de aanlegfase is sprake van werkzaamheden van twee dagen met beperkt materiaal. Gezien de aard van de geplande werkzaamheden, zullen naar verwachting geen negatieve externe effecten (bijvoorbeeld geluid, visuele verstoring en ruimtebeslag) optreden in de aanlegfase.

In de gebruiksfase worden tevens geen negatieve externe effecten verwacht ten aanzien van deze aspecten. Ruimtebeslag is uitgesloten en akoestisch onderzoek en slagschaduwonderzoek wordt uitgevoerd om uit te sluiten dat visuele- en geluidsverstoringen plaatsvinden.

Afbeelding 4.3 Natura 2000-gebieden in omgeving (bron: atlasleefomgeving.nl)



Op 1 juli 2021 is de wet Stikstofreductie en Natuurverbetering in werking getreden. Onderdeel van deze wet is de vrijstelling voor bouw-, sloop- en eenmalige aanlegactiviteiten, in het kort de bouwvrijstelling. Dit betekent in het vergunningstraject dat voor het aspect stikstof alleen nog de neerslag (depositie) in de gebruiksfase een rol speelt. De kleine windturbine zorgt niet voor stikstofemissie tijdens de gebruiksfase. De windmolen zelf zorgt niet voor aanvullende stikstofuitstoot. Door de komst van de windturbine is in de gebruiksfase daarnaast geen sprake van een verkeersaantrekkende werking. Voor de bouwfase geldt dus een vrijstelling waardoor hier geen stikstofdepositieonderzoek uitgevoerd hoeft te worden. De ontwikkeling heeft geen significant negatieve effecten op een Natura 2000-gebied.

Conclusie

Het aspect natuur vormt naar verwachting geen belemmering voor het planvoornemen. Veiligheidshalve wordt nader onderzoek naar flora en fauna uitgevoerd. Deze onderzoeksresultaten worden op een later moment gedeeld.

4.7 Waterhuishouding

De digitale watertoets is doorlopen, zie bijlage II bij dit document. Bij dit plan treedt alleen een functieverandering op en is de toename in verharding zeer beperkt (circa 30 m²). In de nabijheid van de locatie van de windturbine is voldoende bergingscapaciteit om deze zeer beperkte toename op te vangen. Er is daarom geen direct waterschapsbelang in het kader van de voorgenomen ontwikkeling. Uit de digitale watertoets blijkt dat overleg met het waterschap niet nodig is, zie bijlage I.

Conclusie

Het planvoornemen leidt tot een zeer beperkte toename van het verhard oppervlak. Daarom is er geen sprake van een significante verandering in de waterberging, waterregulatie of waterafvoer. Het waterschapsbelang is niet in het geding.

4.8 Bodem

Bij het ruimtelijk planproces gaat het om de vraag of het huidige of toekomstige gebruik van de bodem afgestemd kan worden op de aanwezige bodemkwaliteit. De bodemkwaliteit moet geschikt zijn voor de beoogde functie. Het bodemsaneringsbeleid is verder uitgewerkt in de Wet bodembescherming (Wbb), het Besluit Uniforme Saneringen (BUS), de Circulaire Bodemsanering en het Besluit bodemkwaliteit.

Voor het plaatsen van de windturbine wordt geen grond verplaatst. De grond die wordt uitgegraven en wordt na plaatsen van de windturbine weer teruggebracht. Voor tijdelijke uitname van grond stelt het Besluit bodemkwaliteit in artikel 36, derde lid, dat wanneer grond niet wordt bewerkt en op dezelfde plaats onder dezelfde condities opnieuw en in dezelfde toepassing wordt teruggebracht, dit toegestaan is zonder kwaliteitsbepaling (artikel 38 en 40), toetsing aan de functie (onder andere artikel 59) en melding (artikel 42). Overige bepalingen van het Besluit bodemkwaliteit, en andere wetgeving zoals de Wbb, Arbo-regelgeving, Wet ruimtelijke ordening en Waterwet blijven bij tijdelijke uitname onverminderd van kracht. Denk hierbij aan:

- functionaliteit (artikel 5 Bbk): dat wil zeggen dat sprake moet zijn van een nuttige toepassing, geen grotere hoeveelheid wordt toegepast dan volgens gangbare maatstaven nodig is voor het functioneren van de toepassing en dat de toepassing volgens gangbare maatstaven nodig is op de plaats waar deze plaatsvindt, of onder de omstandigheden waarin deze plaatsvindt;
- zorgplicht bodem (artikel 13 Wbb) en zorgplicht oppervlaktewater (artikel 7 Bbk). Het is bijvoorbeeld niet toegestaan om asbesthoudende grond terug te plaatsen indien bij ontgraving asbest is geconstateerd; bij tijdelijke uitname kunnen grond of baggerspecie worden getransporteerd. Als dit binnen de grenzen van een werk gebeurt (geen transport over de openbare weg) is het niet nodig dat hierbij schriftelijke bescheiden aanwezig zijn. Als het transport naar een tijdelijke opslag buiten de grenzen van het werk plaatsvindt, is de aanwezigheid van schriftelijke bescheiden wel noodzakelijk. Een oorspronkelijk toegepaste bouwstof, ontgraven grond of baggerspecie wordt veelal als een afvalstof gezien. In dat geval moet het transport zijn vergezeld van een begeleidingsbrief.

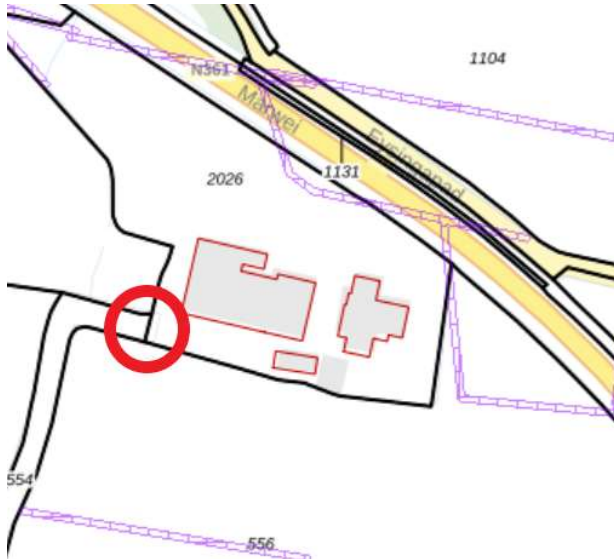
Om zekerheidshalve meer te weten te komen over de bodemkwaliteit is topotijdreis.nl geraadpleegd. De locatie is vanaf 1930 herkenbaar op historisch kaartmateriaal, zie afbeelding 4.4. Op dat moment is sprake van een agrarisch erf. Vanaf dat jaar is ook de eerste bebouwing zichtbaar in de directe nabijheid van de planlocatie. Vanaf 1930 breidt deze bebouwing langzaam uit tot het perceel van nu. Het perceel heeft altijd een agrarische functie gehad, in combinatie met een (agrarische) woonfunctie. Het is aannemelijk dat, gelet op het historische gebruik van de gronden, geen sprake is van bodemverontreiniging.

Afbeelding 4.4 Het plangebied in 1930



Ook is het bodemloket geraadpleegd. Afbeelding 4.5 geeft een uitsnede weer van het bodemloket. Gezien de geschiedenis van het perceel wordt geen vervuiling verwacht. Op het perceel waar de windturbine wordt geplaatst is geen aanleiding om onderzoek uit te voeren in het kader van bodemverontreiniging voorafgaand aan de werkzaamheden.

Afbeelding 4.5 Uitsnede plangebied bodemloket - rode cirkel vormt globale locatie van windturbine (bron: bodemloket.nl)



Conclusie

Het onderdeel bodem is in lijn met de geldende wet- en regelgeving. Het aspect bodem vormt geen belemmering voor de totstandkoming van het plan.

4.9 Ontploffbare Oorlogsresten (OO)

Gezien vanaf het maaiveld gaan de windturbines circa 0,60 meter diepte de grond in. Tot die diepte is voor de agrarische functie de grond al regelmatig geroerd. Het risico op het aantreffen van OO is daarmee uit te sluiten. Het aspect OO is daarmee niet relevant voor onderhavig plan.

Conclusie

Het aspect OO vormt geen belemmering ten aanzien van het planvoornemen.

4.10 Cultuurhistorie en archeologie

Cultuurhistorie

Het planvoornemen ligt binnen Nationaal Landschap Noardlike Fryske Wâlden (onderdeel van de Friese Wouden). De belangrijkste kenmerken van het gebied zijn de dykswâlden (houtwallen), elzensingels, dobben en pingoruïnes en dorpen en gehuchten. In het noorden en vooral het westen is het gebied meer open van karakter. Hier treffen we klei- en veengrond aan. In het gebied liggen ook twee grote meren, De Leien en de Burgumer Mar. Het overgrote deel van het gebied bestaat uit zandgrond. Het grote aantal landschapselementen maakt dit gebied tot een uniek coulisselandschap.

Op de lagere delen met ondoorlatende lagen in de ondergrond was een fijnmazig sloten- en greppelpatroon nodig voor de afwatering. Langs de slootranden vestigden zich spontaan of door menselijk ingrijpen elzensingels. Op deze manier werden ontwatering, veekering en houtproductie gecombineerd.

Voor veekering was een dichte beplanting nodig, omdat prikkeldraad tot het eind van de 19e eeuw niet bestond.

De poelen, die in het gebied dobben worden genoemd, zijn door de boeren aangelegd als verdiepte drenkplaatsen voor het vee, meestal in de hoek van percelen. Hierdoor kan het vee vanaf meerdere percelen uit de dobbe drinken. Daarnaast zijn er in het gebied ook pingoruïnes. Dit zijn restanten uit de ijstijd die zijn ontstaan door ijsheuvels (pingo's) in het toendraklimaat, zie afbeelding 4.6.

Afbeelding 4.6 Impressie van het Nationaal landschap



Bovenstaande karakteristieken zijn doorvertaald naar de dubbelbestemming 'Waarde - Landschap (Open Landschap)' van het bestemmingsplan. Deze gronden zijn mede bestemd voor het behoud en herstel van cultuurhistorische, landschappelijke en natuurwaarden van het open landschap met in achtneming van de specifieke kenmerken van de deelgebieden binnen het open landschap. Een vergunning wordt slechts verleend indien geen onevenredige afbreuk wordt gedaan aan de cultuurhistorische, landschappelijke en/of natuurwaarden van het gebied.

Afbeelding 4.7 Zicht op boerderij vanaf de Marwei



Archeologie

De locatie van de windturbine kent geen dubbelbestemming 'Waarde - Archeologie'. Archeologische aspecten zijn hier verder niet aan de orde. In het geval van toevalsvondsten wordt dit gemeld bij het bevoegd gezag.

Conclusie

Het planvoornemen leidt niet tot aantasting het karakteristieke landschap. De molen past door de beperkte ashoogte van 15 m goed in het landschap. De aspecten archeologie en cultuurhistorie vormen geen belemmering voor het planvoornemen.

4.11 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 'categorische 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 kleine windturbine als risicobron

De kleine 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 tegen de rand van het achtererf 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. De risicokaart is geraadpleegd, hierop is af te lezen dat de windturbine niet gesitueerd wordt binnen een bestaande veiligheidsbuffer of in de directe nabijheid van een kwetsbaar object. De plaatsing van de windturbine wordt zelf tevens niet gekarakteriseerd als een (beperkt) kwetsbaar object.

Conclusie

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, zodat nader onderzoek naar externe veiligheid niet nodig is.

4.12 Bedrijven en milieuzonering

Een windturbine kan niet zomaar naast een gevoelige functie, zoals een woning, gerealiseerd worden. Ook andersom moet er zorgvuldig gemotiveerd worden dat een nieuwe woning bij een windturbine gerealiseerd kan worden. Zonering, afstand houden, is een belangrijk middel om te voorkomen dat er hinder ontstaat.

Op basis van de voorgaande paragrafen zijn de verschillende relevante aspecten, zoals geluid, reeds onderbouwd. Daarnaast is de hinder door slagschaduw aanvaardbaar indien er zich geen vreemde woningen binnen een straal van 2x de tiphoogte van de windturbine bevinden.

De windmolens van het type 'E.A.Z.-13.2' zijn standaard uitgerust met een stilstandvoorziening. In de programmering van de windmolens wordt de stilstandvoorziening geregeld, hierdoor komt het aantal uren slagschaduw nooit boven het wettelijke maximum van circa 6 uur per jaar. Op deze manier wordt er op deze locatie ervoor gezorgd dat omwonenden geen hinder ondervinden van de slagschaduw op hun gevel.

Conclusie

De windturbine vormt geen belemmering voor nabijgelegen woning en/of bedrijven. De ontwikkeling is hiermee dan ook niet strijdig met regelgeving omtrent bedrijven en milieuzonering.

4.13 Kabels en leidingen

Bij grondzetting door graven in de grond zal er een KLIC-melding (KLIC= Kabels en Leidingen Informatie Centrum) gedaan moeten worden of in de toekomst bij het Kadaster met de nieuwe grondroordersregeling. Leidinggegevens kunnen worden opgevraagd via een oriënterende KLIC-melding of bij de leidingexploitant. Indien niet bekend is of er leidingen op een specifieke locatie aanwezig zijn, kan de gemeente contact opnemen met de VROM-Inspectie in de regio. Die heeft een voorlopig bestand met data over buisleidingen en zij kan indicatief nagaan of er buisleidingen door een betreffende gemeente lopen, wie de leidingexploitant is en welke stof er doorheen gaat.

Conclusie

Er zijn geen planologisch relevante kabels en leidingen bekend binnen de invloedssfeer van de windturbine. Voorafgaand aan graafwerkzaamheden zal een KLIC-melding wordt uitgevoerd.

5

UITVOERBAARHEID

5.1 Maatschappelijke uitvoerbaarheid

5.1.1 Vooroverleg

Het bevoegd gezag is op grond van artikel 6.18 Bor verplicht tijdens de voorbereiding van een omgevingsvergunning die wordt verleend met toepassing van artikel 2.12, eerste lid, onder a, onder 3 Wabo, overleg te plegen met de gebruikelijke overlegpartners in het kader van de ruimtelijke ordening, waaronder het waterschap en de provincie.

5.1.2 Zienswijzen en participatie

Op de vergunningsaanvraag is de uitgebreide voorbereidingsprocedure (artikel 3.10 van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht) van toepassing. De omgevingsvergunning planologisch afwijken wordt ingediend bij het college van burgemeester en wethouders (hierna: het college). Het college publiceert de ontvangst van de aanvraag. De omgevingsvergunning kent een proceduredtijd van zes maanden, waarna het college de omgevingsvergunning voor het afwijken van het bestemmingsplan kan vaststellen. De omgevingsvergunning ligt gedurende een periode van zes weken ter inzage. De vergunning wordt bekend gemaakt in de Staatscourant en de gebruikelijke lokale media. Gedurende de terinzagelegging kan eenieder een zienswijze over het ontwerpbesluit naar voren brengen bij de gemeente. De gemeente reageert op de zienswijzen in een reactienota.

5.1.3 Economische uitvoerbaarheid

De initiatiefnemer, Veehouderij B.M. van der Kooi, plaatst de kleine windturbine voor eigen rekening en risico en heeft hiervoor een sluitende begroting opgesteld. Het plan is daardoor economisch uitvoerbaar.

Bijlage(n)



BIJLAGE: AKOESTISCH ONDERZOEK

retouradres Twentepoort Oost 61-14, 7609 RG Almelo

EAZ Wind
t.a.v. dhr. B. van Ulsen
Cort van der Lindenstraat 19
2288 EV Rijswijk

adres Twentepoort Oost 61-14
postcode 7609 RG Almelo
telefoon 0546 – 898 200
e-mail info@geluidplus.nl
internet www.geluidplus.nl
KvK 61864978
BTW-nr 854522475B01

datum	3 juni 2022	projectnr.	22.002-55	pagina	1 van 2
contactpersoon	Richard de Graaf	project	Akoestisch onderzoek windturbines EAZ Wind, type: EAZ13.2		
		betreft	Marwei 1 te Aldtsjerk		

Geachte heer van Ulsen,

Voor het plaatsen van één windturbine te Aldtsjerk is, door Geluid Plus Adviseurs, een akoestisch onderzoek uitgevoerd. Het voorliggende akoestisch onderzoek is uitgevoerd naar de geluidbelasting van deze windturbine ter plaatse van de meest nabij gelegen woning of andere geluidgevoelige bestemming. Het onderzoek is uitgevoerd voor de melding in het kader van het Activiteitenbesluit.

Situatie

Onderstaand zijn de gegevens van de ligging van de windturbine en de meest maatgevende woning of andere geluidgevoelige bestemming opgenomen:

▪ Adres windturbine(s):	Marwei 1 te Aldtsjerk
▪ Aantal turbines:	1 stuks
▪ Ligging turbine(s) ten opzichte van bedrijf:	ten westen
▪ Adres maatgevend geluidgevoelig object:	Eysingapad 56 te Aldtsjerk
▪ Ligging woning ten opzichte van turbine:	ten noorden
▪ Afstand turbine tot beoordelingspunt:	207 meter
▪ Opmerking:	-

In bijlage 1 is de ligging van de windturbine en maatgevende beoordelingspunt opgenomen.

Gegevens windturbine

De te plaatsen windturbine wordt geleverd door EAZ Wind en betreft het type EAZ13.2. Dit betreft een windturbine met een as-hoogte van 15 meter, een rotordiameter van 13,2 meter en een nominaal vermogen van 15 kW. Het geluidvermogen van de windturbine is bepaald door middel van metingen. Het door Windtest Grevenbroich gmbh, rapport SE20033B1, d.d. 28 januari 2021, bepaalde windsnelheidsafhankelijk geluidvermogen is gehanteerd in het voorliggende onderzoek. Het datablad van het geluidvermogen van de windturbine is opgenomen in bijlage 2.

Gegevens windturbine

Het in werking hebben van een windturbine valt onder de algemene regels van het Activiteitenbesluit milieubeheer. Conform het Activiteitenbesluit (artikel 3.14a) mag de jaargemiddelde geluidbelasting vanwege één of meerdere windturbines ten hoogste 47 dB Lden (gemiddelde over het etmaal) en 41 dB Lnight (tussen 23:00 en 07:00 uur) bedragen.

Distributieve windverdeling

Het Reken- en meetvoorschrift stelt dat ten behoeve van het akoestisch onderzoek gebruik gemaakt wordt van het door het KNMI aangeleverde langjarig gemiddelde windprofiel op as-hoogte. Deze windverdeling is voor Nederland in een grid van 2,5 bij 2,5 km beschikbaar en op een hoogte van 10 tot en met 260 meter. Via de M+P[1] rekentool kunnen deze waarden opgevraagd worden. Met de rekentool zijn de geïnterpoleerde waarden op de locatie van de windturbine(s) en op as-hoogte verkregen.

Resultaten en conclusie

De berekeningen zijn uitgevoerd conform het Reken- en meetvoorschrift windturbines, bijlage 4 van de Activiteitenregeling milieubeheer. De geluidbelasting is bepaald op een beoordelingshoogte van 5 meter ter plaatse van de gevel van de Eysingapad 56 te Aldtsjerk. Voor het bodemgebied is voor de omgeving van de windturbine uitgegaan van een zachte, absorberende bodem met bodemfactor $B_f = 0,8$ [-].

De jaargemiddelde geluidbelasting bedraagt ten hoogste 36 en 30 dB voor respectievelijk Lden en Lnight ter plaatse van het maatgevende beoordelingspunt. Hiermee wordt voldaan aan de geluidnormering van $L_{den} \leq 47$ dB en $L_{night} \leq 41$ dB conform het Activiteitenbesluit. De rekenresultaten zijn opgenomen in bijlage 3. Opgemerkt dient te worden dat de momentane geluidbelasting kan afwijken van de jaargemiddelde geluidbelasting. Dit ten gevolge van de op dat moment heersende windsnelheid en richting.

Voor het realiseren van één windturbine aan de Marwei 1 te Aldtsjerk is door Geluid Plus Adviseurs een akoestisch onderzoek uitgevoerd. De berekeningen laten zien dat ter plaatse van het meest maatgevende beoordelingspunt wordt voldaan aan de normen van het Activiteitenbesluit. Hiermee kan gesteld worden dat de te realiseren windturbine aan de Marwei 1 te Aldtsjerk akoestisch inpasbaar is in haar omgeving.

Vertrouwende u hiermee voldoende geïnformeerd te hebben.

Met vriendelijke groet,

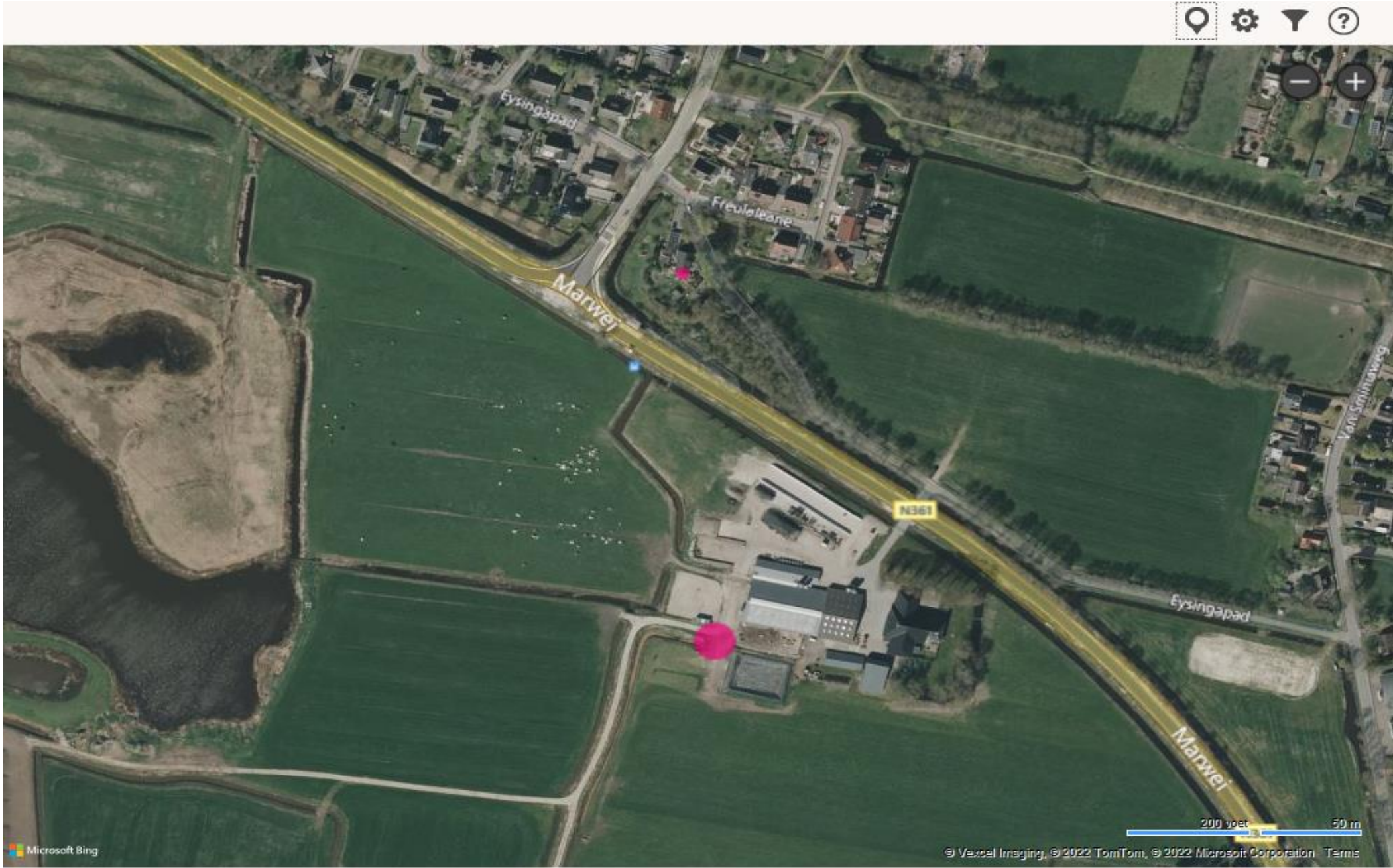
Dhr. R. de Graaf (Richard)
Adviseur akoestiek

Bijlagen:

1. Situatie
2. Gegevens windturbine
3. Resultaten

[1] www.mp.nl/rekentool

Bijlage 1: Situatie



Bijlage 2: Gegevens windturbine



6 Summary

As ordered by the customer E.A.Z. Wind BV, windtest grevenbroich gmbh has measured the acoustic noise emissions of a WT type EAZ-13.2 with a hub height of 15 m (including the base) according to IEC 61400-11:2012, Annex F [1].

The measurement was performed 2020-12-04 in Overschild (Netherlands) on the WT with the serial-no. 0001.

A distinct directional characteristic could not be found for this WT. Single noise events which exceed the average noise of the WT more than 10 dB could not be noticed.

The tonality analysis according to IEC 61400-11:2012 [1] for the measured WT noise in 22.2 m distance shows audible tonality [1].

The data analysis gives the following results for the single wind speed BINs:

Tab. 7: Measurement results of WT EAZ-13.2

BIN center wind speed $v_{H,0}$ at hub height 15 m [m/s]	Sound power level $L_{W,k}$ [dB]	Uncertainty $U_{G,L_{W,k}}$ [dB]	Tonal audibility $\Delta L_{k,k}$ [dB]		
			at 180 Hz	at 208 Hz	at 1,230 Hz
8.0	88.9	0.9	3.88	< -3.0	6.79
9.0	89.3	0.9	3.56	< -3.0	1.66
10.0	89.5	0.9	6.10	< -3.0	0.90
11.0	89.9	0.9	4.36	-1.52	2.60
12.0	90.5	0.9	2.64	< -3.0	-1.72
13.0	90.7	1.0	2.73	-0.17	1.03

It is assured that the testing of the sound performance of the WT EAZ-13.2 was performed according to the state of technology, independently and impartially and to the best of our knowledge and conscience.

The results presented in this report only refer to and apply on this WT (according to the manufacturer's specification in the appendix).

Bijlage 3: Resultaten

Geluid Windturbines

conform Reken- en meetvoorschrift windturbines (Activiteitenregeling, bijlage 4)

GELUID PLUS

adviseurs

onderzoek
metingen
advies

project: **Windturbine EAZ Wind**
projectnr.: **22.002-55**
omschrijving: **plaatsing 1 windturbine**
datum: **3-jun-22**

Gegevens beoordelingspunt

adres beoordelingspunt: **Eysingapad 56 te Aldtsjerk** hoogte ontvanger: **5** meter

positie beoordelingspunt latitude: **53,262387** °NB positie bp X: **188601,94**
(WGS84) longitude: **5,890765** °OL (RDC) Y: **586321,93**

Gegevens windturbine

Type **EAZ13.2** adres turbine: **Marwei 1 te Aldtsjerk**
ashoogte H = **15** meter afstand tot ontvanger: **207** meter
rotordiameter D = **13,2** meter hoek bron-ontvanger tov noord, β = **356** graden
aantal turbines: **1** stuks toets minimale afstand ($> H + D/2$) **voldoet**

postite windturbine 1 latitude: **53,260531** °NB WT 1 X: **188619,64**
(WGS84) longitude: **5,891009** °OL (RDC) Y: **586115,50**

postite windturbine 2 latitude: **0,000000** °NB WT 2 X: **0,00**
(WGS84) longitude: **0,000000** °OL (RDC) Y: **0,00**

postite windturbine 3 latitude: **0,000000** °NB WT 3 X: **0,00**
(WGS84) longitude: **0,000000** °OL (RDC) Y: **0,00**

gemiddelde positie latitude: **53,260531** °NB WT gemidde X: **188619,64**
(WGS84) longitude: **5,891009** °OL (RDC) Y: **586115,50**

Overige invoergegevens

Bodemfactor Bf = **0,8** [-]

Windsnelheids-klasse	windsnelheidsverdeling [%] ^{1),2)}			Lwa ³⁾	Le,dag	Le,avond	Le,nacht
	Dag	Avond	Nacht				
1 m/s	3,3	5,2	7,1	-99,0	-113,8	-111,8	-110,5
2 m/s	7,6	12,3	13,9	-99,0	-110,2	-108,1	-107,6
3 m/s	12,7	18,0	18,8	87,0	78,0	79,6	79,8
4 m/s	15,8	17,4	17,1	87,4	79,4	79,8	79,7
5 m/s	15,5	13,8	12,5	87,8	79,7	79,2	78,7
6 m/s	13,6	10,6	9,4	88,1	79,5	78,4	77,8
7 m/s	10,6	7,7	6,9	88,5	78,7	77,4	76,9
8 m/s	7,8	5,3	4,8	88,9	77,8	76,2	75,7
9 m/s	5,2	3,3	3,3	89,3	76,5	74,5	74,5
10 m/s	3,2	2,3	2,3	89,5	74,5	73,0	73,2
11 m/s	1,9	1,7	1,6	89,9	72,7	72,2	72,0
12 m/s	1,2	1,0	1,0	90,5	71,2	70,7	70,3
13 m/s	0,7	0,6	0,7	90,7	69,3	68,5	68,8
14 m/s	0,4	0,3	0,4	90,9	67,1	66,3	67,1
15 m/s	0,2	0,2	0,2	91,2	64,2	64,0	64,0
16 m/s	0,1	0,1	0,1	91,5	61,5	61,9	61,0
17 m/s	0,1	0,1	0,0	91,7	59,5	58,7	56,5
18 m/s	0,0	0,0	0,0	91,9	57,9	51,9	51,9
19 m/s	0,0	0,0	0,0	92,1	52,1	52,1	52,1
20 m/s	0,0	0,0	0,0	92,3	52,3	-99,0	-99,0
21 m/s	0,0	0,0	0,0	92,5	-99,0	-99,0	-99,0
22 m/s	0,0	0,0	0,0	92,7	-99,0	-99,0	-99,0
23 m/s	0,0	0,0	0,0	92,8	-99,0	-99,0	-99,0
24 m/s	0,0	0,0	0,0	93,0	-99,0	-99,0	-99,0
25 m/s	0,0	0,0	0,0	93,2	-99,0	-99,0	-99,0

Jaargemiddelde bronsterkte

Le,den	Le,dag	Le,avond	Le,nacht
93,5	87,7	87,2	87,0

1) windverdeling conform rekentool m+p: <http://www.mp.nl/rekentool>

2) windverdeling op as-hoogte: **15** meter

De rekentool van M+P is in opdracht van RVO ontwikkeld. De windverdelingen zijn door het KNMI aangeleverd in een grid van 2,5 x 2,5 km.

Per gridpunt zijn de windverdelingen op een hoogte van 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240 en 260 meter beschikbaar.

De rekentool interpoleert de windverdeling op tussenliggende punten en tussenliggende hoogte.

3) geluidsspectrum conform testrapport: SE20033B1, 28-01-2021, Windtest Grevenbroich gmbh.

Geluid Windturbines

conform Reken- en meetvoorschrift windturbines (Activiteitenregeling, bijlage 4)

project:	Windturbine EAZ Wind
projectnr.:	22.002-55
omschrijving:	plaatsing 1 windturbine
datum:	3-jun-22

Dgeo	ri = 207,3 meter								
	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Dgeo = 10 lg(4πri ²)	57,3	57,3	57,3	57,3	57,3	57,3	57,3	57,3	57,3

Dlucht = alu (f) ri

	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
alu [dB/m]	0,00002	0,00007	0,00025	0,00076	0,0016	0,0029	0,0062	0,019	0,067
Dlucht = alu (f) ri	0,00	0,01	0,05	0,16	0,33	0,60	1,29	3,94	13,89

Dbodem

	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
D bron	-3,00	-3,00	2,22	0,51	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20
D midden	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D ontvanger	-3,00	-3,00	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20
Σ D	-6,00	-6,00	2,02	0,31	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40

Cmeteo

	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Cmeteo	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11

10log(N)

	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
aantal molens = 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

spectrum windturbine ⁴⁾

	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
correctiewaarde @ 8 m/s	-33,8	-22,4	-12,1	-7,1	-7,1	-4,0	-6,5	-9,5	-15,9

4) geluidsspectrum conform testrapport: SE20033B1, 28-01-2021, Windtest Grevenbroich gmbh.

tonaal karakter ⁵⁾

	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
tonaal: NEE	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5) Conform RM-WT is deze correctie niet nodig. Het mogelijk tonale karakter is verwerkt in de normering.

Leq,i,n= LE – Dgeo – Dlucht – Dbodem – Cmeteo + 10log(N) + K

	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Lday	2,5	13,9	16,1	22,7	23,2	26,1	22,9	17,2	0,9
Levening	2,0	13,4	15,6	22,2	22,7	25,6	22,4	16,7	0,4
Lnight	1,8	13,2	15,4	22,0	22,5	25,4	22,2	16,5	0,2

Resultaat, 1 turbines

	Lday	Levening	Lnight	Lden
berekende waarde	30,5	30,0	29,8	36,3
norm	-	-	41	47
toets	-	-	voldoet	voldoet



BIJLAGE: DIGITALE WATERTOETS

Digitale Watertoets

Resultaat van de check gedaan op 12-07-2022

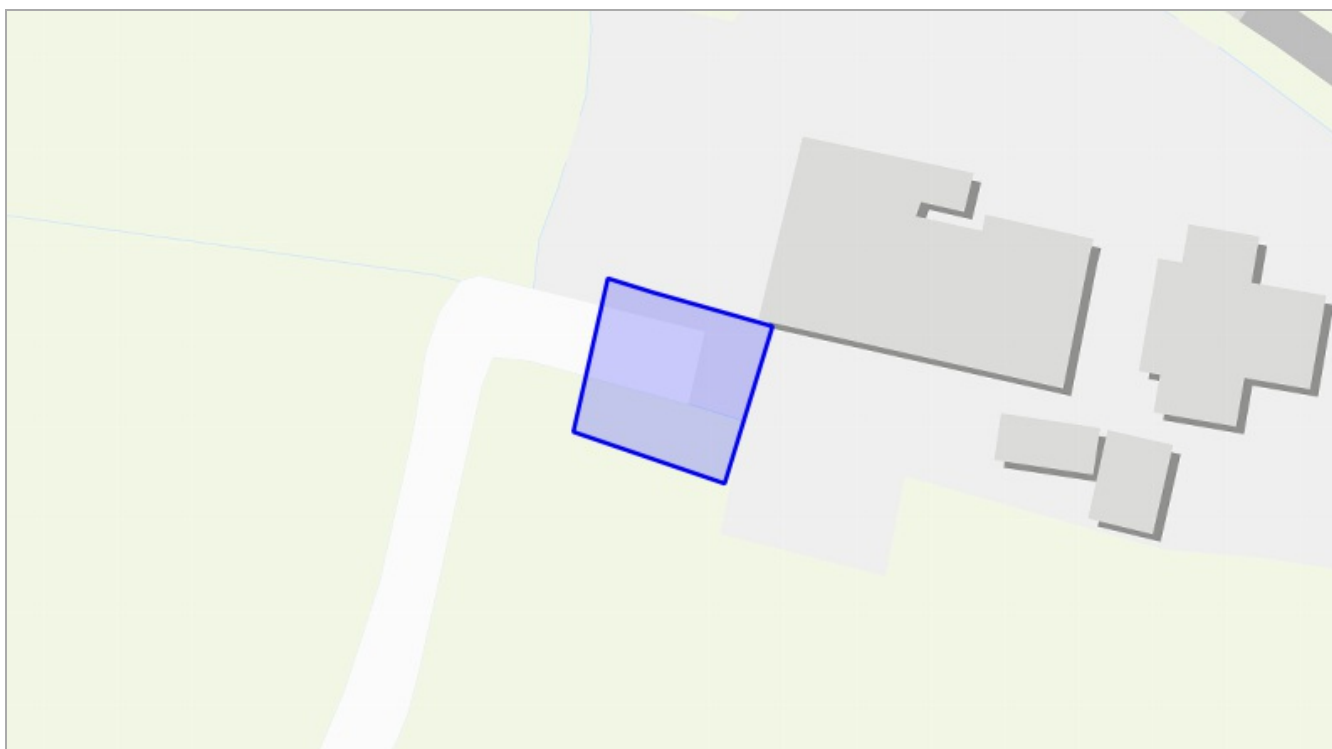
Digitale watertoets

De watertoets helpt u om aan de hand van de locatie van uw ruimtelijke plan en een aantal vragen te toetsen of u de belangen van het Waterschap raakt. Indien dit het geval is krijgt u tekst en uitleg over het vervolg proces.

VOOR DE ACTIVITEIT DIGITALE WATERTOETS IS OP BASIS VAN DE GEGEVEN
ANTWOORDEN NODIG:

1. Korte procedure

OP BASIS VAN ONDERSTAANDE LOCATIE



Digitale Watertoets

VRAGEN EN ANTWOORDEN UIT DE CHECK

1. Gaat het plan uitsluitend over de functiewijziging van bestaande bebouwing zonder fysieke aanpassing van bebouwing en ruimte?
 - nee
2. Verwacht je een toename van verharding in het plan?
 - nee
3. Is er sprake van een toename van lozing van verontreinigd water op het oppervlaktewater?
 - nee
4. Wordt het oppervlaktewaterpeil in het plangebied ook gewijzigd?
 - nee
5. Wordt er oppervlaktewater gegraven en/of gedempt?
 - nee
6. Ga je tijdelijk of permanent op de ingetekende locatie grondwater onttrekken?
 - nee
7. Raak je de laag primaire waterkeringen?
 - nee
8. Raak je de laag regionale en/of lokale waterkeringen?
 - nee
9. Raak je de laag hoofdwateren?
 - nee
10. Raak je de laag rioolwaterpersleidingen?
 - nee
11. Raak je de laag Grondwaterbeschermingsgebied?
 - nee

Digitale Watertoets

12. Raak je de laag Kaderichtlijn water?

- nee

13. Raak je de laag vrij voor de boezem?

- nee

14. Raak je de laag waterzuiveringsobject?

- nee

DETAILS

1. Korte procedure

Voor je plan moet je de korte procedure met advies volgen. We verzoeken je het plan kenbaar te maken bij Wetterskip Fryslân via de knop 'Direct aanvragen'.

Wat moet ik doen?

Wij vragen je om het plan bij ons kenbaar te maken. Dit kun je doen via de knop 'Direct aanvragen' in het overzicht, in te loggen en hiermee de procedure af te ronden.

Uit de door jou ingevulde gegevens blijkt dat je plan mogelijk invloed heeft op het water of de wateraspecten (zoals dijken, gemalen, stuwen of persleidingen) in de omgeving.

Onder 'details' van de samenvatting aanvraag staat aangegeven waar je per onderdeel rekening mee moet houden. Dit moet je verwerken in je ruimtelijk plan of besluit in de waterparagraaf.

Daarnaast moet je in je plan een onderdeel opnemen over de 'toename verharding'. Kijk bij 'Achtergrondinformatie' wat wij van je verwachten.

Waar moet ik op letten?

Voor sommige werkzaamheden heb je een watervergunning nodig. Bijvoorbeeld als je een sloot wilt dempen, afvalwater wilt lozen op oppervlaktewater of grondwater wilt onttrekken. Soms is het doen van een melding voldoende. Via Omgevingsloket online www.omgevingsloket.nl kun je nagaan of je een watervergunning nodig hebt of een melding moet doen (vergunningcheck). Je kunt hier ook meteen de vergunning aanvragen of de melding doen.

Achtergrondinformatie

Watertoets

De watertoets zorgt ervoor dat in alle ruimtelijke plannen aandacht wordt besteed aan veiligheid, kwaliteit én kwantiteit van water. Als richtlijn bij het beoordelen van ruimtelijke plannen werken we met de Leidraad Watertoets. Hierin staat voor alle wateraspecten uitgangspunten omschreven waar je rekening mee moet houden. Ook is er informatie te vinden over de te nemen maatregelen. Je kunt de leidraad vinden via deze link: www.wetterskipfryslan.nl/vergunningen-wetten-en-regels/online-watertoets-voor-nieuwe-plannen

Toename verharding

Wij willen je verzoeken om in de waterparagraaf de volgende passage op te nemen over het onderdeel toename verharding. Door ruimtelijke ontwikkelingen neemt de hoeveelheid verhard oppervlak toe met als gevolg een versnelde afvoer van hemelwater. Het is nodig om deze versnelde afvoer te compenseren om de waterberging in een gebied in stand te houden. Dit geldt ook voor toevoegen van

Digitale Watertoets

oppervlakteverharding die wel past binnen het bestemmingsplan, maar waarvan de grond al meer dan vijf jaar braak ligt en waar in het verleden niet voor gecompenseerd is.

Het is niet toegestaan zonder watervergunning neerslag versneld tot afvoer te laten komen indien daarbij meer dan 200 m² onverharde grond in stedelijk gebied en 1500 m² in landelijk gebied wordt bebouwd of verhard. Er geldt een vrijstelling van de vergunningsplicht wanneer wordt voldaan aan de compensatieregels genoemd in dit wateradvies. De meest voorkomende manier van compenseren is het graven van extra oppervlaktewater. Bij het graven van extra oppervlaktewater hanteren wij de volgende compensatienorm:

- Boezem 5%, dit heeft alleen betrekking op de Friese boezem;
- Polder 10%,
- Vrij afstromend, alternatieve maatregelen.

Uiteraard is het toepassen van alternatieve maatregelen in het plan ook mogelijk. Afhankelijk van de maatregel kunnen andere normen gelden dan hier vermeld. Zie de 'Leidraad watertoets' voor meer informatie over compenserende maatregelen of neem contact op met ons. Indien er niet wordt gecompenseerd door extra oppervlaktewater te graven waarbij bovenstaande percentages worden gehanteerd of indien er geen overeenstemming plaatsvindt in de watertoetsprocedure over alternatieve maatregelen dan dient een watervergunning bij het waterschap te worden gevraagd.

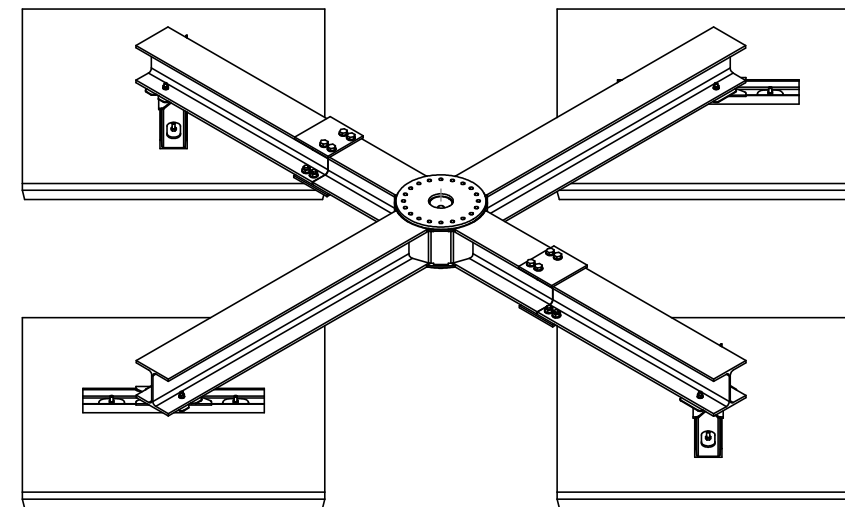
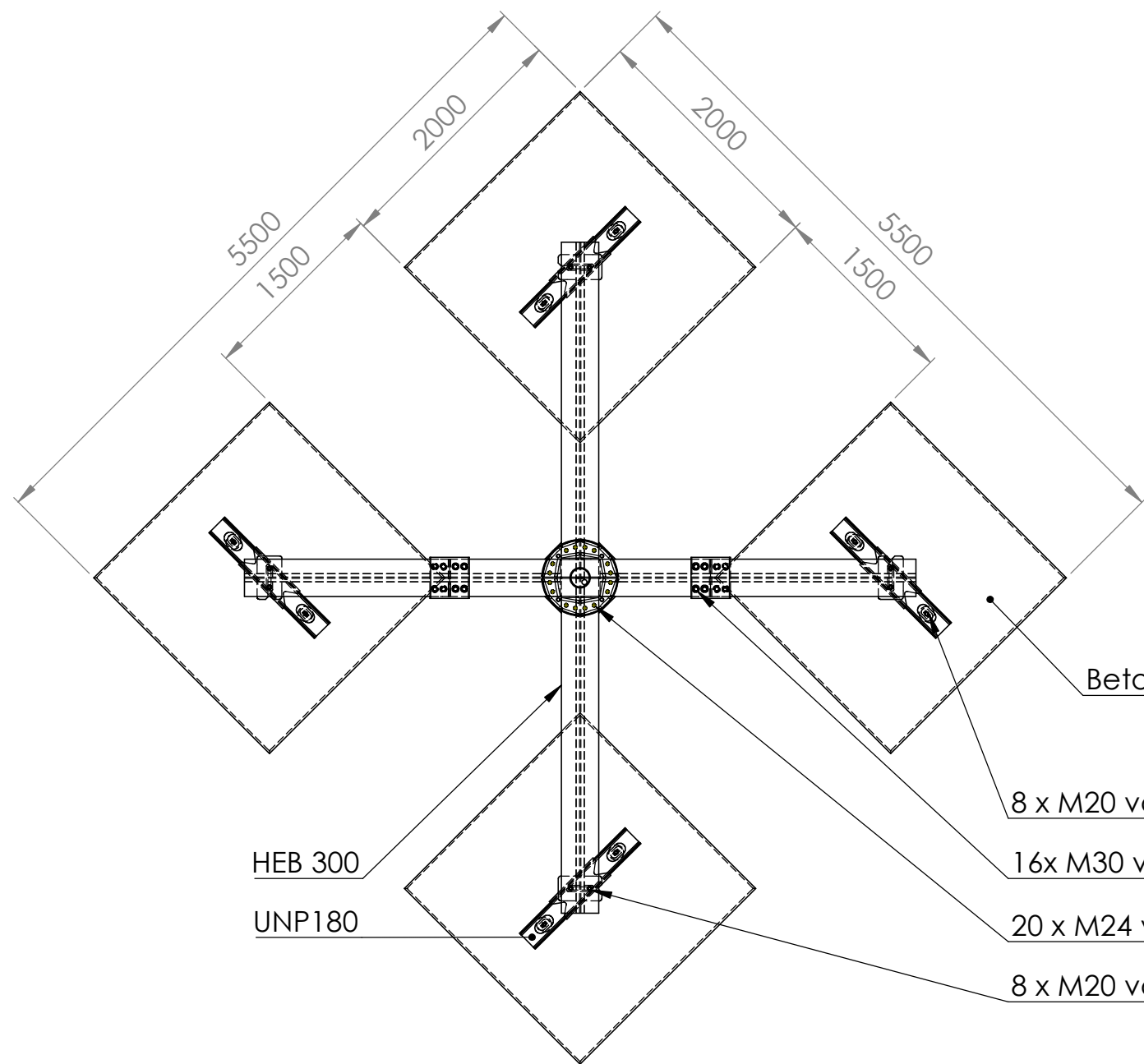
Bekijk ook de 'Leidraad Watertoets' voor meer informatie over maatregelen die je kunt treffen om te compenseren. Als je niet compenseert dan moet je een watervergunning aanvragen voor het snel afvoeren van regenwater.

Klimaat

Om ook in de toekomst prettig te kunnen wonen, werken en recreëren moeten steden en dorpen ingericht worden met het oog op de toekomst. Zo is het mogelijk om het bebouwd gebied beter bestand te maken tegen hevige regenbuien, periodes van droogte en hitte en de gevolgen van een mogelijke overstrooming. Meer informatie hierover kun je vinden op 'De Friese klimaatatlas': www.frieseklimaatatlas.nl

Privacyverklaring

Nadere informatie over de verwerking van je gegevens en je rechten vind je op <https://www.wetterskipfryslan.nl/over-de-site/privacyverklaring>



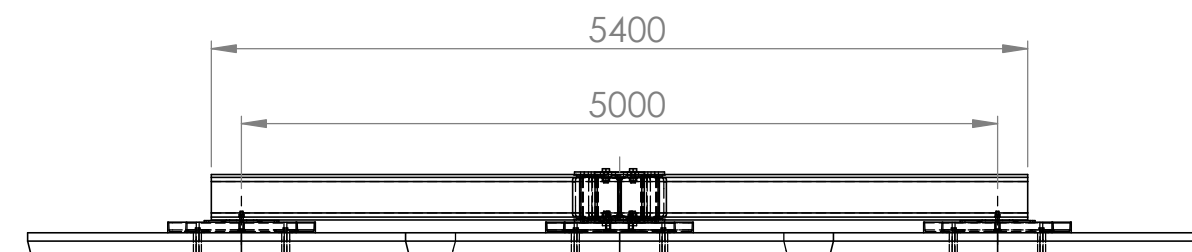
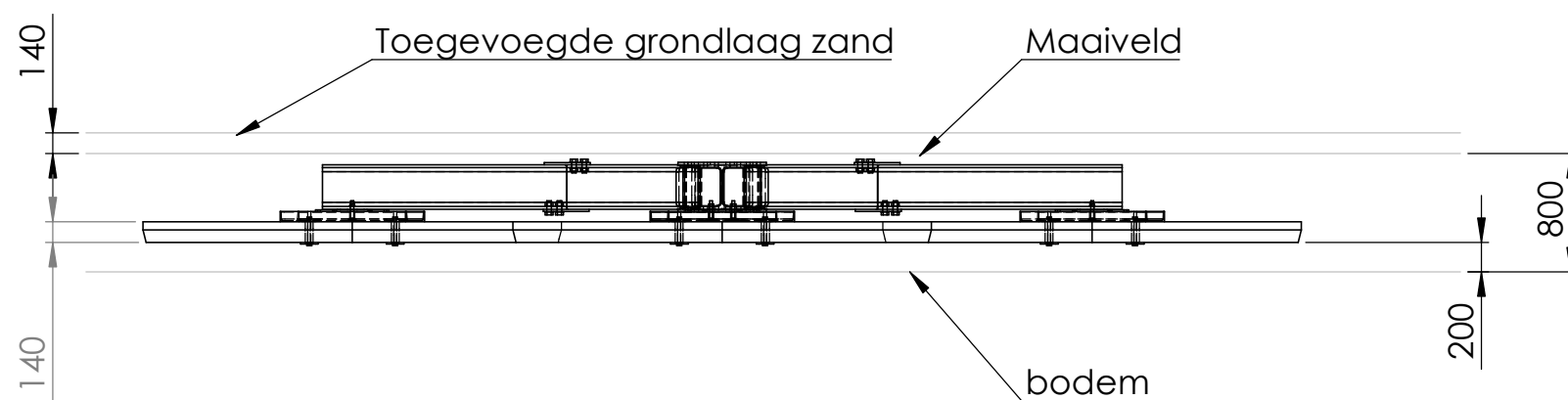
Betonplaat (C55) 2,0x2,0x0,14m

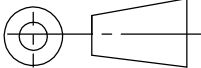
8 x M20 voorspanbouten, kwaliteit 10.9, voorspankracht: 115 kN (450 N.m)

16x M30 voorspanbouten, kwaliteit 10.9, voorspankracht: 250 kN (1500 N.m)

20 x M24 voorspanbouten, kwaliteit 10.9, voorspankracht: 190 kN (900 N.m)

8 x M20 voorspanbouten, kwaliteit 10.9, voorspankracht: 115 kN (450 N.m)



 Third Angle projection	 EAZ Wind info@eazwind.nl	If not stated otherwise: Dimensions are in millimeters Tolerance: +/- 10		Name assembly / part : 83503 Montage fundering voor installatie v20201207	
		Material :		Size : A3	Subject: Fundering 15m mast
		Date: 14/06/2018		Scale : 1:50	: 83503 HooAssFunderingBetonplatenInstal
		Remarks :		Approved by :	Weight(kg): 1666.27
				Drawn : W. Huijssoon	SW Version : 4