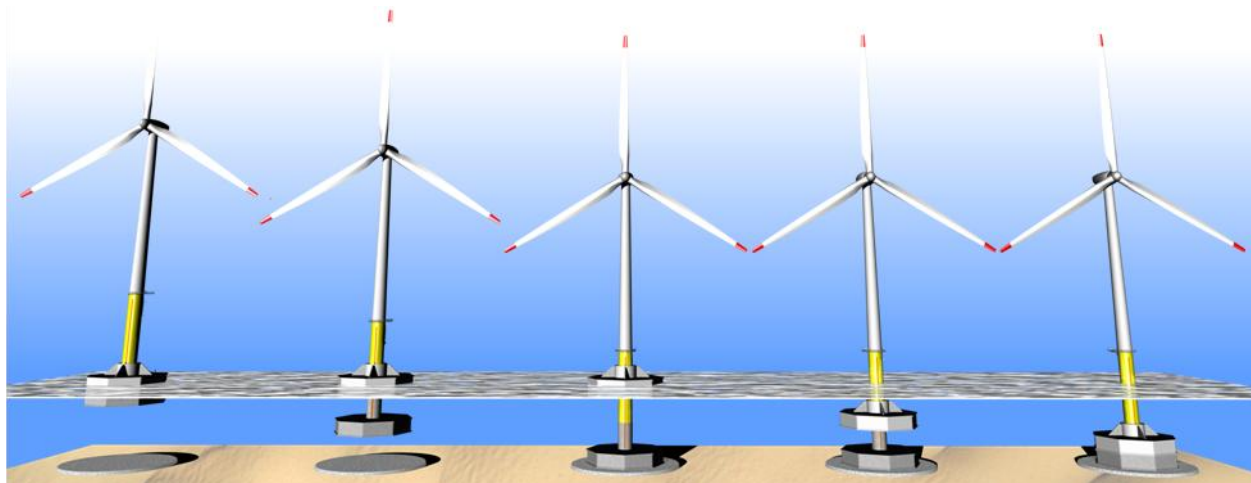


## Eind Rapport Concept en Basic Ontwerp voor een zelf- installeerbare Gravity Base Foundation

RVO Project Ref. TEHE115027  
MBW DOC NO: M800.15.002.RP05



Prepared by:

MonoBaseWind B.V.

Utrechtseweg 49

1381 GT Weesp

The Netherlands

Tel : +31(0)6 51564378

E-mail : info@monobasewind.com

Http : www.monobasewind.com

Document Number	M800.15.002.000.DOC.120					
Rev.	Date	Description	Prep'd	Check	I-Check	Approved
B0	27/03/17	Approved	JGR	HBU	GHO	

---

INHOUD

1.0	GEGEVENS PROJECT .....	3
2.0	INHOUDELIJK EINDRAPPORT .....	4
2.1	Samenvatting .....	4
2.2	Inleiding .....	4
2.3	Doelstelling .....	6
2.4	Werkwijze .....	6
2.5	Project resultaten .....	8
2.6	Mogelijkheden voor vervolgvactiteiten .....	9
2.7	Discussie .....	9
2.8	Conclusies en aanbevelingen .....	11
3.0	UITVOERING VAN HET PROJECT .....	13
3.1	Technische problemen tijdens het project .....	13
3.2	Toelichting wijzigingen projectplan .....	13
3.3	Toelichting begroting .....	13
3.4	Toelichting kennisverspreiding .....	13
3.5	Toelichting PR project en verdere PR mogelijkheden .....	14

**1.0 GEGEVENS PROJECT**

Projectnummer: : TEHE115027  
Projecttitel : Concept and Basic Design for Self-Installing Gravity Based Foundation  
Penvoerder : Monobase Wind B.V.  
Partners : Royal Haskoning DHV (RHDHV) en MARIN  
Projectperiode : 01-01-2016-31-12-2016

## **2.0 INHOUDELIJK EINDRAPPORT**

### **2.1 Samenvatting**

In 2016 heeft MonobaseWind B.V. met partners RoyalHaskoningDHV en MARIN een haalbaarheid studie uitgevoerd voor het ontwerp van een zelf installeerbare windmolen voor op zee. Deze studie behelsde het ontwerp van een innovatieve fundering voor de Borssele kavel 5 locatie, voor een windturbine met een operationeel vermogen van 6-8 MW. In het kader van de exporteerbaarheid is er ook intensief gekeken naar toekomstige velden in Schotland en Frankrijk voor waterdieptes groter dan 40 meter..

De achtergrond voor dit ontwerp is een alternatief te leveren voor de technische limiet van zogenaamde monopaal, de fundering die in de meeste gevallen gebruikt wordt voor huidige windmolens op zee. Hiervan wordt de technische limiet geschat tot bij waterdiepten van meer dan 40 m en turbine vermogens groter dan 8 MW. Aangezien de waterdiepte vooral in het buitenland voorkomen, is dit product bij uitstek geschikt voor export vanuit Nederland.

De specifieke aspecten van de Monobase fundering zijn:

- Uniek tweedelig ontwerp wat de Monobase geschikt maakt voor transport, installatie, operatie en verwijdering
- Geen kraanschip nodig voor installatie van de fundering en de turbine
- Geen heihamer nodig en dus vriendelijker voor het milieu
- Mogelijkheid tot opschalen voor turbines groter dan 10 MW

De studie heeft zich vooral gericht op het technische ontwerp en is verdeeld in de betonconstructie (ontwerp door RoyalHaskoningDHV) en het staal ontwerp (ontwerp door KCI). MARIN heeft ondersteuning verleend in het verwerken van gegevens die tijdens modeltesten in november 2014 vergaard zijn. Verder heeft Van Hattum Blankevoort commentaar geleverd op de bouwmethodiek en planning.

Het resultaat van de studie is positief: het ontwerp bleek zelfs eenvoudiger te zijn dan was voorzien. De bijlage van dit document bevat een presentatie met de ontwerp details, zoals gepresenteerd tijdens de 'Q-meeting' in december 2016.

Met de resultaten van deze studie gaat MonobaseWind B.V. met een fundatie consortium, een turbine partner en een Operator, een aanbidding voorbereiden voor de Borssele kavel 5 locatie in 2017. MonobaseWind B.V. zal in het eerste kwartaal van 2017 het fundatie consortium voltooien.

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

### **2.2 Inleiding**

In de ontwikkeling van grotere turbines voor windmolens wordt de fundering een steeds grotere technische uitdaging. De goedkoopste techniek, de monopaal, is een enkele funderingspaal die met een kraanschip en heihammers wordt geïnstalleerd. Door de toegenomen capaciteit van windturbines en waterdiepte, is het gewicht van de monopaal in enkele jaren tijd gegroeid van ongeveer 300 ton naar soms meer dan 1500 ton

en de diameter van 4 m naar 9 m, de lengte tot wel 80 m. Maar zoals iedere methode, heeft ook de monopaal een technische limiet en die wordt nu geschat rond de 2000 ton gewicht. De meeste huidige windparken liggen in waterdieptes van 10-30 m en gebruiken turbines tot 6 MW, waarvoor de monopaal nog technisch voldoet.

Om windparken voor dieper water en grotere turbines te kunnen ontwikkelen zijn een aantal alternatieve funderings methoden voorhanden:

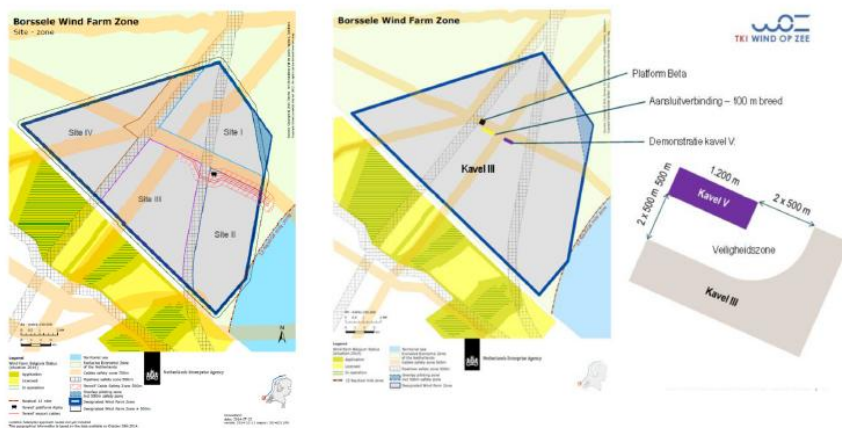
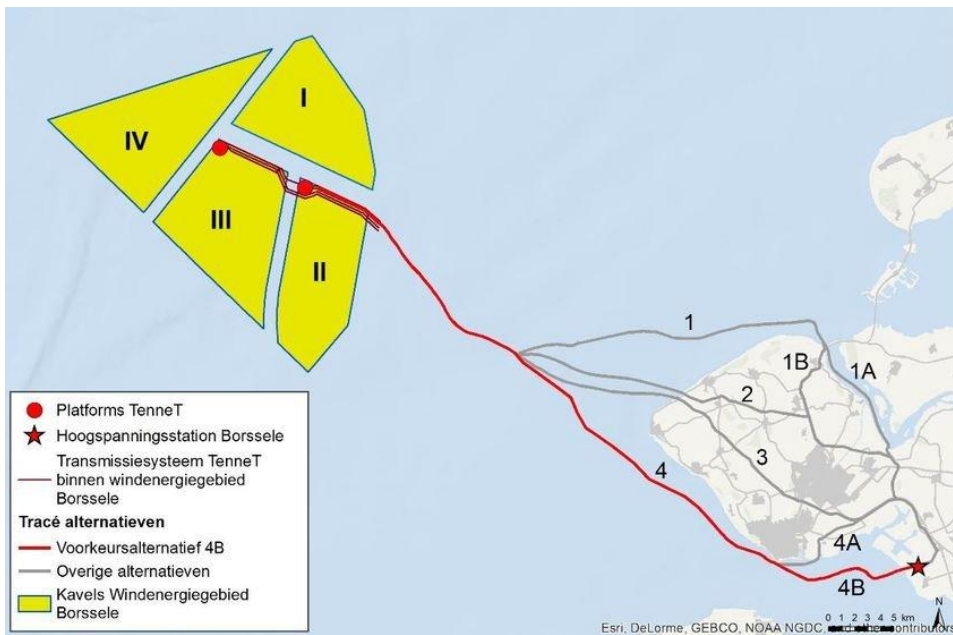
- stalen jacket
- betonnen Gravity Based Foundation (GBF)
- drijvende windmolens

Er zijn verschillende projecten reeds uitgevoerd met betonnen GBF's (o.a. in Denemarken, België en Zweden), maar aangezien er nog voldoende windparken in relatief ondiep water kunnen worden gebouwd, is er nog niet een direct reden om over te stappen naar stalen jackets of GBF's. Een aantal parken in dieper water het Verenigde Koninkrijk heeft wel al voor stalen jackets gekozen, zoals het Beatrice project. En voor het 'Blyth Offshore Demonstrator wind farm' project bouwt de BAM vijf betonnen GBF's.

Bij zowel monopalen en stalen jackets wordt eerst de fundering geïnstalleerd met een kraanschip en zware heihamers en daarna, in een aparte campagne, wordt de stalen toren, turbine en bladen geïnstalleerd door een mobiel platform met kraan. De reden voor deze aparte campagnes is dat de huidige ontwerpen eigenlijk ontwerpen voor op land zijn, die op zee geplaatst worden. Maar aangezien werken op zee logistiek gezien veel ingewikkelder is dan op land (en gespecialiseerde kraanschepen en heihamers vereisen), worden de transport en installaties in verschillende fasen uitgevoerd.

Het doel van de MonobaseWind GBF is om de zware kraanschepen en mobiele platforms te vermijden door de turbine al in de haven op de Monobase fundering te installeren. Hiervoor is een innovatieve configuratie gekozen, met een GBF die uit twee delen bestaat (de zogenaamde 'Foot' en 'Base'). Het ontwerp is voor alle fasen in de levensduur van de windmolen ontworpen: bouw, transport, installatie, operatie en verwijdering.

De Nederlandse overheid heeft ervoor gezorgd dat in het Borssele kavel 5 veld twee wind molens worden geïnstalleerd met het doel om innovatie te bevorderen, om zo de kostprijs in de toekomst omlaag te krijgen en een product geschikt voor export te ontwikkelen. Daarom is de Monobase GBF in deze studie specifiek voor deze locatie ontwikkeld.



**2.3 Doelstelling**

Het ontwerpen van een betonnen fundering voor een windmolen van 6-8 MW op de Borselle kavel 5 locatie, die zo is ontworpen, dat volledige windmolen (fundering, turbine en bladen) reeds in de haven geassembleerd-, en op een veilige manier in het windpark geïnstalleerd kan worden zonder hulp van kraanschepen.

**2.4 Werkwijze**

Voor de studie heeft Monobase Wind B.V. een project geleid met als belangrijkste deelnemers:.

Deelnemer	Rol
MonobaseWind	Project management en marine analyses
Royal Haskoning DHV (RHDHV)	Ontwerp betonnen constructie
MARIN	Detail analyse van model testen
KCI the Engineers	Ontwerp stalen onderdelen

In het begin van het project is de naamgeving van de verschillende onderdelen als volgt vastgelegd:

See figure below for explanation of these parts.

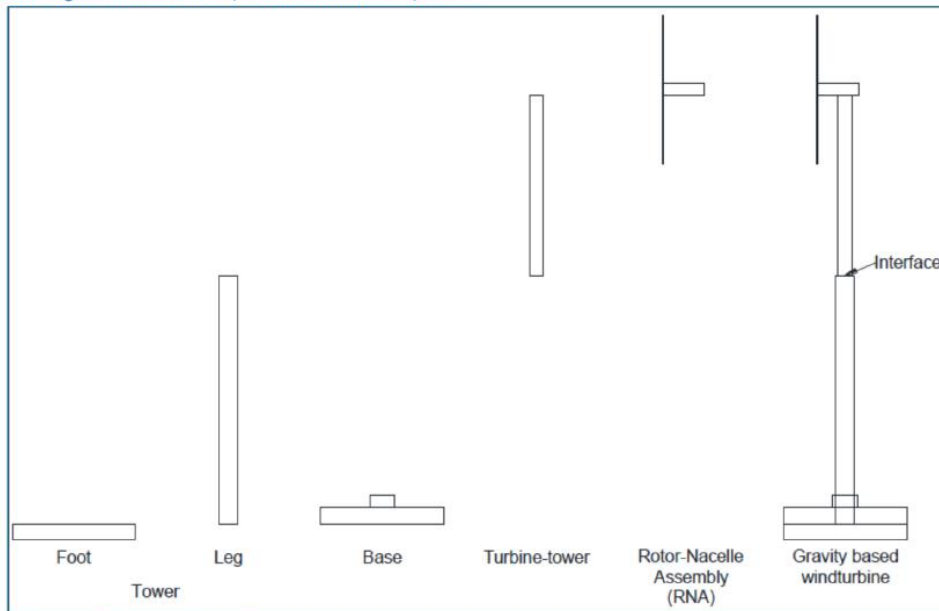


Figure 1-3: Definitions of the different structural parts

De studie is begonnen met het vastleggen van alle uitgangspunten in een zogenaamde 'Basis of Design'. Hierin staan alle van toepassing zijnde factoren vastgelegd, zoals de Borssele kavel 5 locatie, grondgesteldheid, waterdiepte, stroming, maximale golfhoogte, maximale windkracht, turbine type etc. etc. Nadat de eerste revisie van het Basis of Design was vastgelegd, begon het ontwerp proces met het organiseren van drie workshops, waarin alle partijen de vrijheid kregen om alle voor hun belangrijke aspecten naar voren te brengen. Deze zogenaamde 'Key Drivers' zijn vervolgens op belangrijkheid gesorteerd en in drie ontwerp cycli zijn ze verder uitgewerkt. Dit leidde tot een voorlopig ontwerp (Concept Design). Na evaluatie en detail berekeningen is hieruit het uiteindelijk ontwerp (Basic Design) gemaakt.

Gedurende het project zijn er vele vergaderingen geweest om de voortgang te bespreken, welke zijn vastgelegd in actie lijsten en voortgang rapportage. De project manager van Monobase is verantwoordelijk geweest voor het organiseren van de onderlinge communicatie (interfaces) tussen de beton ontwerpers van RHDHV en de staalontwerpers van KCI. Het raakvlak van deze was fysiek de flens van de 'Leg' op het dak van de 'Foot', maar er waren veel meer raakvlakken, zoals de 'Basis of Design', 'Environmental Loads', 'Codes and Standards', en de methodieken voor de bouw, het testen, transport en installatie.

De onderlinge communicatie met het MARIN is door de Monobase Directeur Technologie gedaan en de resultaten zijn aan RHDHV doorgegeven door middel van een 'Basis of Design' en een 'Load document'.

De vergaderingen, actielijsten en een goed documenten controle systeem hebben ertoe bijgedragen dat de

raakvlakken tussen MARIN, RHDHV en KCI geen noemenswaardige problemen hebben opgeleverd. Alle verslagen en rapportages zijn nog beschikbaar.

Het ontwerp is vastgelegd in de volgende documenten:

M800.15.002.RP01 Basis of Design

M800.15.002.RP02 Structural analysis report

M800.15.002.RP03 Construction drawings

M800.15.002.RP04 Transport and Installation Drawings

M800.15.002.RP05 Study Report

M800.15.002.RP06 Risk Register

Deze documenten lijst is als zodanig genoemd in het M800.15.002.DOC.001.Projectplan - Monobase Wind Basic design.A0, pagina 9 van 31, als bijlage van de subsidie aanvraag.

Tijdens het ontwerp is meermalen besproken hoe de Monobase gebouwd zou moeten worden en hoe het glijmechanisme en ballast systeem getest zou kunnen worden. Deze methodieken zijn vastgelegd in de 'Transport & Installation drawings' welke de gebruikte methodieken stap voor stap weergeven.

Voor ieder project of nieuw product, is een risico analyse essentieel, om de mogelijke klanten een indruk te geven van de verwachte risico's tijdens de uitvoering. Hiervoor is een risico sessie georganiseerd met Monobase Wind, KCI en RHDHV waarin alle fasen van het project besproken zijn en de risico's vastgelegd in een zogenaamd 'Risk Register'. Het toegepaste proces van de risico analyse komt uit de offshore industrie voor Olie en Gas, waarmee Monobase Wind veel ervaring heeft.

Aan het eind van het project leverden MARIN, KCI en RHDHV de gewenste rapportage die door de specialisten van Monobase Wind B.V. becommentarieerd zijn. In afzonderlijke vergaderingen zijn alle commentaren besproken en beslist of het rapport daadwerkelijk aangepast moest worden. Daarna is de definitieve versie van de rapporten gemaakt.

## 2.5 Project resultaten

De belangrijkste parameters van de Monobase Borssele kavel 5 GBF zijn:

Parameter	Waarde
Waterdiepte	38 m
Locatie	Er zijn 5 locaties geïdentificeerd in de kavel 5 die zeer geschikt zijn voor de Monobase
Turbine	6-8 MW
Afmetingen (diameter x hoogte)	38 m diameter, 12 m hoog
Gewicht Foot	4.600 ton



Gewicht Base	3.800 ton
Gewicht stalen kolom (Leg)	560 ton
Ballast systeem	4 kleppen voor elk Base en Foot, persluchtleidingen voor aansturing en ontluchting
Glij mechanisme	5 stalen constructies die langs 3 stalen profielen lopen over de hele lengte van de Leg
Bouw locatie	Dok 6, Keppel Verolme, Rotterdam
Test locatie	Maasvlakte 2

## 2.6 Mogelijkheden voor vervolgactiviteiten

Het principe van de Monobase kan wereldwijd worden toegepast en is dus vooral aantrekkelijk in gebieden waar geen zware kraanschepen aanwezig zijn of waar de grondkarakteristiek ongeschikt is voor geheide funderingen. In Europa is de ontwikkeling in dieper water (meer dan 40 m) al ingezet met projecten in het Verenigd Koninkrijk (zoals het Beatrice project tot 62 m waterdiepte). Maar ook Duitsland, Denemarken en Zweden hebben diverse projecten met GBF funderingen. Nederlandse aannemers hebben aan de Monobase een uitstekend export product.

Buiten Europa gaat de ontwikkeling in wind-op-zee niet zo snel. Bijvoorbeeld in de Verenigde Staten is onlangs een vergunning verleend voor het eerste wind-op-zee project. Maar als de Monobase zich bewezen heeft in de Noordzee, ligt een wereldwijde markt ervoor open. De vervolgactiviteiten beslaan het gehele traject van ontwerp, bouw, transport, installatie en verwijdering. Vooral de ervaring van dit gehele traject, maar ook specifiek de bouw is interessant voor de Nederlandse industrie. Het bouwen van een prototype is duurder dan het seriematige bouwen, maar eens moet de eerste worden gebouwd. Met de ervaring van de Borssele kavel 5 wordt meteen een voorsprong op de concurrentie genomen.

Voor Monobase Wind B.V. is de ideaal situatie om na Borssele kavel 5 een order voor een aantal tussen de 8 en 16 te bouwen (16 is het maximum voor dok 7 bij Keppel Verolme in Rotterdam), teneinde het serie matige bouwproces en de logistieke aspecten te optimaliseren. Met deze ervaring kan gekeken worden hoe de seriematige productie voor grotere aantallen geoptimaliseerd kan worden. MonobaseWInd B.V. is daartoe reeds in gesprek met Bosch Rexroth.

## 2.7 Discussie

### Technisch

Het ontwerp is eenvoudiger geworden dan bij de aanvang van de studie was voorzien. De drie grootste uitdagingen, of onbekenden, aan het begin van de studie waren:

- Configuratie en constructie van de Foot en Base
- Ballast systeem
- Glijder systeem tussen Leg en Base

De configuratie van de Foot en Base is zeer eenvoudig geworden. Een achtkantige vorm met acht compartimenten en rechte wanden, versterkt met stalen staanders. In het originele ontwerp waren zestien compartimenten voorzien en was het onduidelijk hoe de krachten afgevoerd zouden worden. De kern, waarop de Leg staat, heeft veel overeenkomsten met de ontwerpen van windmolens op land.

Het ballast systeem is versimpeld van een actief systeem met 16 kleppen naar een passief systeem met 4 kleppen welke op afstand met luchtdruk aangestuurd worden. Ballasten gebeurd door de kleppen eenvoudig open te zetten om het water te laten instromen. Voor de omgekeerde procedure wordt lucht in de compartimenten geperst.

Voor het glijder systeem tussen Base en Leg zijn 5 identieke, stalen systemen ontworpen, welke de Base in 5 vrijheidsgraden gecontroleerd langs te Leg doen zakken. Er zitten eigenlijk geen bijzondere details in en kunnen zo door de Nederlandse staalindustrie gebouwd worden.

### **Grotere turbine**

Het huidige ontwerp is gebaseerd op de gegevens die voorhanden zijn van een 6 MW turbine. Voor kavel 5 is een aansluiting voor twee keer 10 MW turbines beschikbaar. De vraag is in hoeverre het huidige ontwerp is op te schalen naar een 10 MW turbine. Als de technische gegevens van zowel de computer animaties als de modeltesten door MARIN worden geanalyseerd en vergeleken, blijkt dat de grootste kracht op de Monobase die van de golven is, en niet van de turbine. Dit geeft vertrouwen dat dit ontwerp vrij eenvoudig naar een 10 MW turbine op te schalen is. Als voorbeeld: als de turbine van 6 naar 10 MW wordt opgeschaald (66%) wordt de Monobase misschien 10% groter. En juist de grotere turbines zorgen voor de schaalvergroting (logistiek, transport, installatie etc.) die de kosten voor een totaal windpark drastisch omlaag brengen.

### **Bouwlocatie**

Het bouwen van de Monobase in een droogdok heeft het voordeel dat er geen voorzieningen nodig zijn voor de tewaterlating (mocht de constructie op de wal worden gebouwd). Voor een volledig windpark van bijvoorbeeld 50 turbines, moet naar een droogdok gezocht worden. Hierin is een ruime keuze in Europa, zoals:

- Keppel Verolme dok 7, Rotterdam
- Able, Teeside, Verenigd Koninkrijk
- Nigg, Inverness, Verenigd Koninkrijk
- Hanøytangen, Bergen, Noorwegen
- ARNO Dunkerque, Frankrijk
- Sobrena Shiprepair Yard , Brest, Frankrijk
- Odense, Denemarken
- Etc.

Wereldwijd zijn er tientallen dokken geschikt om de Monobase seriematig in te bouwen. Mocht er geen groot dok voorhanden zijn, dan kan de Monobase altijd gewoon op de kant worden gebouwd en met huidige technieken uit de Olie & Gas industrie door middel van een afzinkbare ponten, te water gelaten worden.

### Markt

De belangrijkste vraag die antwoord behoeft is 'waarom wordt de Monobase niet nu al gebouwd en gebruikt'. De achtergrond is dat de ontwikkeling in wind-op-zee in Europa pas een paar jaar aan de gang is en dat er tot 2020 er genoeg windparken ontwikkeld kunnen worden in ondieper water, waar de monopaal een goedkoper alternatief is.

De volgende tabel geeft een aantal windparken aan met waterdiepten groter dan 40 m met windturbines groter dan 6 MW. Deze lijst geeft dus goed het marktpotentieel voor de Monobase fundering aan.

Project	Country	Year Found Install.	Company	Park Capacity MW	Water depth m
Borea	UK	2021	Vattenfall AB	1800	68
Islay	UK	2021	SSE Renewables (formerly Airtricity)	690	50
Seagreen Alpha	UK	2021	SeaGreen Fluor	522	61
Seagreen Bravo	UK	2022	SeaGreen Fluor	525	58
Vanguard	UK	2022	Vattenfall AB	1800	42
Firth of Forth 2	UK	2020	SeaGreen Wind Energy Limited	500	60

### Kosten

Voor de Borssele kavel 5 Demonstrator moeten een aantal eenmalige uitgaven gedaan worden, zoals het gedetailleerde ontwerp en certificatie, het testen op de Maasvlakte en de mobilisatie van de landkranen om de turbine te installeren. De huidige wind projecten op zee hebben tussen de 50 en 100 windmolen dus de vaste kosten kunnen in de toekomst over veel meer dan deze ene fundering voor Borssele kavel 5 afgeschreven worden, hetgeen de kostprijs zal doen dalen.

## 2.8 Conclusies en aanbevelingen

### Conclusies

1. De Monobase fundering is een technisch haalbaar ontwerp voor de Borssele kavel 5 locatie;
2. Het ontwerp van de Monobase is afhankelijk van het type turbine en de grondgesteldheid. Veranderingen hierin kunnen het ontwerp beïnvloeden, Zonder gedetailleerde informatie van óf turbine

---

óf grondgesteldheid op de exacte locatie in Borssele kavel 5 is het niet zinnig om meer details uit te werken;

3. Het huidige ontwerp heeft een aantal gedetailleerde technische conclusies en aanbevelingen voor het ontwerp en bouw van de betonnen Foot en Base.
4. Het huidige ontwerp van de Monobase blijkt eenvoudiger te zijn, dan de ontwerpen die in eerdere fasen ontwikkeld was. Dit heeft een kostenverlagend effect maar de grootste stap naar kostenverlaging is een seriematige productie.

### **Aanbevelingen**

1. Een gedetailleerde studie is vereist om een goede inschatting van de kosten van een volledige geïnstalleerde Monobase fundering te bepalen;
2. Het verkrijgen van gedetailleerde informatie voor wat betreft de turbine en de grondgesteldheid voor het Borssele kavel 5 project;
3. De conclusies en aanbevelingen van het betonnen ontwerp moeten in de vervolgfase worden meegenomen.
4. Verdere ontwikkeling van het seriematig bouwen van de Monobase om de bouwkosten te verlagen.

### 3.0 UITVOERING VAN HET PROJECT

#### 3.1 Technische problemen tijdens het project

Eigenlijk zijn er geen problemen opgetreden. Sterker nog, het ontwerp van de betonnen constructie is eenvoudiger geworden dan wij hadden voorzien. En eenvoudiger betekent: lagere kosten en minder risico.

#### 3.2 Toelichting wijzigingen projectplan

Gedurende het 9 maanden durende project is één wijziging aangevraagd namelijk het verplaatsen van de einddatum. Die was eerst 31 september en is naar 31 december verplaatst. De reden was een ongelukkige samenloop tussen vakanties en het niet beschikbaar zijn van de juiste mensen bij RHDHV door verplichtingen op andere projecten.

#### 3.3 Toelichting begroting

Voor dit project stelt het ons tevreden dat we binnen de begroting zijn gebleven. De volgende tabel geeft de werkelijke kosten gemaakt door de partners en de begrote kosten weer.

Royal HaskoningDHV heeft uiteindelijk rond de 10% minder uitgegeven dan vooraf begroot. Er is geen aanwijsbare rede voor deze kleine afwijking. Dit verschil valt binnen de marges die in het budget zijn opgenomen voor normale uitvoeringsrisico's.

MARIN heeft uiteindelijk rond de 9% minder uitgegeven dan vooraf begroot. Ook voor dit verschil geldt dat dit binnen de marge is van een normale budget inschatting van een project.

Voor alle partners geldt dat ze de projectdoelstellingen, die als basis diende voor de begrotingen, ruim hebben gehaald.

Partner	Project Begroting	Werkelijke kosten	Verschil	Subsidiabele kosten
MonoBase Wind b.v.	€ 486.100	€ 485.138	€ -962	€ 485.138
Royal HaskoningDHV	€ 222.150	€ 198.750	€ -23.400	€ 164.194
Marin	€ 79.040	€ 71.946	€ -7.094	€ 69.165
<b>Totaal</b>	<b>€ 787.290</b>	<b>€ 755.834</b>	<b>€ -31.456</b>	<b>€ 718.497</b>

#### 3.4 Toelichting kennisverspreiding

Wij zien twee soorten kennis verspreiding: dat de Monobase een succesvol ontwerp is geworden en het proces waarmee de Monobase is ontwikkeld

Het ontwerp is vastgelegd in de rapporten maar de echte kennis verspreiding betreft de mensen die aan het project hebben bijgedragen en geleerd hebben wat de interactie is tussen de diverse disciplines. Deze ervaring ligt nu dus bij MonobaseWind, RHDHV, KCI, MARIN en Van HattumBlankevoort.

Het proces betrof de splitsing in Concept Design (met de brainstorm sessies en Key Drivers) en Basic Design. Hier geldt hetzelfde voor als het ontwerp.

### **3.5 Toelichting PR project en verdere PR mogelijkheden**

Recent zijn diverse presentaties gehouden o.a. in Kopenhagen en Rotterdam (Q-meeting). Verder zijn een aantal gesprekken geweest met mogelijk geïnteresseerde partners zoals recentelijk met Boskalis en Shell. Maar nu de winnaar van Borssele kavel 3 en 4 bekend is (17 december 2016) en ten tijde van het schrijven van dit rapport, zijn de eerste PR activiteiten specifiek gericht om een combinatie te zoeken met óf Borssele 1 en 2 (DONG) of 3 en 4 (Eneco/Shell consortium). Diverse afspraken zijn reeds gemaakt met turbine fabrikanten, zoals Siemens, Alstom en Seawind.

MonobaseWind is nu het Business Plan aan het herschrijven en zal in Q1 2017 zich richten op het formeren van een consortium voor het Borssele kavel 5 Demonstrator park.

De website [monobasewind.com](http://monobasewind.com) is aangepast met het de resultaten van deze studie..

**BIJLAGE EINDRAPPORTAGE  
PRESENTATIE MONOBASE PRINCIPE  
Q-MEETING DECEMBER 2016**

# MonoBaseWind Gravity Base

Foundation for the XXL Turbine  
Herm Bussemaker



# Index

- **Introduction**
- Technology
- Borssele Kavel V Demonstrator project
- Future
- Closure

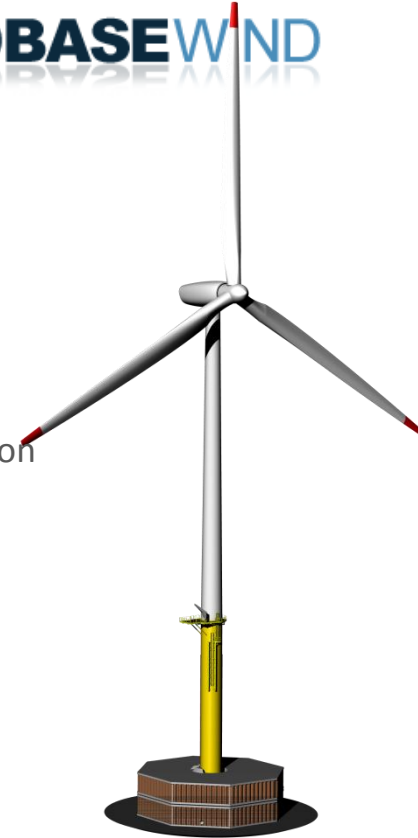
**MONOBASEWIND**



# The Company

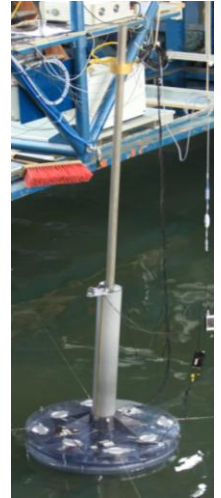
**MONOBASEWIND**

- Owned by:
  - Geert Jan Hoek – CEO Venture Counsels
  - Herm Bussemaker –Technology Orca Offshore
  - Jan Groot –Projects BP Consultants
- Background in Offshore Transport & Installation
- Monobase Wind B.V. was established in 2014, but have been working on a GBF solution since 2010
- The MBW concept has been patented in several countries and is considered legally protected
- Core business is design of GBF and advisory role during construction, transport & installation



# History

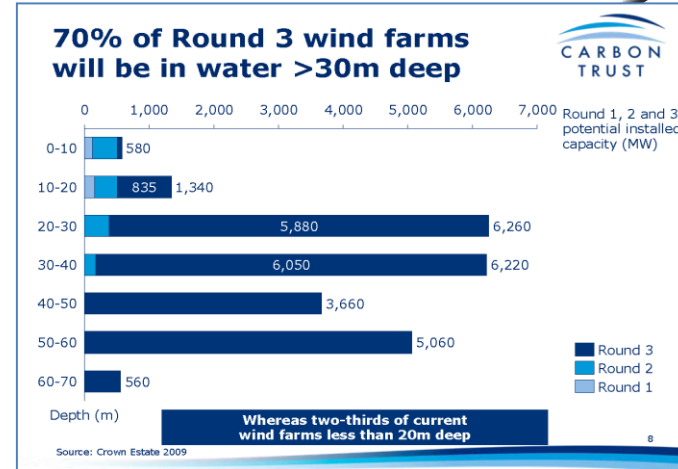
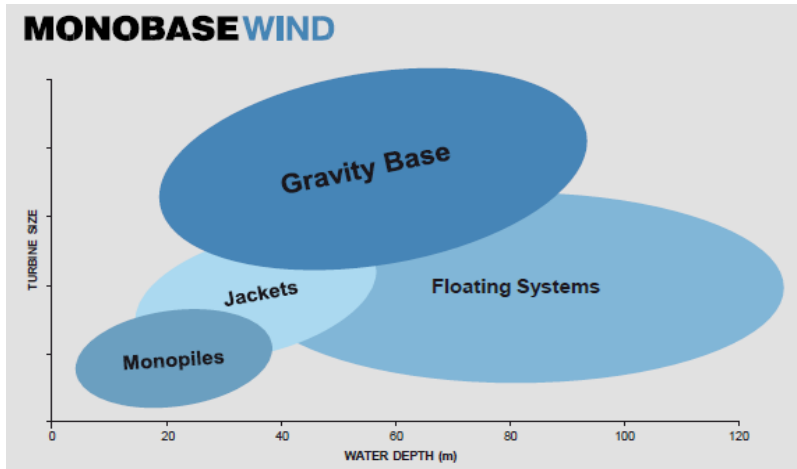
- 2010 Monobase patent filed
- 2013 Finalist for 2013 KIVI `Vernufteling` award
- 2014 MonobaseWind BV Incorporated
  - Model testing at the MARIN
  - Pre-qualified for the Siragrunden project, Norway
  - Concept Design for 2B Energy (Fife Energy Park)
- 2015 Received €570.000 funding “Topsector Energiesubsidie van het Ministerie van Economische Zaken”
- 2016 Started Basic Design for Demonstrator project with Royal Haskoning DHV and MARIN



# Our vision

- Monopile foundations are nearing a technical/practical limit
- Especially beyond 40 m waterdepth and > 8 MW
- Steel jackets do not provide a cost effective solution
- GBF's are the low risk alternatives
- Minimise Offshore work

# MONOBASEWIND



# Index

- Introduction
- **Technology**
- Borssele Kavel V Demonstrator project
- Future
- Closure

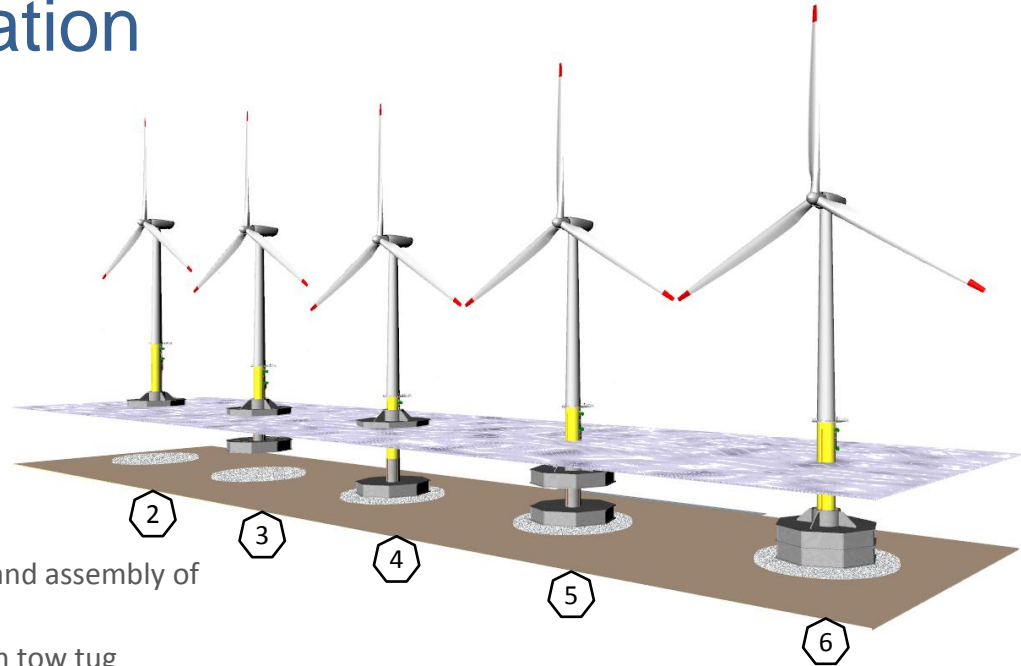
**MONOBASEWIND**



# Fabrication and installation

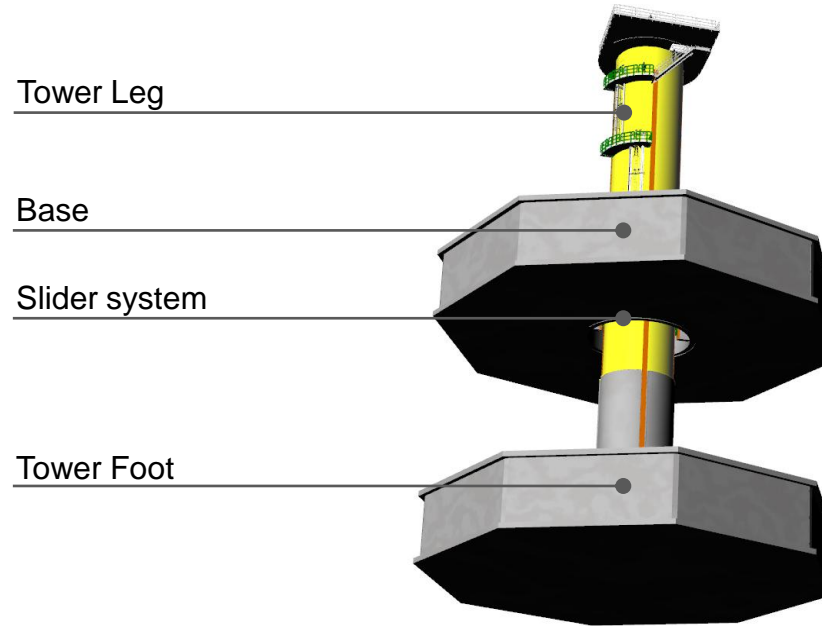


1



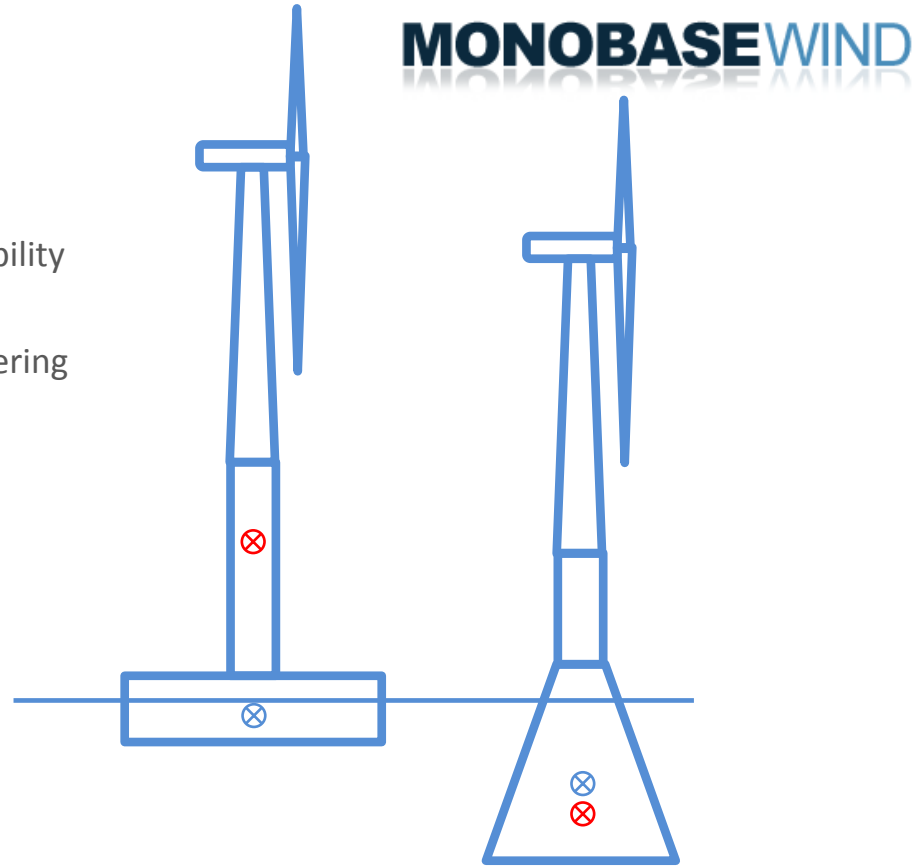
1. Inshore Fabrication and assembly of complete unit
2. Transport to site with tow tug
3. Lower tower using ballast water
4. Set down tower on prepared seabed
5. Lower base using ballast water
6. Set down base

# Main Components



# Marine Design

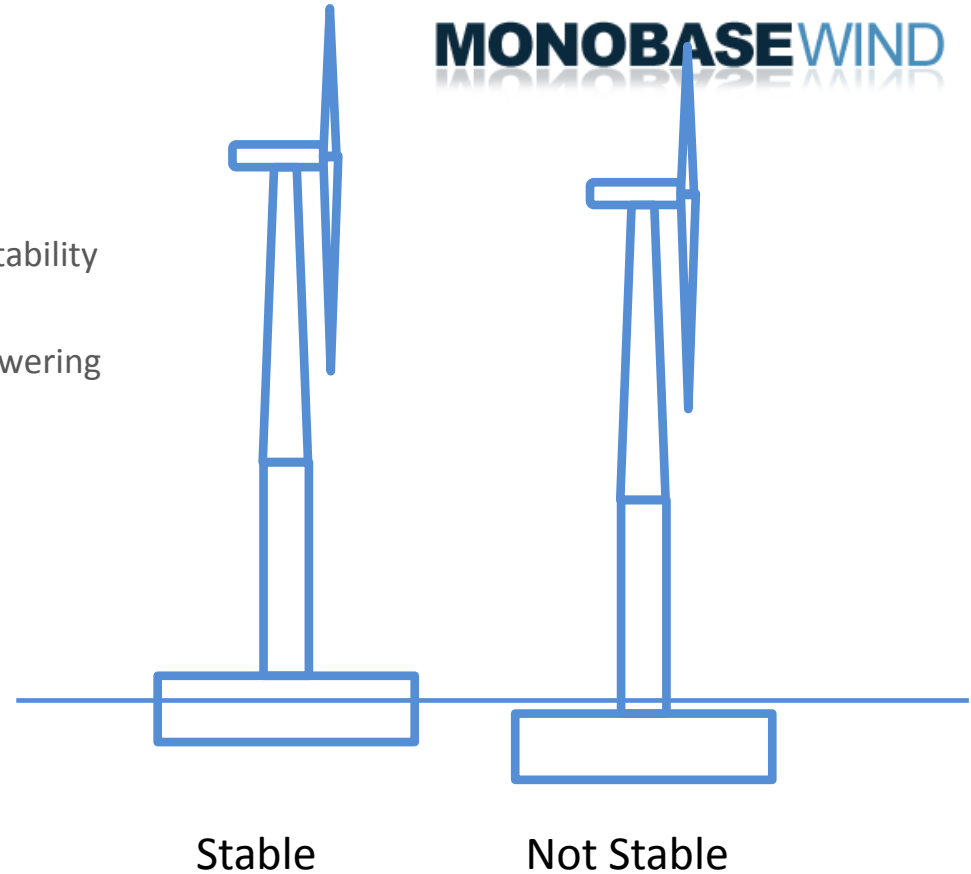
- Features
  - Large Water plane area for stability
  - High roll pitch period
  - Controlled stability during lowering
  - Low set down motions
- Benefits
  - Low transport draft
  - Low accelerations
  - Limited redundant material
  - Dual function for base





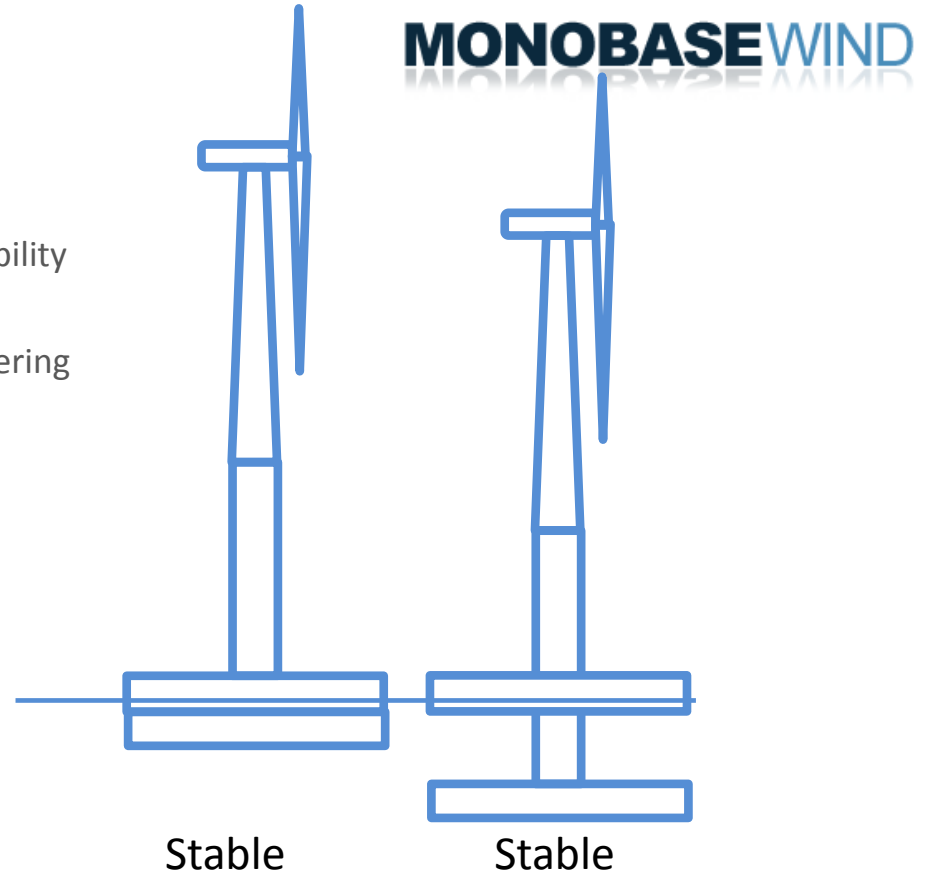
# Marine Design

- Features
  - Large Water plane area for stability
  - High roll pitch period
  - Controlled stability during lowering
  - Low set down motions
- Benefits
  - Low transport draft
  - Low accelerations
  - Limited redundant material
  - Dual function for base



# Marine Design

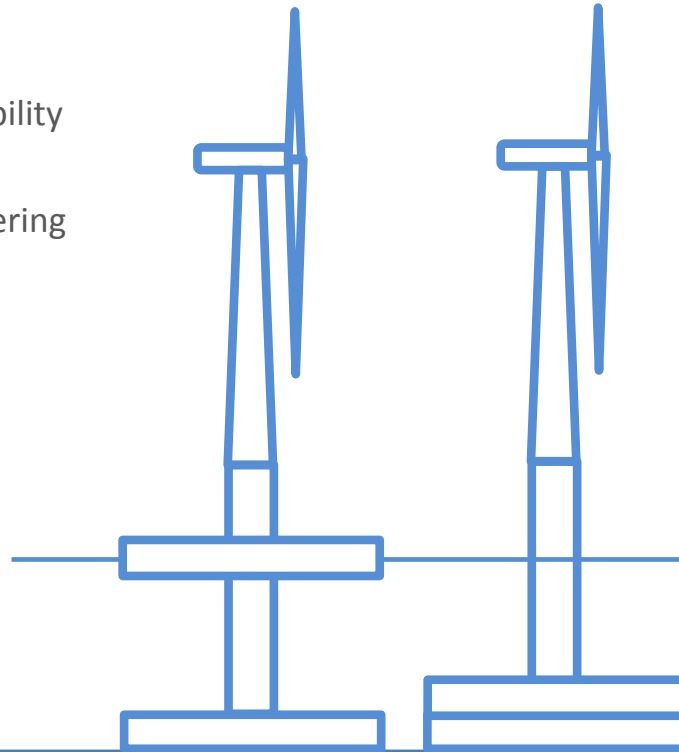
- Features
  - Large Water plane area for stability
  - High roll pitch period
  - Controlled stability during lowering
  - Low set down motions
- Benefits
  - Low transport draft
  - Low accelerations
  - Limited redundant material
  - Dual function for base



# Marine Design

**MONOBASE**WIND

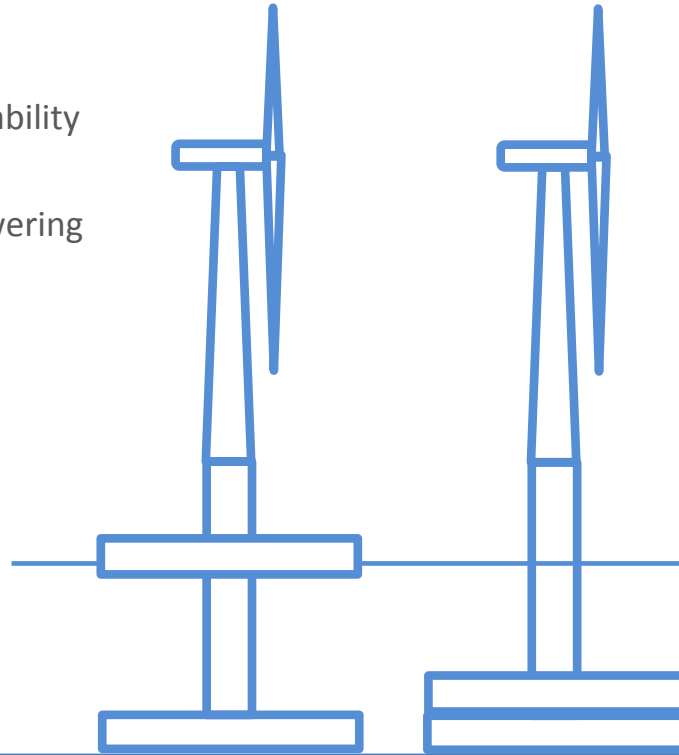
- Features
  - Large Water plane area for stability
  - High roll pitch period
  - Controlled stability during lowering
  - Low set down motions
- Benefits
  - Low transport draft
  - Low accelerations
  - Limited redundant material
  - Dual function for base



# Marine Design

**MONOBASE**WIND

- Features
  - Large Water plane area for stability
  - High roll pitch period
  - Controlled stability during lowering
  - Low set down motions
- Benefits
  - Low transport draft
  - Low accelerations
  - Limited redundant material
  - Dual function for base



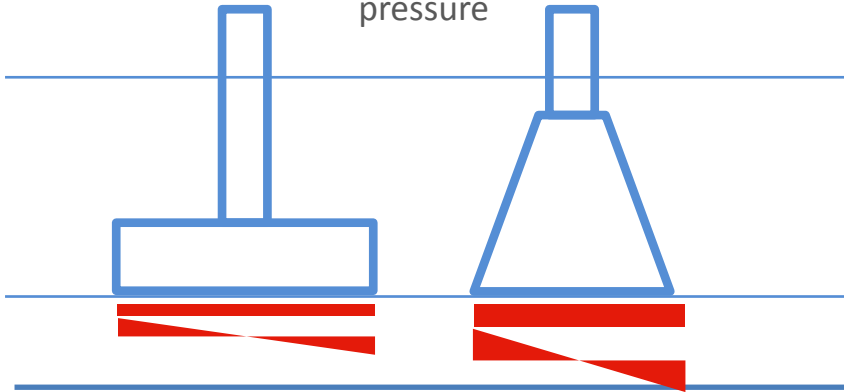
# Foundation Design

➤ Features

- Low wave and current loads due to small profile
- Low average soil pressures due to large foot print
- Possible skirts to increase shear capacity

➤ Benefits

- Reduced settlement loading due to lower average soil pressure



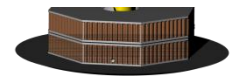
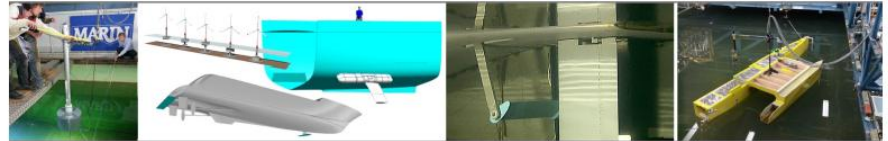
# Modeltests November 2014

MARIN granted a FREE two week basin slot to MonoBaseWind.

A MARIN initiative to support promising innovations of small enterprises



## Free MARIN basin time for MKB concept testing



# Modeltest Scope

Scope of the tests was to validate and investigate the design of the MonoBaseWind foundation in combination with a typical 6 MW wind turbine.

The main objective was

- to validate the computer simulation software
- to show that the operation is feasible

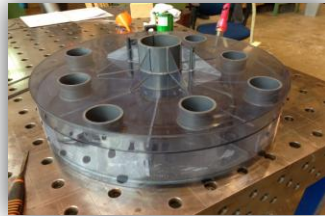
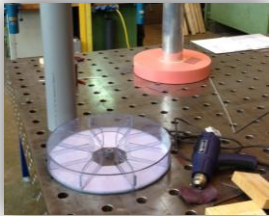
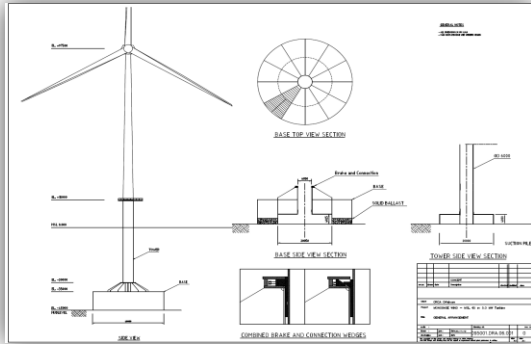
The used characteristics of the test were:

- Waterdepth            45 m
- Wind turbine        6 MW (410 ton at EL+97.500m)
- Extreme North Sea seastate conditions for transport, installation and inplace

**MONOBASEWIND**  
**MARIN**



# Modeltests Model



**MONOBASEWIND**

**MARIN**

Nacelle and blades

Tower

Steel leg

Foot & Base



# Modeltests November 2014

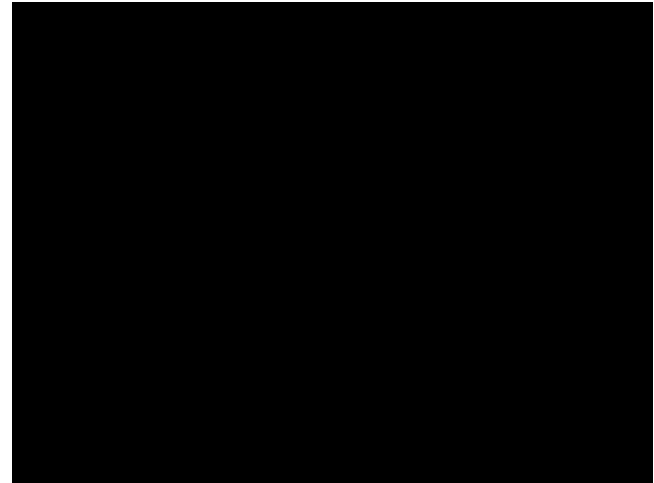
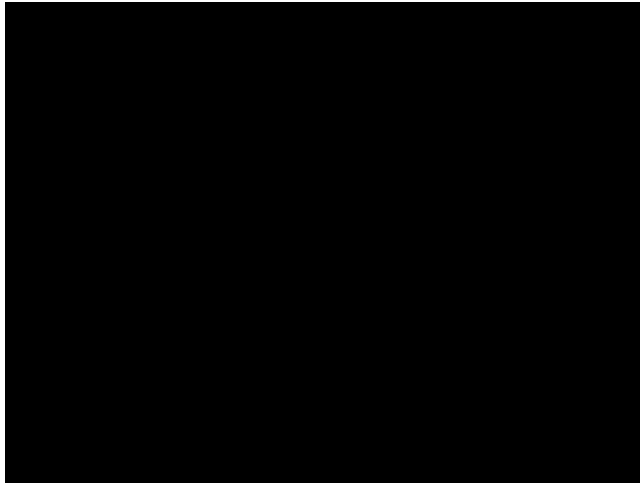
**MONOBASE**WIND



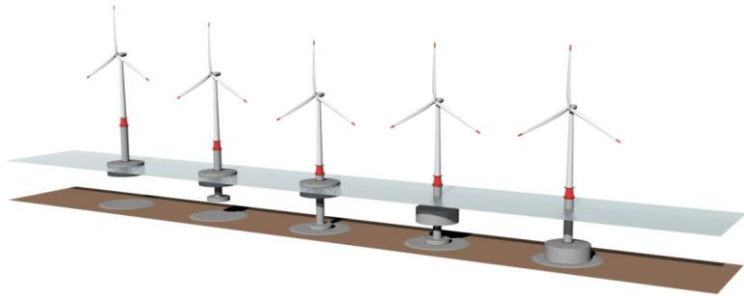
[Transport](#)

[Installation](#)

Click to view on Youtube



# Conclusions



- The available computer simulation models are well able to determine the stability, motions and loads of the Monobasewind concept.
- The ballasting operation to lower and retrieve the Monobasewind has been simulated with the model and found to be feasible and practical
- The Monobasewind concept has shown to be feasible regarding transport, installation and retrieval.

# Index

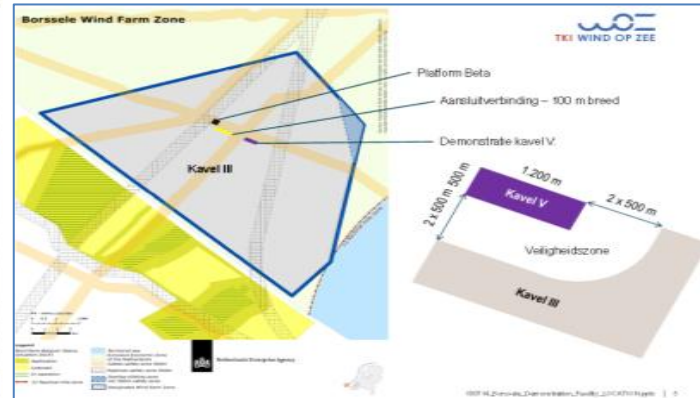
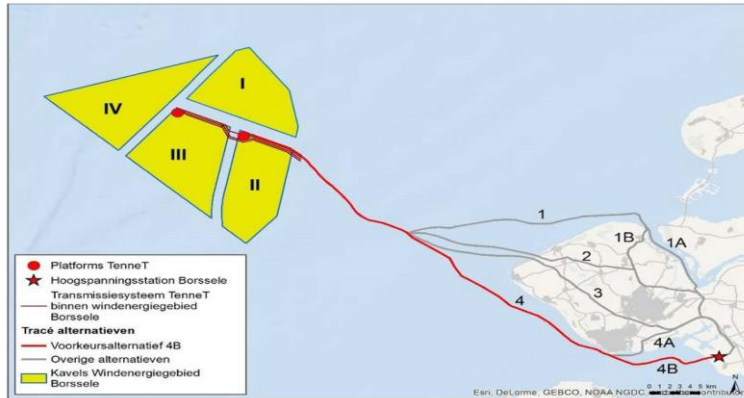
- Introduction
- Company
- Technology
- **Borssele Kavel V Demonstrator project**
- Future
- Closure

**MONOBASEWIND**



# Demonstrator

- To have the Monobase principle accepted by operators and financial institutions, we need to build a Demonstrator
- The Dutch Government is providing this in the Borssele Kavel V, where two Demonstrators have been planned
- The details of this location are available (waterdepth, wind, waves, soil conditions)



# Project

- Installation 2020 (due to transformer platform)
- Two Demonstrators each max 10 MW
- We have performed Basic Design for this specific location
- Together with Partners
  - Royal Haskoning DHV Overall Design
  - MARIN Marine Engineering
  - VHB (Volker Wessels) Fabrication concrete
  - KCI Steel Design
  - Keppel Verolme Dock & Steel fab.
- Received Funding from Ministry of Economic affairs from the Renewable Energy Fund

## MONOBASEWIND



Netherlands Enterprise Agency



# Basis of Design

**MONOBASEWIND**

## ➤ Environmental Data

- Soil Sand
- Seabed level (LAT) 38.0 m
- Elevation of Turbine Flange 17.0 m
- Design Wave height 50 YR Hs=8.83 m
- Extreme wind 50 YR Vw= 33.1 m/s (10 Min mean)
- Extreme current 50 YR Vc = 1.66 m/s (Surface)

## ➤ WTG

- Typical 6 - 8 MW Turbine
- Loads & weights based on inhouse database
- Nacelle weight 450 Ton
- Hub Height EL +107.0

## ➤ T&I

- Weather restricted operation
- Transport Seastate Hs=4.0 m
- Installation sea state Hs=1.5 m
- Wind, current 10YR return



# Basis of Design

### ➤ Codes and Standards

The codes and standards that are applicable for the design of Wind turbines and Wind turbine foundations are listed in appendix A-1. In general the following codes are valid (in ranking order):

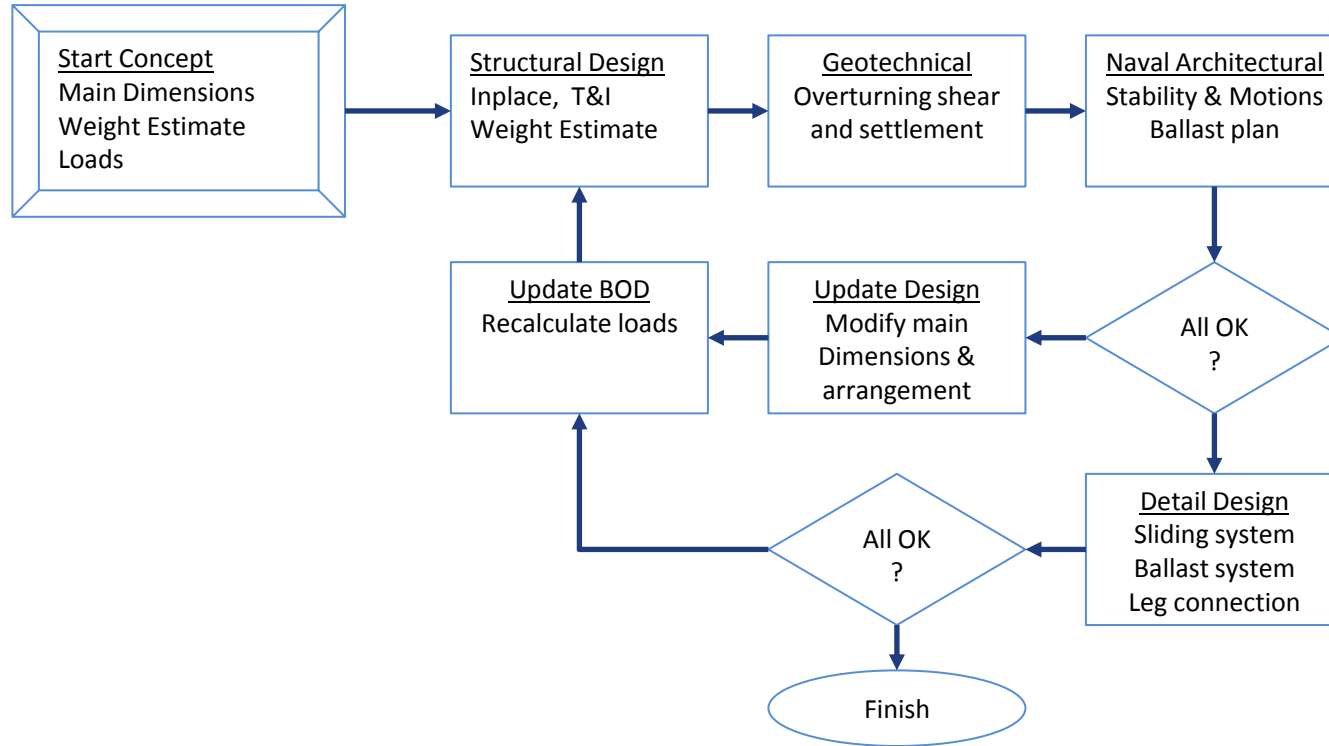
1. DNV codes for design of offshore wind turbine structures:
  - DNVGL-ST-0126 – Support structures for wind turbines
  - DNV-OS-C101 Design of offshore steel structures
  - DNV-OS-C502 Offshore concrete structures
2. Eurocodes
3. International codes and standards for design of wind turbines (IEC)
4. Technical specification such as:
  - Underlying DNV Offshore Standards, Rules and standards for Certification;
  - Underlying DNV Recommended Practices and Classification Notes;
  - Other references.

The calculation of the concrete structure will be carried out according to EN 1992-1-1: Design of Concrete Structures.



# Design Process

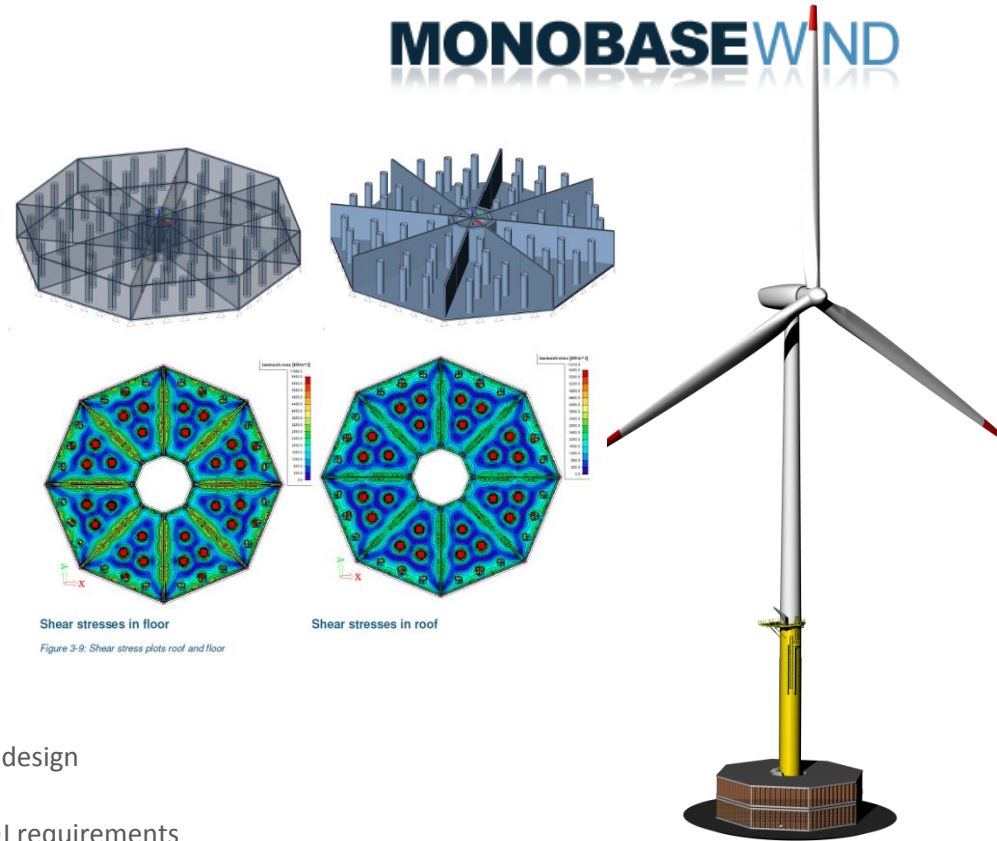
**MONOBASEWIND**





# Structural Design

- Inplace analysis
  - Turbine extreme loads
  - Wave, current and wind extreme loads
  - Global dynamics
- Transport & Installation analysis
  - Pressure loads
  - Slider dynamic loads
  - Leg dynamic loads
- Conclusions
  - Pre-tension bolts to connect leg to Core required
  - Rebar concentration near core is high
  - Walls governed by water pressure loads T&I
  - Heavy weight critical for T&I
  - Light weight critical for GEO
- Recommendation
  - 3D rebar installation design to be utilised in detailed design
  - Steel outer walls to minimise weight
  - Fixed ballast in foot to tune weight to fit GEO and T&I requirements



# Geotechnical Design

- Failure modes for ULS and SLS checked
  - Liquefaction failure of subsoil due to cyclic loading;
  - Rotational shear failure below the foot of the structure;
  - Bearing capacity failure of the subsoil below the foot;
  - Sliding failure of the foot on top of the prepared seabed;
  - Overturning;
  - Gapping (repeatedly loss of contact pressure between foundation and soil due to cyclic loads);
  - Excessive displacement and rotation due to settlements of the subsoil.
- Conclusions
  - Top 2.0 m may be susceptible to liquefaction
  - Sliding resistance questionable for flat soil interface
- Recommendations
  - Dredge 2.0 m top soil
  - Utilise Serrated base to meet sliding resistance requirements

## MONOBASEWIND

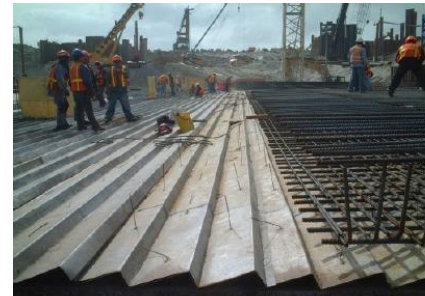
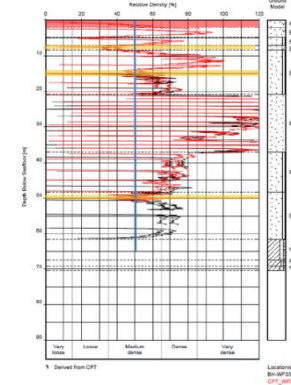
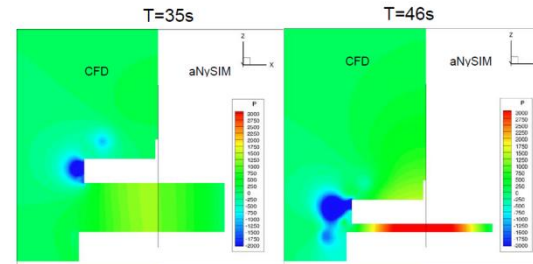
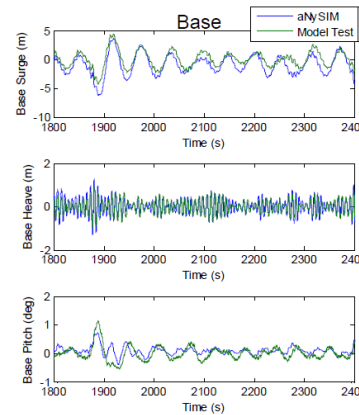


Figure 3-3: Example of a serrated base

# Naval Architectural Design

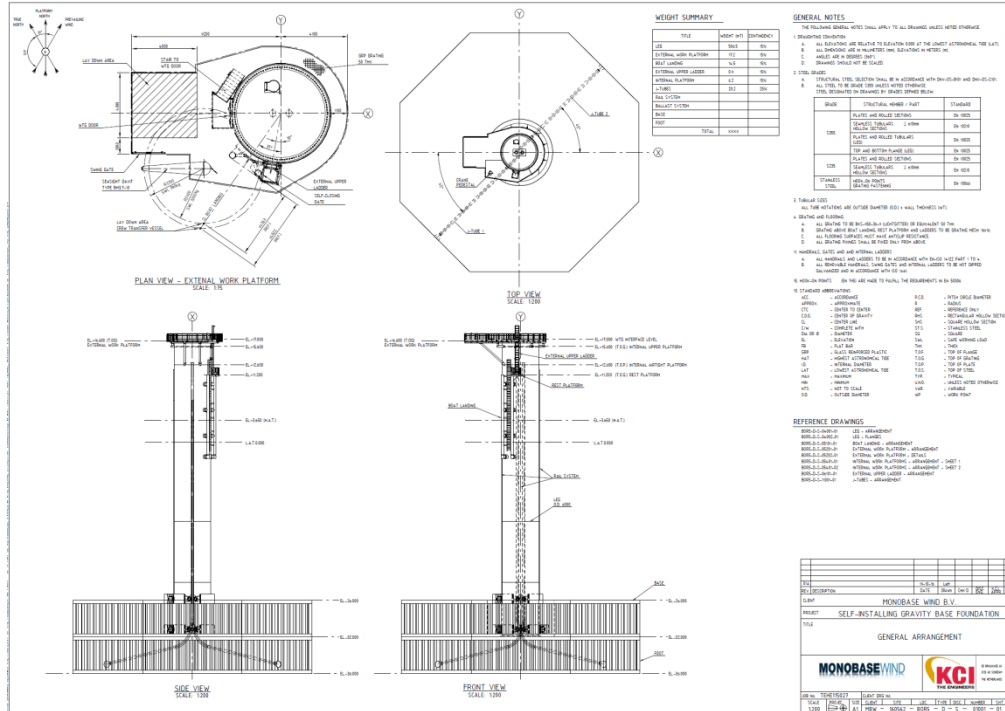
# MONOBASEWIND

- Transport
  - Stability checked GL Noble Denton requirements
  - Draft and width limitation for dock
  - Motion analysis
- Installation
  - Compartment arrangement and Ballast system design
  - Redundancy and reversibility
  - Multibody dynamic motion and load analysis
  - CFD lowering analysis to determine landing speed
- In place
  - Environmental load analysis
- Conclusions
  - Wind overturning most governing for transport
  - Envisaged dock limits payload of the MBW
  - High profile attracts shear wave load
  - Landing speed 0.1 m/s
- Recommendations
  - Keep profile low to limit inplace shear loads
  - Keep wind area low (Control heading of turbine)
  - Use rubber patches for soft landing



# General Arrangement

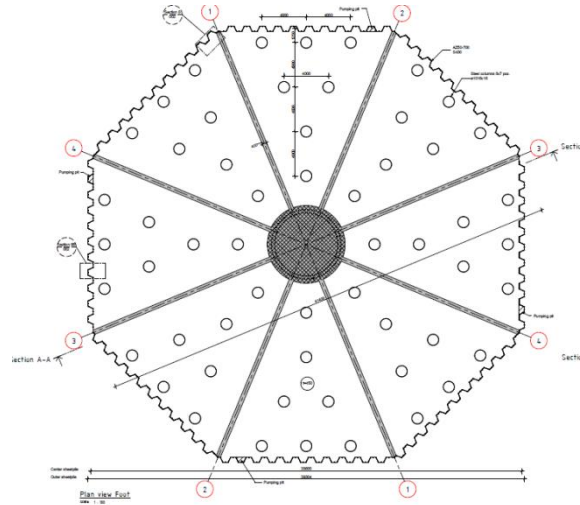
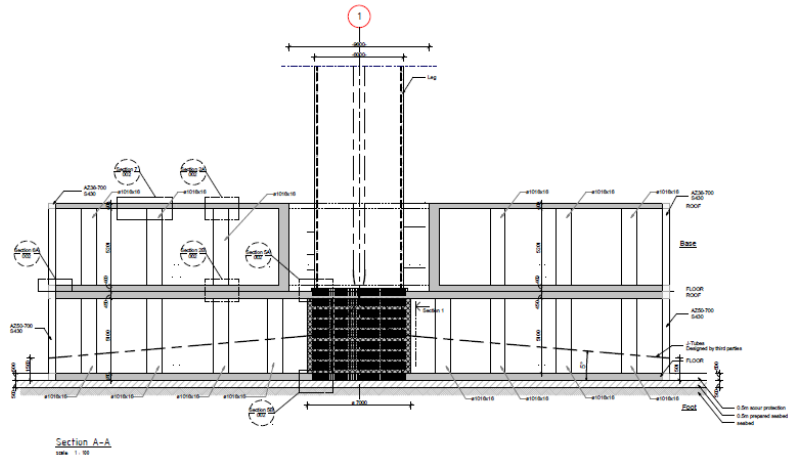
**MONOBASE WIND**



## Demonstrator project Borssele Kavel V

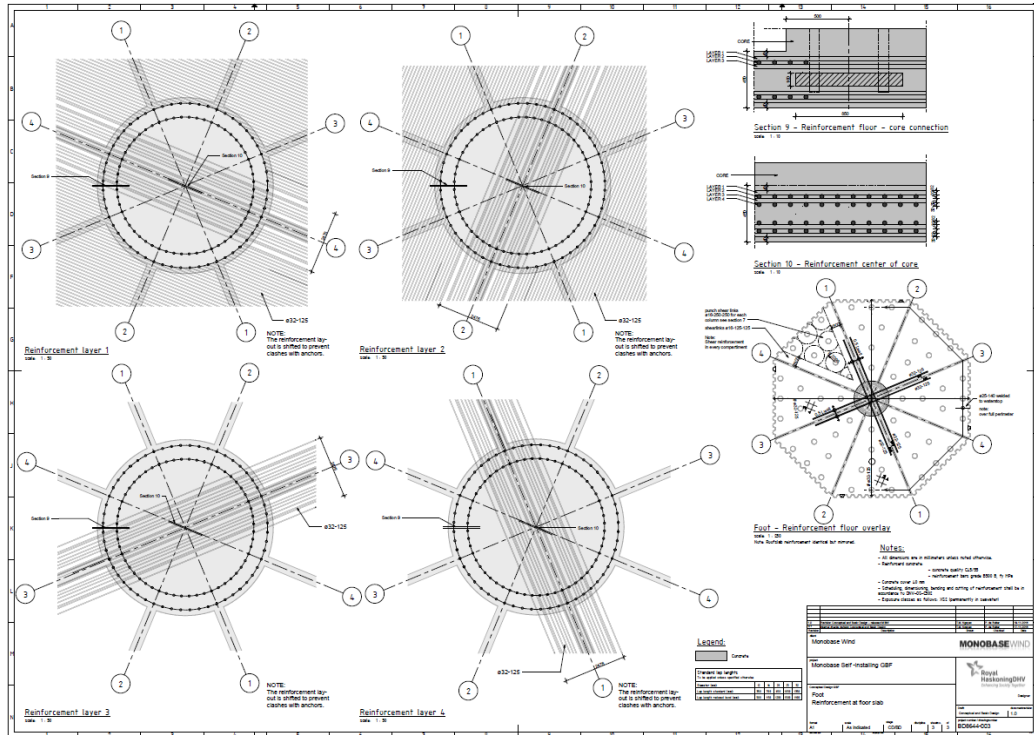
# Concrete Design

# MONOBASEWIND



# Concrete details

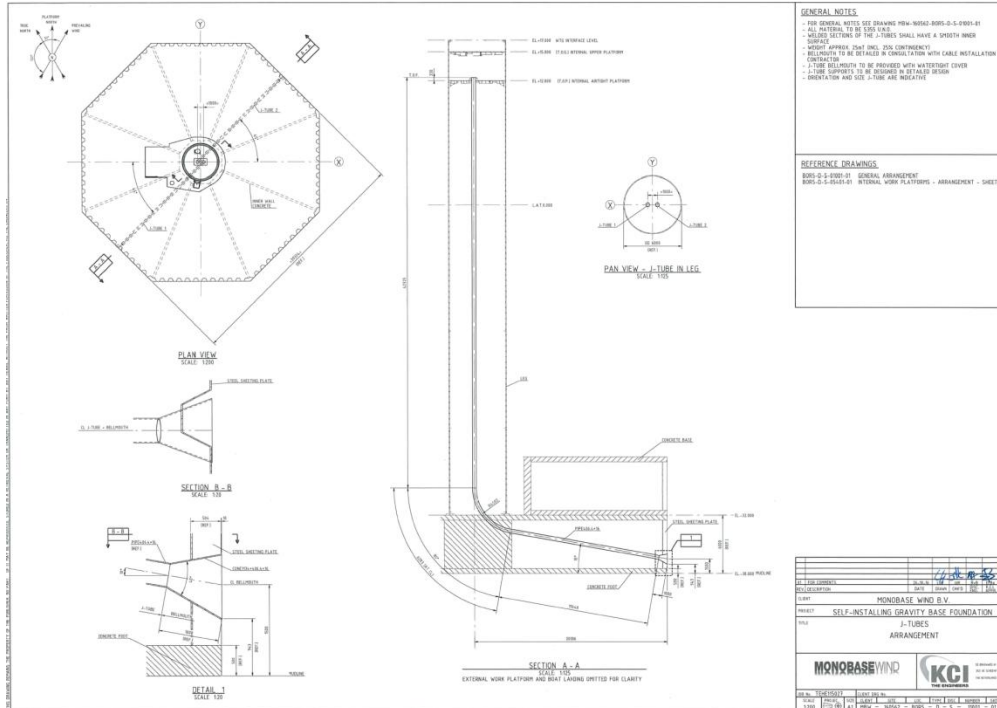
# MONOBASE WIND





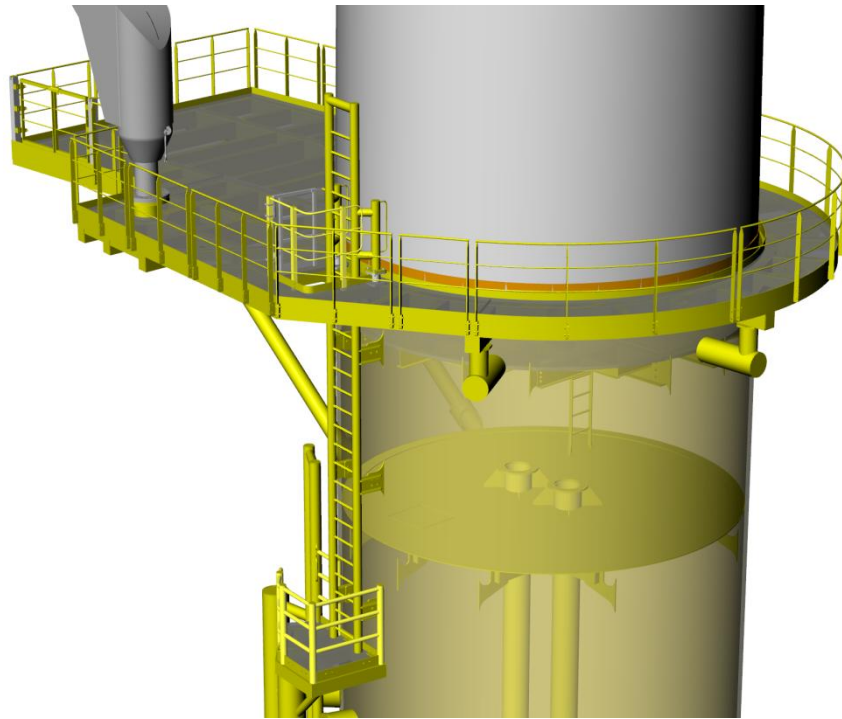


# J-Tube





# J-Tube



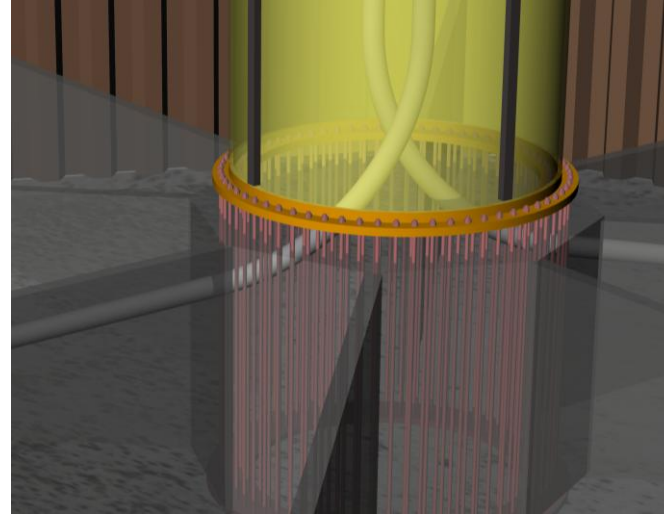
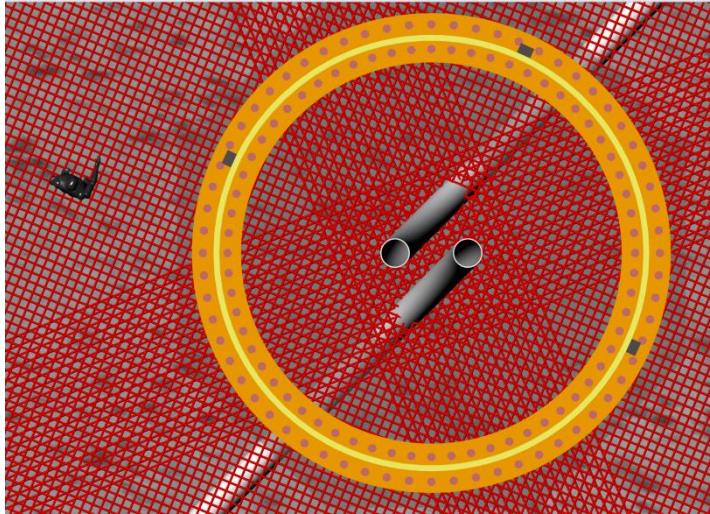
**MONOBASEWIND**



Demonstrator project Borssele Kavel V

# Leg Connection

**MONOBASEWIND**



# Slider System

**MONOBASEWIND**

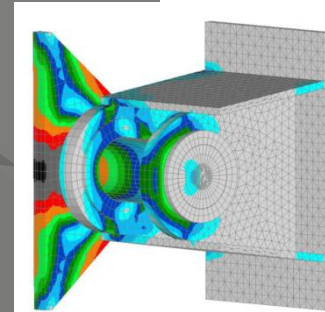
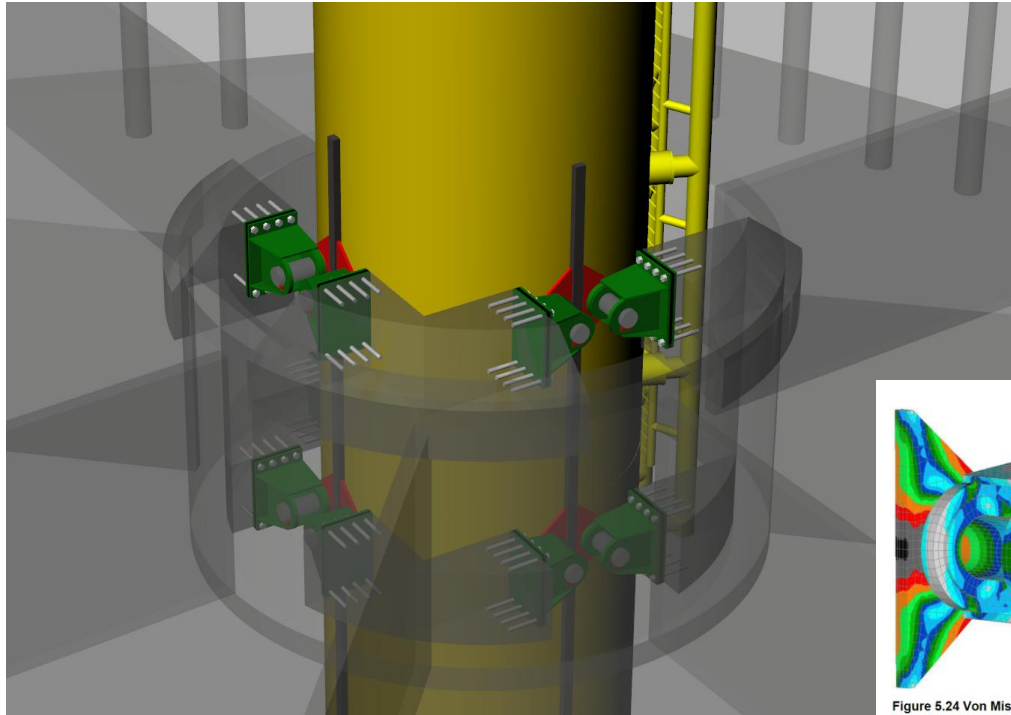
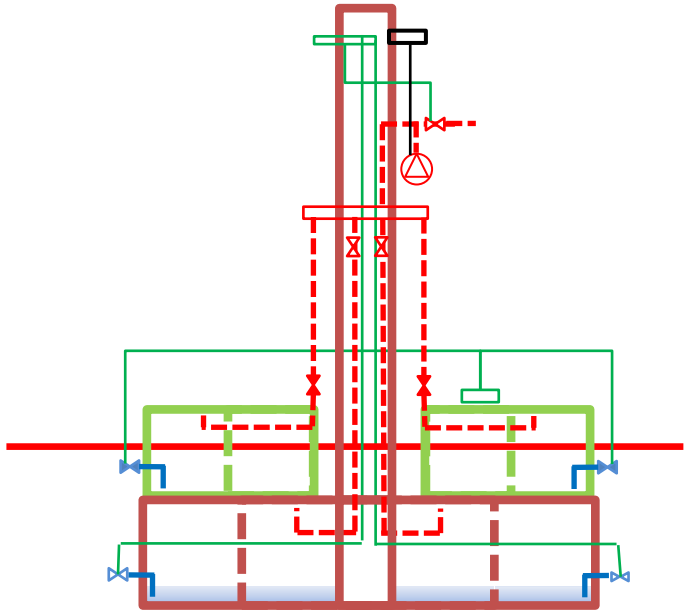


Figure 5.24 Von Mises stresses LC4



# Ballast System



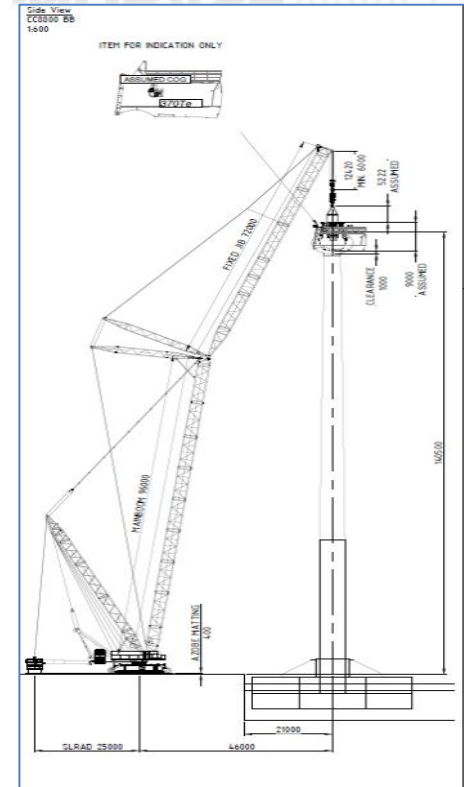
- Power
- Ballast
- Hydraulic
- - - Vent line
- ⌘ ⌘ Spring return Valve
- ⌘ ⌘ ROV Valve
- ⌘ ⌘ Vent Valve
- ⌘ ⌘ Manual Valve

# Construction Plan

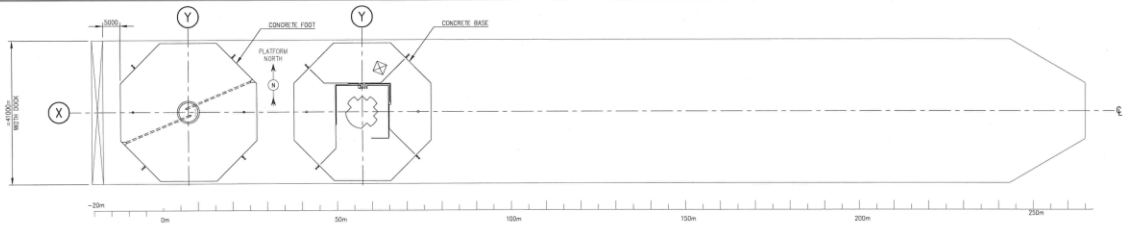
- Construction in Keppel Verolme dock
- Tow out to assembly quay
- Installation of turbine
- Tow to test site
- Commissioning & testing of systems
- Tow out to offshore location



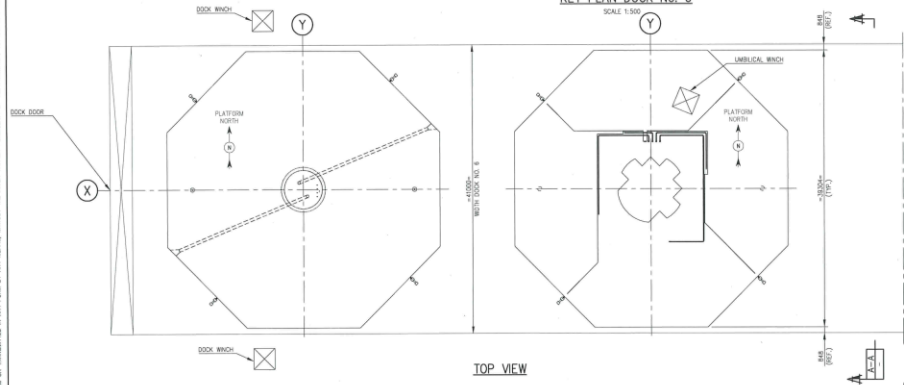
## MONOBASE WIND



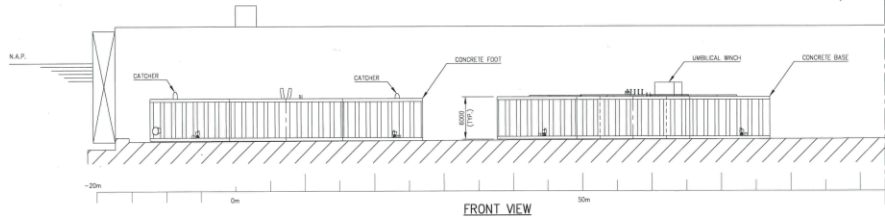
THIS DRAWING REMAINS THE PROPERTY OF THE SUBSIDER. NO PART OF IT MAY BE REPRODUCED, STORED IN A RETRIEVAL SYSTEM OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, WITHOUT THE PRIOR WRITTEN PERMISSION OF THE ENGINEERS B.V.



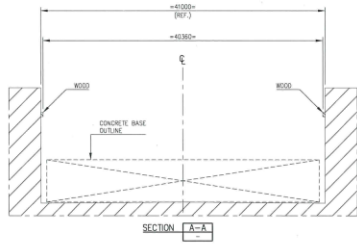
KEY PLAN DOCK No. 6  
SCALE 1:500



TOP VIEW



FRONT VIEW



SECTION A-A

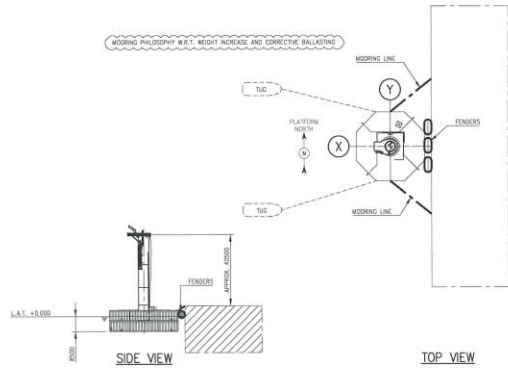
**GENERAL NOTES**  
- FOR GENERAL NOTES SEE DRG MBW-160562-BOR5-D-S-01001-01

**REFERENCE DRAWINGS**  
BOR5-D-S-01001-01 GENERAL ARRANGEMENT

NO.	DATE	BY	CHKD.	APPV.
01	01-13-16			
PROJECT: <b>MONOBASE WIND B.V.</b> <b>SELF-INSTALLING GRAVITY BASE FOUNDATION</b>				
TITLE: <b>STORYBOARD</b> <b>FABRICATION IN DOCK NO. 6 AT VEROLME YARD</b>				
<b>MONOBASE WIND</b>		<b>KCI</b> THE ENGINEERS		
JOB NO. TEBE115027 QUANT. DRG. NO. -				
SCALE: 1:250				
PROJECT: MBW - 160562 - BOR5 - D - S - 08001 - 01				

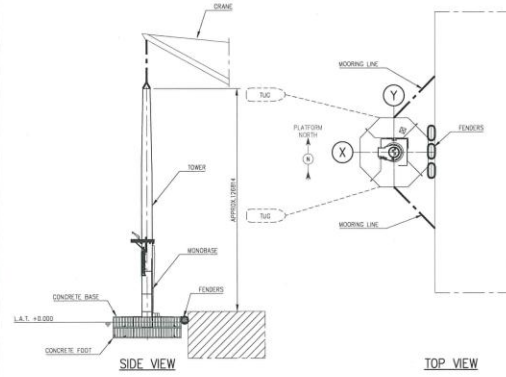
**STEP 1**

- SITUATION PRIOR TO INSTALLING TOWER



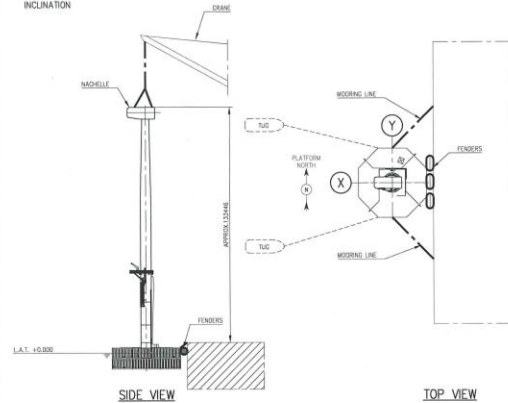
**STEP 2**

- INSTALL TOWER WHILE PUMPING OUT BALLAST FROM THE CONCRETE FOOT TO KEEP THE MONOBASE LEVEL AND WITHIN INCLINATION



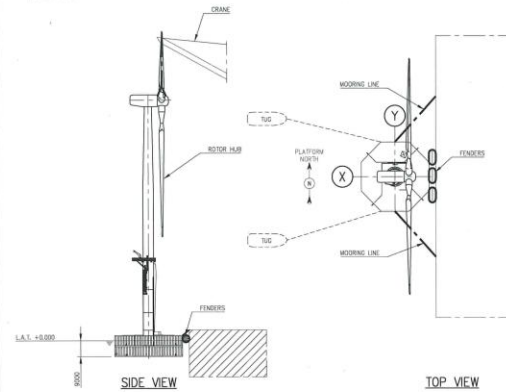
**STEP 3**

- INSTALL NACELLE WHILE PUMPING OUT BALLAST FROM THE CONCRETE FOOT TO KEEP THE MONOBASE LEVEL AND WITHIN INCLINATION



**STEP 4**

- INSTALL ROTOR HUB WHILE PUMPING OUT BALLAST FROM THE CONCRETE FOOT TO KEEP THE MONOBASE LEVEL AND WITHIN INCLINATION



**EQUIPMENT LIST**

ITEM	DESCRIPTION	QTY.
CRANE	INSTALLATION WTG	1
MOORING LINE	KEEPING MONOBASE IN POSITION	2
WFD	-	180
MONITORING EQUIPMENT	-	1
SURVEYING EQUIPMENT	-	180
AIR PUMP	-	180
HYDRAULIC PUMP	-	180
LIFTING ARRANGEMENT SHACKLE	-	180
LIFTING ARRANGEMENT HOOK	-	180
HYDRAULIC PUMP	2 m x 13 m	180
MOORING TUGS	KEEP FLOATING STRUCTURE STABLE DURING INSTALLATION WTG	3

**GENERAL NOTES**

- FOR GENERAL NOTES SEE DRG MBW-160562-BORS-D-S-01001-01

**REFERENCE DRAWINGS**

BORS-D-S-01001-01 GENERAL ARRANGEMENT

FOR COMMENTS	DATE	BY	CHK	APP
REVISIONS	DATE	BY	CHK	APP
CLIENT: MONOBASE WIND B.V.				
PROJECT: SELF-INSTALLING GRAVITY BASE FOUNDATION				
TITLE: STORYBOARD INSTALL WTG TOWER AND NACELLE				

**MONOBASE WIND** **KCI THE ENGINEERS**

DE BRUNSWICK 10  
1016 AB SCHIEDAM  
THE NETHERLANDS

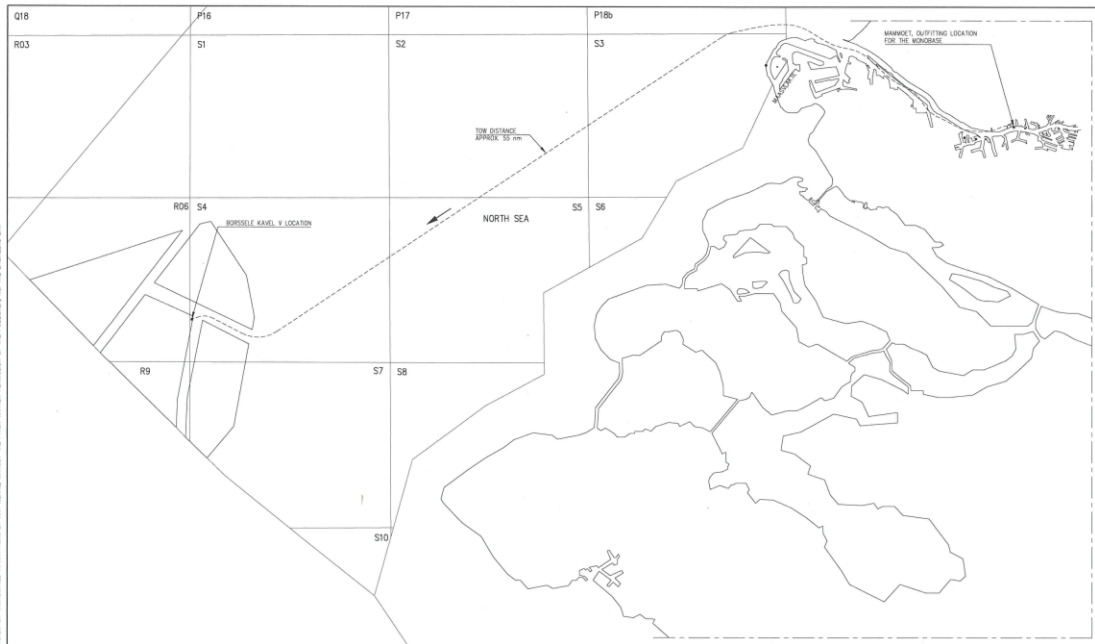
DWG No. TEHE115027	CLIENT No. -
SCALE: 1:1000	DATE: 01-12-18
PROJECT: MBW - 160562 - BORS - D - S - 08018 - 01	REV: 01



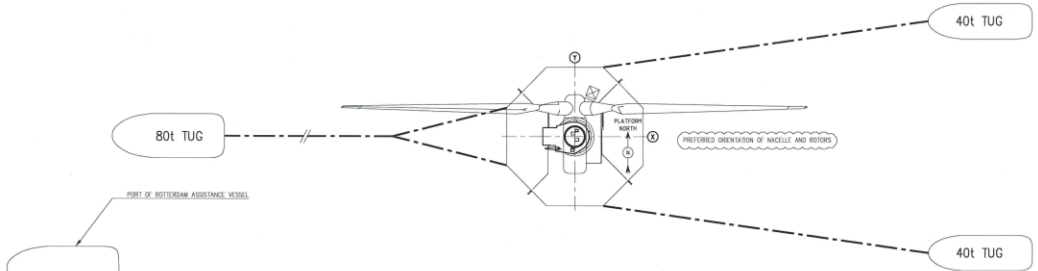
THIS DRAWING REMAINS THE PROPERTY OF THE PUBLISHER, NO PART OF IT MAY BE REPRODUCED, STORED IN A RETRIEVAL SYSTEM OR TRANSMITTED IN ANY FORM BY ANY MEANS WITHOUT THE PRIOR WRITTEN PERMISSION OF THE PUBLISHER, KCI THE ENGINEERS B.V.



THIS DRAWING REMAINS THE PROPERTY OF THE PUBLISHER. NO PART OF IT MAY BE REPRODUCED, STORED IN A RETRIEVAL SYSTEM OR TRANSMITTED IN ANY FORM BY ANY MEANS, WITHOUT THE PRIOR WRITTEN PERMISSION OF THE PUBLISHER, ICD THE ENGINEERS B.V.



**KEYPLAN PORT OF ROTTERDAM & ROUTE TO BORSESSE KAVEL 5**  
NOT TO SCALE



**TOWING CONFIGURATION**

**EQUIPMENT LIST**

ITEM	DESCRIPTION	QTY.
MAIN TOWING BRIGOLE	NEW USED IN PREVIOUS STEPS	-
AUXILIARY TOWING LINE	(AS USED IN PREVIOUS STEPS)	-
80T TUG	-	1
40T TUG	-	2

**GENERAL NOTES**

- FOR GENERAL NOTES SEE DRG MBW-160562-BORS-D-S-01001-01
- FINAL TOW ROUTE MUST BE DETERMINED BY TOWING COMPANY

**REFERENCE DRAWINGS**

BORS-D-S-01001-01 GENERAL ARRANGEMENT

DATE	01-10-20	SCALE	1:500	DESIGN	AK	CHECK	AK
REV./DESCRIPTION	DATE	BY	CHKD	APPD	APPR	APPR	APPR

CLIENT: **MONOBASE WIND B.V.**  
 PROJECT: **SELF-INSTALLING GRAVITY BASE FOUNDATION**  
 TITLE: **STORYBOARD  
TOW TO BORSESSE KAVEL V LOCATION**

**MONOBASE WIND** **KCI THE ENGINEERS**

ICD ENGINEERS BV  
 5106 MS SCHIEDAM  
 3016 CA ROTTERDAM  
 THE NETHERLANDS

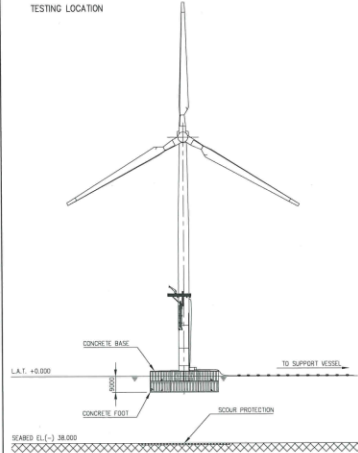
DRG No. **TEHE115027** CLIENT DRG No. --  
 SCALE: ARCH: A1 CLIENT: -- SIZE: -- LOG: -- FROM: 1:500 NUMBER: 1 SHEET: 1 OF 1  
 1:500 A1 MBW - 160562 - BORS - D - S - 08020 - 01 01



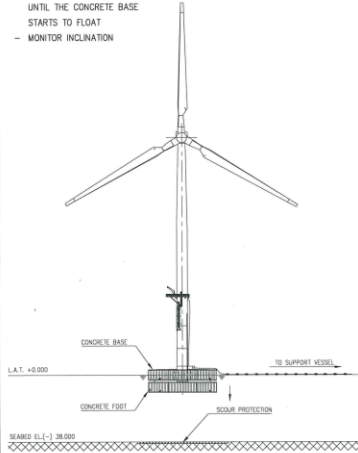


**STEP 1**

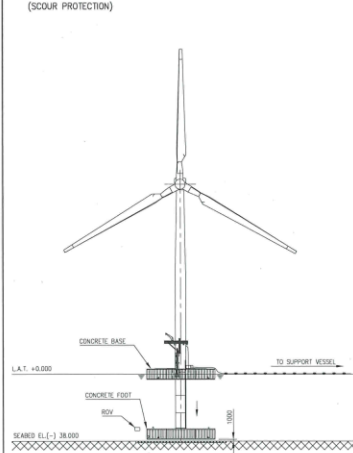
- POSITION THE MONOBASE AT THE TESTING LOCATION

**STEP 2**

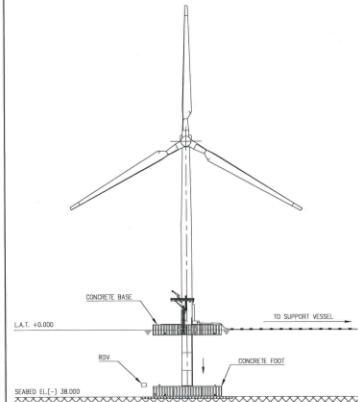
- BALLAST THE CONCRETE FOOT UNTIL THE CONCRETE BASE STARTS TO FLOAT
- MONITOR INCLINATION

**STEP 3**

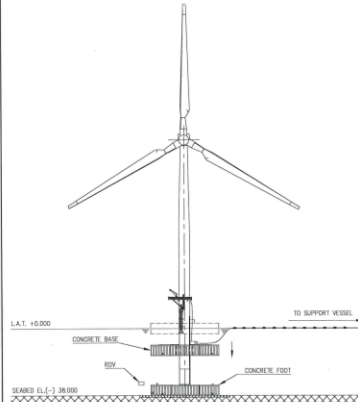
- BALLAST THE CONCRETE FOOT UNTIL THE FOOT IS 1 m ABOVE SEALED (SCOUR PROTECTION)

**STEP 4**

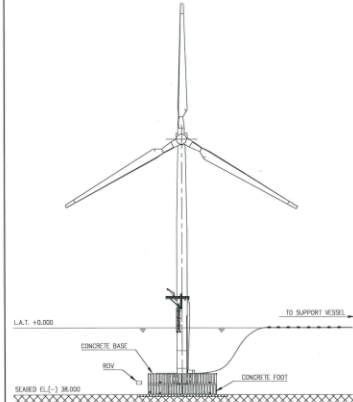
- FINE ADJUSTMENT OF INCLINATION
- LOWER THE MONOBASE CONCRETE FOOT ONTO THE SEALED (SCOUR PROTECTION)

**STEP 5**

- BALLAST THE CONCRETE FOOT

**STEP 6**

- SITUATION AFTER THE CONCRETE BASE IS COMPLETELY FILLED

**EQUIPMENT LIST**

ITEM	DESCRIPTION	QTY
SUPPORT VESSEL	(AS USED IN PREVIOUS STEPS)	1
BOV		1

**GENERAL NOTES**

- FOR GENERAL NOTES SEE DRG MBW-160562-BORS-D-S-01001-01
- SURVEY TO BE PERFORMED PRIOR TO INSTALLATION

**REFERENCE DRAWINGS**

BORS-D-S-01001-01 GENERAL ARRANGEMENT

REV	DESCRIPTION	DATE	DRWN	CHKD	BY	APPV	DATE
01	FOR COMMENTS	01-12-16					
CLIENT: <b>MONOBASE WIND B.V.</b> PROJECT: <b>SELF-INSTALLING GRAVITY BASE FOUNDATION</b> TITLE: <b>STORYBOARD INSTALL COMPLETE MONOBASE</b>							
<b>MONOBASE WIND</b>		<b>KCI</b> THE ENGINEERS		IS ENDORSED BY STDS 44 BOEKWEG THE HETHEERLAND			
JOB No.	TEBET15027	CLIENT DRG No.					
SCALE	A1	FOOT	1	CENT	1	SIZE	1
LOC.	1		TYPE	1		NUMBER	1
1:1000	A1		MBW - 160562 - BORS - D - S -	DR022		- 01	01

# BASEWIND

# Results

- Concrete structure feasible, based on standard details and materials
- Steel structure leg similar to Monopile
- Leg to Foot connection feasible
- Geotechnical design feasible
- Overall behaviour is good
- Major systems designed and simplified
- Design loops converged with ease
- Structure is lighter and less complex than anticipated at start of design.
- Costs of the foundation also went down

**MONOBASEWIND**



# Cost Estimate

- Construction in Dock Budget quote from Keppel Verolme
- Concrete work Based on Cost Estimate VHB
- Steel work based on Offshore rates
- Assembly Budget quote from Lift contractor
- Site preparation budget quote from dredger
- Cost including installation of WTG

	Demonstrator
PM PE	2.5 M€
Fabrication	7.0 M€
Assembly	1.5 M€
T&I	1.0 M€
Total for one	12 – 14 M€

**MONOBASEWIND**



# Index

- Introduction
- Company
- Technology
- Borssele Kavel V Demonstrator project
- **Future**
- Closure

**MONOBASEWIND**

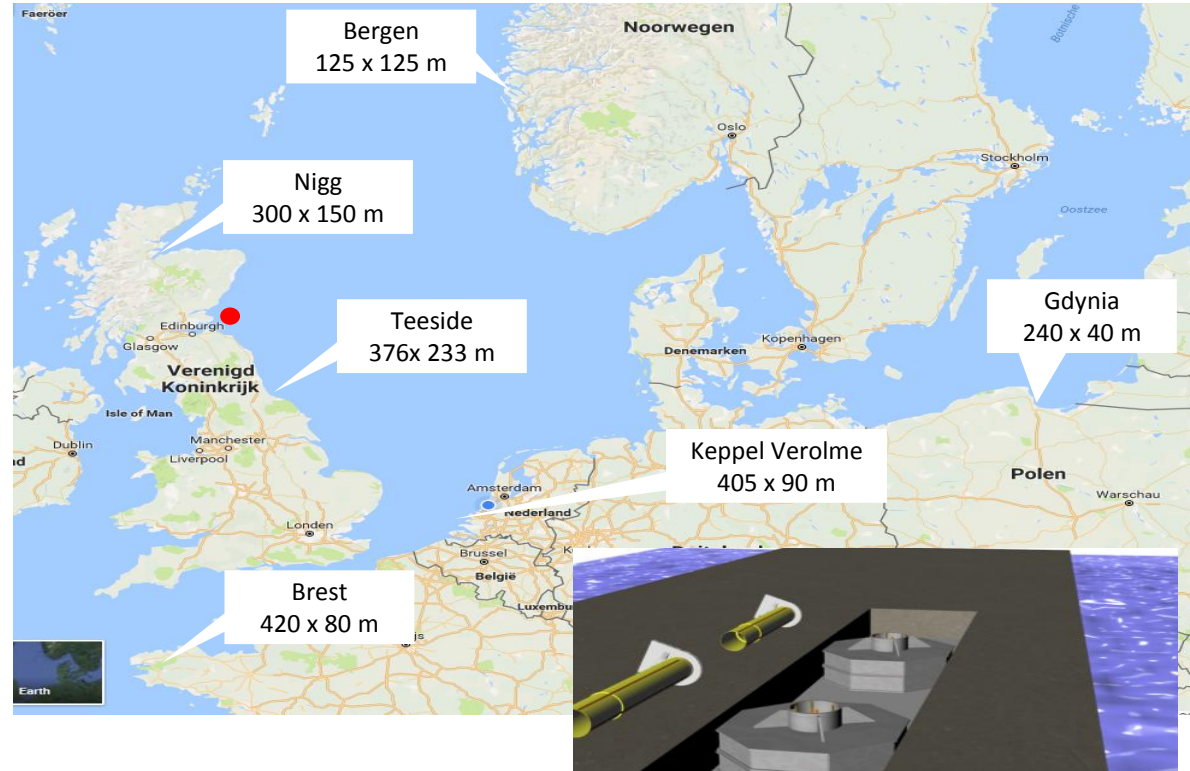


# Fabrication in Dock

Using existing docks

- Required dock width 40 m
- Total production time 14 weeks
- Production volumes per 14 weeks

Nigg	18
Teeside	28
Brest	16
Keppel	14
Gdynia	6
Bergen	9



# Logistic Plan

**MONOBASEWIND**

- As an example we investigated the Inch Cape project:
  - 72 wind turbines
  - 53 m waterdepth, rocky soil
  - 2 year installation window
- Logistic plan:
  - Construction in 2 docks: Nigg and Keppel Verolme
  - 32 GBF built in winter period (20 weeks construction time)
  - Appr. 160,000 ton materials in 6 months – similar to tunnel segments
  - 3rd dock needed for remaining 8 GBF's
  - Assembly site for turbine installation, commissioning and temporary storage
  - Installation in May-June (2 seasons)



Key factor for offshore wind is the Logistic Plan

# Cost Estimate



- Construction in Dock Budget quote from Keppel Verolme
- Concrete work Based on Cost Estimate VHB
- Steel work based on Offshore rates
- Assembly Budget quote from Lift contractor
- Site preparation budget quote from dredger
- Cost including installation of WTG

	Demonstrator	Full Project
PM PE	2.5 M€	0.5 M€
Fabrication	7.0 M€	5.0 M€
Assembly	1.5 M€	0.5 M€
T&I	1.0 M€	0.5 M€
Total for one	12 – 14 M€	6 - 8 M€



# Index

- Introduction
- Company
- Technology
- Borssele Kavel V Demonstrator project
- Future
- **Closure**

**MONOBASEWIND**





# Way Forward

- Continue to detail cost engineering for full projects
- Team up with consortium to run two Borselle Demonstrator projects
- Get firm prices for construction, assembly and installation
- Organise Finance and subsidy for the Demonstrators
  
- Prepare to be ready to supply one complete foundation for Borselle Kavel V

**MONOBASEWIND**

**Royal  
HaskoningDHV**  
Enhancing Society Together

**KCI**  
THE ENGINEERS



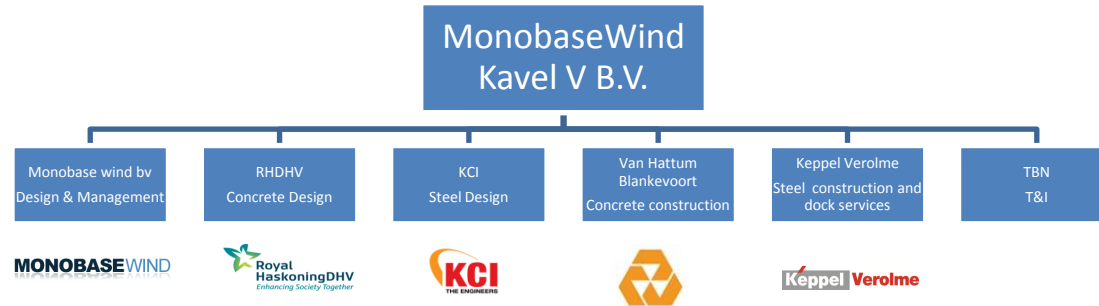
**Keppel Verolme**

**MONOBASEWIND**



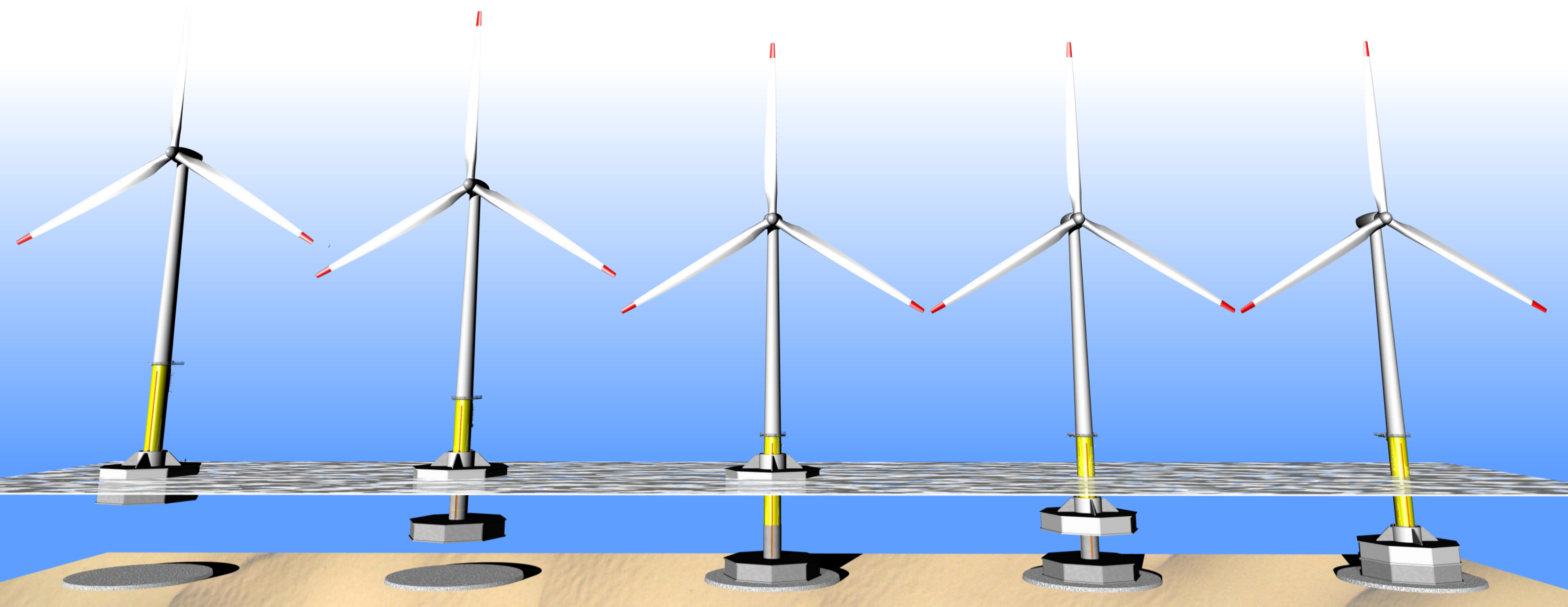
# Foundation Construction

**MONOBASEWIND**



# MONOBASEWIND

## SELF-INSTALLING GRAVITY BASE FOR XXL WIND TURBINES



TRANSPORT

LOWER FOOT

SET-DOWN FOOT

LOWER BASE

INPLACE

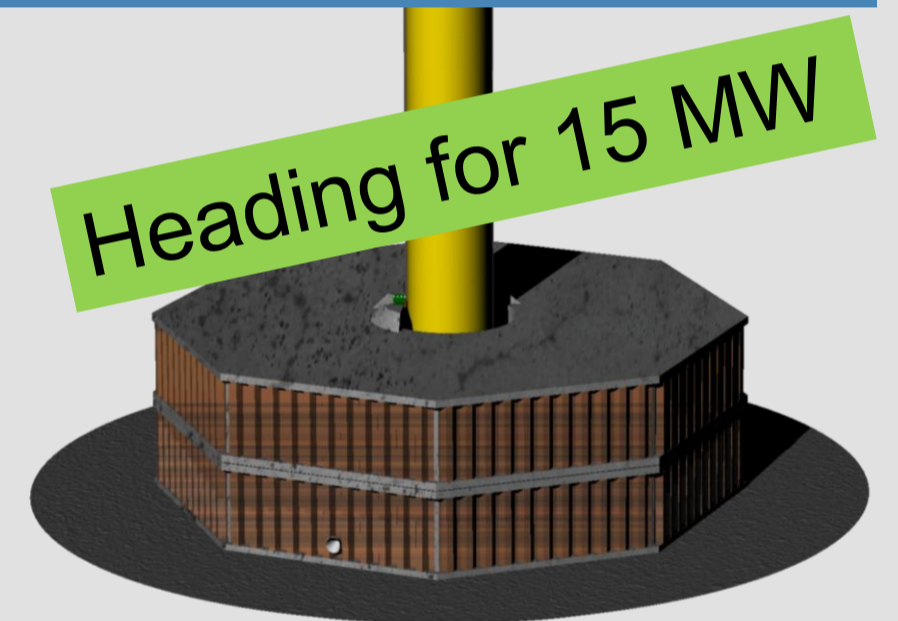
### WE OFFER

- Complete foundation for the Borssele Kavel V project, including
- Design
  - Construction
  - Testing of Monobase
  - Inshore installation of nacelle
  - Seabed preparations, Transport & Installation

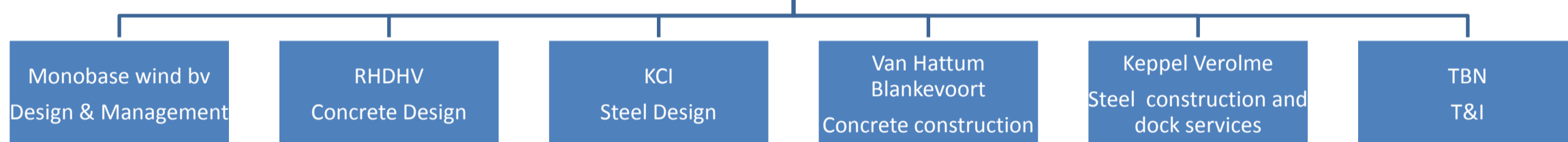
### WE NEED

- Partners in Monobase Kavel 5 B.V.  
 Financing  
 Transport & installation Services

### FUTURE



### Monobase Kavel 5 B.V.



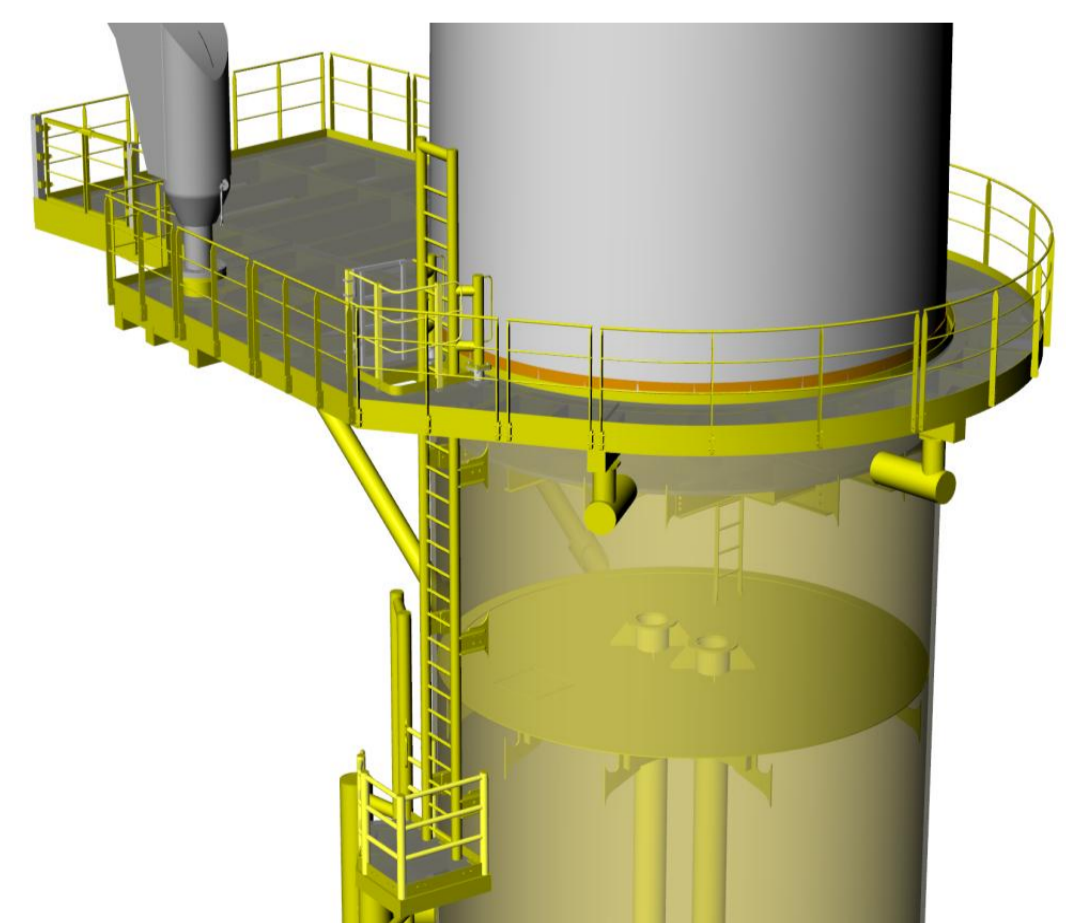
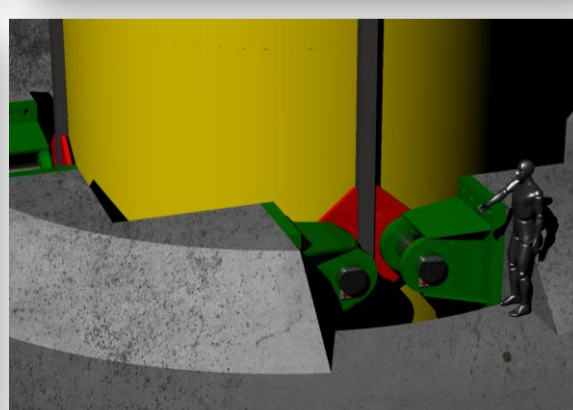
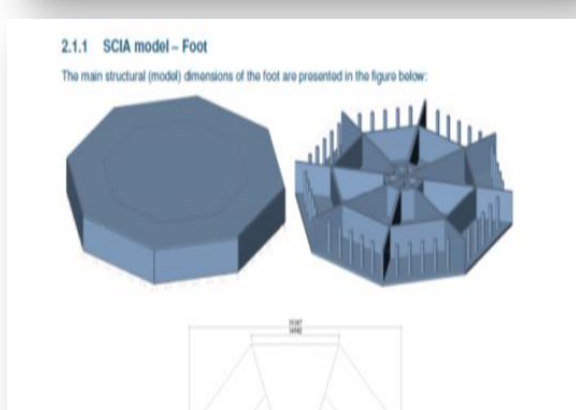
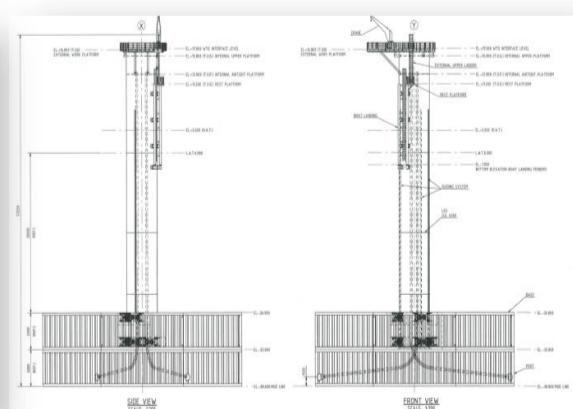
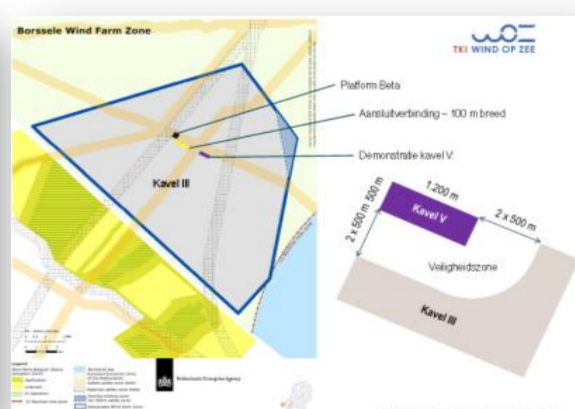
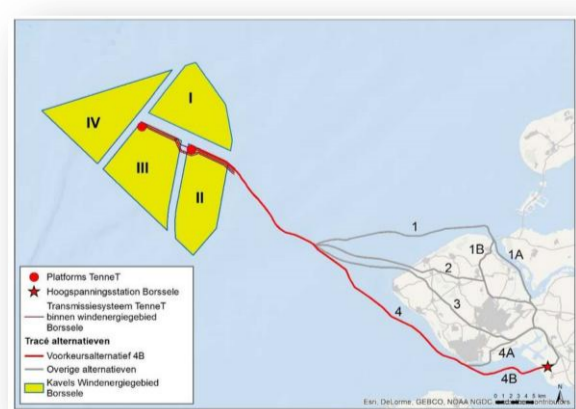
MONOBASEWIND

Royal HaskoningDHV  
 Enhancing Society Together

KCI  
 THE ENGINEERS

Volker InfraDesign

Keppel Verolme



Visit us at [www.monobasewind.com](http://www.monobasewind.com)

Geert-Jan Hoek		CEO		gho@monobaswind.com
Jan Groot		Project Director		jgr@monobaswind.com
Herm Bussemaker		Technical Director		hbu@monobaswind.com
Bert van Dijk		Business Development		bvd@monobaswind.com