

Demonstratie betonnen fundering voor grote windmolens op zee



Inhoudsopgave

Openbaar eindrapport, 15 april 2019

1. Uitgangspunten	3
1.1 Samenvatting	3
1.2 Inleiding	5
1.3 Doelstellingen	6
2. Resultaten	7
2.1 Resultaten	7
2.2 Knelpunten	9
2.3 Perspectieven	10
3. Bijdragen doelstellingen regeling	10
3.1 Duurzame energie	10
3.2 Versterken kennispositie	11
4. Spin off	12
5. Openbare publicaties	12

Voor meer informatie: Henk Noordbruis: 06-51230484

Dit rapport is kosteloos op te vragen bij Henk Noordbruis.

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

1. Uitgangspunten

1.1 Samenvatting

Met project DemoWind1 hebben we de haalbaarheid aangetoond van een betonnen windmolenfundering op basis van gewichtsconstructie (GBF), die stabiel en rechtop drijvend naar een locatiebestemming op zee te brengen is. Deze fundering is toepasbaar op de grootste windmolens op zee en is geschikt voor locaties met een waterdiepte van 30-60 meter. Transport is uit te voeren met sleepboten en heien is niet nodig, omdat de fundering op de geprepareerde zeebodem rust. Daardoor verstoren we het zeeleven tijdens transport en installatie minimaal. Na een levensduur van 25 jaar is de fundering volledig te ontmantelen en laten we niets achter in zee. Dit maakt hergebruik van een deel van de materialen mogelijk.



Door het oorspronkelijke conceptontwerp aan te passen zijn we in staat geweest de fundering in een ondiep dok te bouwen om later ballastmateriaal toe te voegen voor de drijfstabiliteit. Doordat we in het Engelse Blyth te maken hadden met 5 locaties en 5 verschillende grondslagen, bestonden er lange tijd onzekerheden over de ondergrond en dus de stabiliteit daarvan. Ook moesten we op 5 verschillende locaties berekeningen uitvoeren. Om dit proces efficiënt te laten verlopen hebben we hier ontwerpprotocollen voor ontwikkeld. Het is ons gelukt om ruim binnen alle toleranties en doorlooptijden het gravel-bed neer te leggen waarop de 5 GBF's geplaatst zijn. Om interactie van de belasting door golven en wind met de ondergrond te berekenen is gedurende het project een geïntegreerde belastinganalyse uitgewerkt. Deze iteratie is 2 keer en binnen de tijd uitgevoerd. Van de certificeringsorganisatie DNV GL ontvingen we uiteindelijk het benodigde productcertificaat.

En zo heeft DemoWind1 in drie jaar tijd alle processen van monitoring, goedkeuring en certificering doorlopen. Van ontwerp, bouw, zee-bed-voorbereiding, tewaterlating en transport tot en met afzinken, installeren, overdracht en operationele werking.



Samenvattend zijn dit de belangrijkste feiten en innovaties:

- Pre-commerciële pilot met 5 grote windturbines van 8,3 megawatt.
- Innovatieve bekabeling van 66 kV in plaats van 33 kV.
- Primeur in toepassing zelf-drijvende betonnen fundering voor windmolens op zee.
- Minimale verstoring van het zeeleven doordat heien niet nodig is
- Het stabiele zelf-drijvend vermogen van de fundering (zonder hulpmaterieel) is essentieel en vernieuwend.
- Lager gewicht, minder diepgang en verbeterde meta-centrische hoogte (hybride constructie, beton/staal).
- Certificering ontvangen van DNV GL.
- De constructie is ook geschikt voor dieper water (30-60 meter).
- Lagere hydrodynamische belastingen ten opzichte van volledig betonnen GBF als gevolg van beperkte diameter van de schacht.
- Kortere bouwtijd ten opzichte van volledig betonnen GBF (parallele constructie met caisson).
- Er is geen kostbaar en groot offshore-materieel nodig.
- Gebruikelijke verbinding van secundair staal en WTG-toren, geen overgang-stuk.
- We creëren veel banen bij de bouw van onze fundering.
- Na 25 jaar is de constructie volledig te ontmantelen door het water en zand uit de constructie te verwijderen en deze weer te laten drijven. Er blijft niets achter in zee.



1.2 Inleiding

Grotere windturbines die meer energie opleveren zijn de toekomst. De geheide traditionele stalen mono-paal is gevoelig voor harde grondcondities en of keien in de ondergrond en kent limieten als het gaat om waterdiepte. Voor grotere waterdiepte gaat men nu over naar jacket-constructie. Ook gaat paalheien ten koste van het zeeleven. En daar wilden we als BAM iets mee doen. Zo ontstond het idee voor een betonnen voetfundering (BAM GBF) voor grote windmolens op zee. Een belangrijk voordeel van de GBF is, dat heien niet nodig is en de waterdiepte van een mono-paal met 25 meter wordt opgerekt. De fundering bouwen we op land en transporteren we rechtop drijvend met gangbare algemeen beschikbare sleepboten naar de plek van bestemming. Afzinken gebeurt door er water in te laten lopen en de voet daarna vol zand te pompen. Prijstechnisch is GBF een aantrekkelijk alternatief, vooral in diepere wateren met hardere grondgesteldheid. Na einde levensduur (25 jaar) is de constructie makkelijk te verwijderen. Door water en zand uit de fundering te pompen gaat deze weer drijven. We laten niets achter en benutten delen van de constructie voor hergebruik.

Van 2012 tot 2015 heeft BAM hiervoor een concept ontwikkeld, berekeningen gedaan en dit verder bestudeerd en uitgewerkt. Op papier klopten alle berekeningen, we geloofden er in en publiceerden er over, maar we wilden in de praktijk bewijzen dat het ook echt werkte. Daarom was het heel belangrijk om een pilot te kunnen doen. Mede dankzij subsidie van RVO hebben we samen met opdrachtgever en stroomexploitant EDF tussen januari 2016 en december 2018 in Engeland bewezen dat onze theorie werkt en dat deze fundering de grootste windmolens van 8,3MW kan dragen.



1.3 Doelstellingen

Hoofddoelstelling

Haarbaarheid aantonen

De haalbaarheid aantonen van een fundering op basis van gewichtsconstructie (GBF), die stabiel drijvend naar de locatie te brengen is. Demonstren van alle activiteiten van ontwerp, acceptatie, bouw, zee-bed-voorbereiding, tewaterlating en transport tot en met afzinken, installeren, overdracht en operationele werking.

Nevendoeelstellingen

Kosteneffectief alternatief

Aantonen dat de zelf drijvende GBF een alternatief is voor de standaard fundering van windmolens op zee en dat deze zich gedraagt als bedacht. En dat deze bovendien kosteneffectief is.

Risico's en inefficiënties minimaliseren

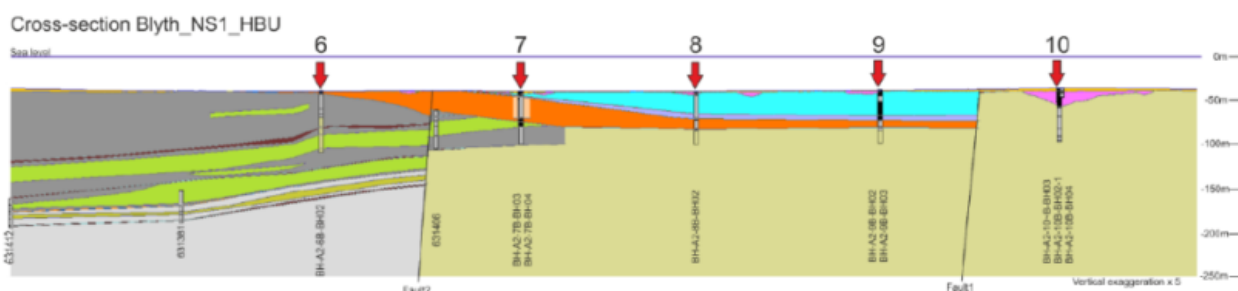
Risico's en inefficiënties onder verschillende weersomstandigheden minimaliseren door simulaties en (model)testen uit te voeren gedurende het installatieproces.

Vermoeiingsbelasting in kaart brengen

De response van de constructie beschouwen als het gaat om extreme en vermoeiingsbelasting op de GBF. En hierbij de metingen uit de praktijk vergelijken met de theoretische waarden.

Randvoorwaarden aanscherpen

Het effect van cyclische belasting op het zee-bed bepalen door (ongelijke) zettingen te meten en deze te gebruiken voor het valideren/kalibreren van de grondmodellen.



Technische volwassenheid en innovatie verder brengen

Het zelf drijvende GBF-concept van TRL6 (Technology Readiness Level) naar TRL7 (prototype demonstratie in operationele omgeving) brengen richting technische volwassenheid en acceptatie van de oplossing.

Technologische gereedheidsniveaus (TRL)

- TRL 1 - basisbeginselen waargenomen
- TRL 2 - geformuleerd technologieconcept
- TRL 3 - experimenteel proof-of-concept
- TRL 4 - technologie gevalideerd in laboratorium
- TRL 5 - technologie gevalideerd in relevante omgeving
- TRL 6 - technologie aangetoond in relevante omgeving
- TRL 7 - demonstratie van prototypen van het systeem in de operationele omgeving
- TRL 8 - systeem compleet en gekwalificeerd
- TRL 9 - feitelijk systeem bewezen in operationele omgeving

Optimalisaties effectueren

De bouw- en installatiemethodologie analyseren om deze via *lessons learned* te optimaliseren en bij schaalvergroting in de toekomst te effectueren. Zodat de windsector als geheel hiervan kan profiteren.

Vertrouwen creëren

Vertrouwen in het product creëren bij investeerders in windtechnologie op zee.

2. Resultaten

2.1 Resultaten

GBF ontwikkeld en aangetoond

We hebben een beproefde drijvende GBF-fundering voor windmolens op zee ontwikkeld en aangetoond dat deze ook echt werkt in de praktijk. Een fundering die bovendien alle processen van goedkeuring en certificering doorlopen heeft.

GBF is een gecertificeerd alternatief

We weten nu dat de zelf drijvende GBF een haalbaar alternatief is voor de standaard fundering van windmolens op zee en dat deze zich gedraagt zoals tevoren bedacht en berekend. Ook hebben we aangetoond dat deze, vooral bij dieper water (30-60 meter) en met hardere bodemgesteldheid, kosteneffectief is.

Risico's en inefficiënties geminimaliseerd

Via simulaties en fysische (model)testen konden we de grenzen voor werkbaar weer vaststellen. Hierdoor zijn we in staat risico's en inefficiënties onder verschillende weersomstandigheden te minimaliseren.

Vermoeiingsbelasting GBF helder in kaart

Op basis van de verwachte weersomstandigheden van de komende 25 jaar (levensduur) hebben we de vermoeiingsbelasting van de GBF geanalyseerd en deze dynamisch doorgerekend op de molen en de fundering. Daarmee konden we de response van de constructie beschouwen als het gaat om extreme weersomstandigheden en vermoeiingsbelasting op de GBF.

Randvoorwaarden ontwerp onderlaag aangescherpt

Als een constructie dynamisch wordt belast, dan kan de waterdruk in de grond onder de constructie oplopen. Dat is een van de potentiële gevaren die mogelijk tot instabiliteit van de GBF kan leiden. Daarom hebben we daar ontwerptechnisch naar gekeken en de (ongelijke) zettingen gemeten. Zo konden we het effect van de cyclische belasting op het zee-bed bepalen en de grondmodellen valideren/kalibreren. En zo konden we randvoorwaarden genereren voor het ontwerp van de onderlaag.

TRL7 behaald en innovatie verder gebracht

We hebben het zelf drijvende GBF-concept van TRL6 (Technology Readiness Level) naar TRL7 gebracht. En hiermee heeft de investering de innovatie verder gebracht.

Effectuering optimalisaties vanuit *lessons learned*

Ook hebben we de bouw- en installatiemethodologie geanalyseerd en deze via *lessons learned* geoptimaliseerd. Bij schaalvergroting in de toekomst kunnen we deze optimalisaties effectueren, zodat de windsector hier als geheel van kan profiteren.

Vertrouwen creëren: monitoring en doorrekening praktijkcases

Door het plaatsen van sensoren op 2 van de 5 GBF's genereren we data over de stabiliteit, levensduur en kwaliteit van de constructie. Dit geeft vertrouwen dat het product ook echt in de praktijk voldoet aan alle eisen, uitgangspunten en standaarden.



2.2 Knelpunten

Ondiep dok

Oorspronkelijk zouden we de GBF's in het Verolmedok in Rotterdam bouwen. Maar er is gekozen voor een dok in het Engelse Newcastle, omdat dit praktischer was in de samenwerking met opdrachtgever EDF. Doordat dit dok kleiner was dan gepland, moesten we de diameter van de fundering verkleinen en werd de dynamiek van de bouw anders. Door het oorspronkelijke ontwerp aan te passen zijn we in staat geweest de fundering in een ondiep dok te bouwen. Door later ballastmateriaal toe te voegen bereikten we de juiste drijfstabiliteit.



Cultuurverschillen

Tijdens de bouw van de GBF's in het Engelse droogdok liepen we aan tegen cultuurverschillen. Engelsen bereiden zich net anders voor dan Nederlanders dat gewend zijn. Zij besteden meer uit en claimen als het niet werkt. Terwijl wij gewend zijn zelf aan de lat te staan bij het oplossen van problemen. En bij dit soort innovaties moet je samenwerken en problemen zélf oplossen. Daarom hebben we uiteindelijk de Nederlandse methodiek toegepast. De vertaling van onze fijnzinnige ontwerpen naar fijnzinnige bouw op de werkplaats is na afloop geëvalueerd. We weten nu dat dit kan verbeteren en dat is een punt van aandacht voor een volgend project.

5 verschillende grondslagen

Doordat we werkten op 5 locaties met 5 verschillende grondslagen, moesten we op 5 verschillende locaties berekeningen uitvoeren. Door hiervoor een model te ontwikkelen konden we dit proces uiteindelijk efficiënt laten verlopen.

Onzekerheden grondonderzoek

We hebben lange tijd in onzekerheid gezeten in ons grondonderzoek. De klant (EDF) kon hier geen uitsluitsel over geven tot het moment dat we gingen baggeren. Het baggeren van de zeebodem ging daardoor moeizaam. Uiteindelijk zijn we niet helemaal op diepte gekomen zoals we gepland hadden, dit kwam doordat de harde lagen hoger zaten dan in de conservatief aangenomen diepte.

Daarbovenop is ruim binnen de toleranties het gravel-bed neergelegd waar de GBF's op gezet zijn. Het is gelukt, maar het was even heel spannend.

2.3 Perspectief voor toepassing

We hebben aangetoond dat het mogelijk is om deze fundering te bouwen voor de grootste windmolens op zee. Het ontwerp klopt. Het product is gecertificeerd. Alles is uitgevoerd conform de gangbare offshore praktijk. Het hele proces van integratie met de windmolen erboven is goed verlopen. De GBF's zijn uitgerekend op een vermoeiingslast van 25 jaar conform standaardmolens. En we draaien nu 1,5 jaar zonder problemen. Conclusie: we hebben een beproefde drijvende GBF-fundering voor windmolens op zee ontwikkeld en aangetoond dat deze ook echt werkt in de praktijk. Een fundering die alle processen van goedkeuring en certificering doorlopen heeft. Kortom, we hebben een product op de markt gezet dat klaar is voor toepassing in de praktijk.



3. Bijdrage doelstellingen regeling

3.1 Duurzame energiehuishouding

Met DemoWind1 heeft BAM laten zien aan de offshore windsector dat er een markt bestaat voor het bouwen van grote windmolens waarbij je minder afhankelijk bent van weer en groot offshore equipment en deze op grotere diepte kunt installeren. Met minder impact op het zeebodemplen tijdens transport en installatie. En waarbij we na einde levensduur de constructie geheel kunnen ontmantelen en niets achterlaten in zee. Prioriteit voor de huidige offshore windindustrie is om energiekosten aanzienlijk te verlagen om concurrerend te zijn met conventionele stroomopwekking in 2030 (TPWind / Strategic Research Agenda / Market Deployment Strategy 2014).

Wij zien GBF's als innovatieve, duurzame en kostenefficiënte oplossing voor grote windturbines in waterdieptes tot 60 meter. Zeker omdat offshore werken met ander materieel, met een grotere beschikbaarheid en met verminderde weersafhankelijkheid ook een positieve invloed heeft op risico-opslagen. In 2018 is daarom veel tijd geïnvesteerd in het automatiseren van het ontwerpproces en is op papier een fabrieksmatige productielijn ontworpen. Doel daarvan is om in de toekomst 1 GBF per week af te kunnen leveren.

Ook is het via deze toepassing nu mogelijk om strengere eisen te stellen ter bescherming van het maritieme leven. Het is niet alleen technisch mogelijk, maar vergroot ook het draagvlak voor deze vorm van energie. Ook voor andere typen constructies zal dit -met de strengere eisen- weer aanleiding zijn om te innoveren en verbeteren.

3.2 Versterking kennispositie

De Europese Unie heeft zich gecommitteerd om tegen 2020 20 procent van haar energieverbruik via hernieuwbare energie te realiseren. Om dit te bereiken moeten we 34 procent van de elektriciteit opwekken via hernieuwbare energie. Offshore wind heeft een aanzienlijk productiepotentieel in Europa met steeds grootschaliger locaties die geschikt zijn voor offshore-ontwikkeling en die profiteren van een gunstige windbron. Offshore wind speelt een belangrijke rol bij het behalen van de EU-doelen. Daarom is het belangrijk kennis te delen om een succesvolle toename van de inzet te ondersteunen. Uiteindelijk komt dit alle spelers ten goede en helpt dit de EU bij het halen van haar doelstellingen op het gebied van hernieuwbare energie.

Wij vinden het dan ook heel belangrijk om opgedane kennis vanuit DemoWind1 te verspreiden ten bate van de gehele Europese offshore-windindustrie. Via ons werkpakket 6 (Exploitatie en verspreiding) stellen we de resultaten en bevindingen van het FSFOUND-project beschikbaar aan andere (opkomende) offshore windclusters, potentiële zakenpartners, de wetenschappelijke gemeenschap, regionale, nationale en Europese beleidsmakers en het geïnteresseerde publiek.

Kennisverspreiding 2017-2019

Vanaf januari 2017 hebben we op de volgende wijze en via onderstaande kanalen onze kennis verspreid en gedeeld.

Datum	Middel	Content	Doelgroep	Context	Evaluatie
Jan 2017	Web-content	Projectinformatie voor partnerwebsites	Alle	Samenwerking en innovatie	131 page- views in 2017
Jan 2017	Circuit magazine	Project snapshot en artikel	Industrie	Samenwerking en innovatie	Winter 2016/17 nr. 9. 400 geprinte exemplaren en 237 downloads
Jan 2017	Conferentie en workshop	SR Offshore Wind Conference, Exhibition & Dinner 2017	Industrie	Projectinformatie	100 mensen bereikt via de conference en 75 via de workshop
April 2017	Conferentie/ presentatie	Presentatie tijdens de Supergen Wind	Industrie	Projectinformatie	75 mensen bereikt via conferentie
Juni 2017	Algemene content	Ontwikkelen presentatie voor leden consortium	Industrie	Projectinformatie	xx
Juni 2017	Persbericht	Succesvolle installatie sensors en bouw GBF gereed	Alle	Samenwerking en innovatie. UK economie	Evaluatie van media-aandacht
Juni 2017	Conferentie	WindEurope Offshore	Industrie	Innovatie	Feedback deelnemers
Juli 2017	Artikelen	Artikelen in vakbladen	Industrie	Innovatie	Berichtgeving in de media
Nov. 2017	Conferentie	WindEurope - presentatie	Industrie	Innovatie	Feedback deelnemers
Jan. 2018	Conferentie / presentatie	Deepwind conference in Trondheim, Noorwegen	Industrie	Innovatie	Feedback deelnemers
Jan. 2018	Workshop	Bevindingen delen	Alle	Innovatie	Feedback deelnemers
Dec 2018	Persbericht	Succesvolle uitkomst van het project	Alle	Innovatie en kostenreductie	Persbericht
Jan 2019	Workshop	Bevindingen delen	Alle	Innovatie	Feedback deelnemers
Jun 2019	Conferentie	Global Offshore Wind Conference 2019	Industrie	Innovatie	Feedback deelnemers

4. Spin off

Nieuw bedrijf: BAM Offshore Wind BV

DemoWind1 was een samenwerking tussen het Nederlandse BAM Infra en het Engelse BAM Nuttall (beide bedrijven behoren bij de Koninklijke BAM NV). Daardoor was gedurende de uitvoering voortdurend overleg en afstemming nodig met twee directies. Om in vervolgtrajecten en bij toekomstige windinnovaties op zee nog meer gefocust en sneller te kunnen schakelen hebben BAM Infra en BAM Nuttall na afronding van DemoWind1 samen een bedrijf opgericht: BAM Offshore Wind BV.

Praktijkcases

Als vervolg op DemoWind1 hebben we een aantal betaalde haalbaarheidsstudies gedaan voor offshore windmolenparken. Op basis hiervan bepaalt een energiemaatschappij of het project haalbaar is. Valt dit positief uit dan start een volgende fase met aanvullend onderzoek en het uitschrijven van tenders voor alle belangrijke componenten, zoals de fundering. Hierna volgt een FID (Final Investment Decision) en gunning. BAM verwacht in de tweede helft 2019 een beslissing over de volgende fase en uiteindelijk start realisatie in 2020/2021.

Projectonderdelen in code DNV GL verwerkt

De certificerende organisatie DNV GL heeft naar aanleiding van ons demonstratieproject een nieuwe versie uitgebracht van hun *Guidelines and standards*, waarin onderdelen van ons project in de code zijn verwerkt. Verder hebben we met hen initiële gesprekken gevoerd over een type certificering, zodat dit dan makkelijk om te zetten is naar een project specifieke certificering (zoals nu bij windturbines het geval is)

5. Publicaties

Naast genoemde presentaties, conferenties, workshops, website, publicaties, persberichten en gegenereerde content hebben we een projectwebsite opgezet met projectinformatie, beelden, kaarten en (timelaps)filmpjes. Ook zijn er meerdere persberichten gepubliceerd en filmpjes gemaakt rond het project. Informatie die we via verschillende kanalen en platforms delen.

- **Projectwebsite:**
<https://www.baminfra.nl/projecten/gravity-base-foundation-bij-blyth>.
- **Persbericht:**
<https://www.bam.com/en/press/press-releases/2017/8/blyth-offshore-demonstrator-wind-farm-project-first-gravity-base>
- **Film:**
<https://www.youtube.com/watch?v=ilpQq7uomes>