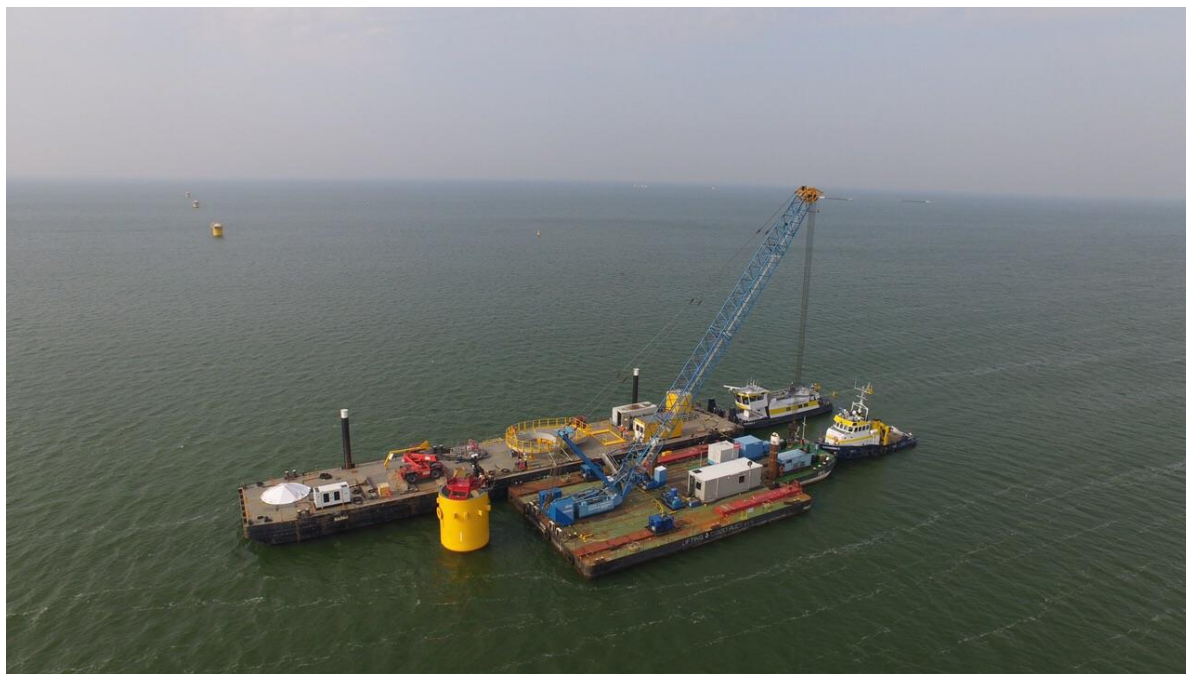


Eindrapport TKIW02001 – DISSTINCT



Eindrapport bestemd voor RVO, geschikt voor openbare publicatie – 24 September 2018

Jeroen Bongers – Siemens Gamesa Renewable Energy

Inhoud

Project data.....	3
Nomenklatuur	4
Samenvatting:	5
Inleiding	6
Doelstelling	6
Werkwijze	6
Organisatie:	6
Resultaten.....	8
Mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten.....	14
MASW & inversietechnieken	14
CPM.....	14
Kwalificatie Effectieve Stijfheids Methode	14
Conclusies	15
Aanbevelingen	16
Uitvoering.....	17
Wijzigingen tussen uitvoering en projectplan	18
Kennisverspreiding	20
Referenties	21

Project data

Project nummer	TKIW02001
Project titel	DSSI (werktitel: DISSTINCT)
Penvoerder	Siemens Gamesa Renewable Energy (voorheen: Siemens Wind Power)
medeaanvragers	Fugro NL Land (voorheen: Fugro Geoservices B.V.)
	Technische Universiteit Delft
	DNV-GL (voorheen DNV-KEMA)
	BMO-Offshore (deelnemer van 2014-2016)
Projectperiode	januari 2014 – december 2017

Nomenklatuur

SGRE	Siemens Gamesa Renewable Energy
TUD	Technische Universiteit Delft
MP	Monopaal (funderingstype voor offshore windmolen)
DNV-GL	Det Norske Veritas – Germanische Lloyd
CPT	Cone Penetration Test
SCPT	Seismic Cone Penetration Test
MASW	Multichannel Analysis of Surface Waves
ESM	Effectieve Stijfheids Methode
CPM	Conus Pressio Meter

Samenvatting:

Het DISSTINCT project is een samenwerking tussen Siemens Gamesa Renewable Energy (voorheen Siemens Wind Power), de Technische Universiteit Delft, Fugro en DNV-GL (voorheen DNV-KEMA). Eerder was BMO-Offshore ook deelnemer in het project, maar in 2016 is BMO-Offshore door omstandigheden moeten stoppen met deelname aan het project.

De probleemstelling is dat de 1^e eigenfrequentie van offshore windturbine funderingen doorgaans onderschat wordt door incorrecte (te conservatieve) methoden om in-situ grondstijfheden te meten en omdat de grondmodellering van de stijfheid tekortschiet. Daarnaast zijn er aanwijzingen dat naast de stijfheid ook de demping van de 1^e eigenfrequentie onderschat wordt in de ontwerpfase van de funderingen voor offshore windturbines.

Het DISSTINCT project is gestart in januari 2014 en geëindigd in december 2017. Het DISSTINCT project heeft met de combinatie van een uitgebreide wetenschappelijk werkpakket en een groot experimenteel werkpakket een goede synergie kunnen bewerkstelligen tussen wetenschappelijk onderzoek en validatie in het veld. Tot de uitgevoerde experimenten behoort ook een uniek experiment op Westermeerwind in het IJsselmeer waar een monopaal fundering geïnstumenteed en in trilling gebracht is met een speciaal ontworpen shaker.

Dit theoretische werk in combinatie met experimenten heeft geresulteerd in een nieuwe methode genaamd de "Effective Stiffness Method" om met behulp van seismisch grondonderzoek de schuifgolf snelheid van de betreffende grond te bepalen. Hiermee wordt dan een 3D model ontwikkeld waarin 3D effecten van de fundering worden gesimuleerd. Als laatste stap wordt middels een binnen DISSTINCT ontwikkelde methode het 3D model zeer dicht benaderd door een equivalent 1D model. Dit 1D model past zeer goed binnen de huidige modellering techniek die in de windindustrie gebruikt wordt. Met dit model kunnen de vereiste optimalisaties voldoende snel berekend worden zodat praktische toepassing behaald is.

Deze methode is, buiten het kader van het DISSTINCT project, tot een gekwalificeerde techniek gebracht door Siemens Gamesa Renewable Energy, met behulp van DNV-GL. Hiermee kan de Effective Stiffness Method ook gebruikt worden binnen ontwerpen die project certificatie nodig hebben. Dit laatste is voor veel offshore wind projecten een voorwaarde voordat nieuwe technieken toegepast mogen worden in de praktijk.

Met het laatst genoemde resultaat is het project succesvol op het gebied van kostenverlaging van offshore wind. Een voorbeeld studie voor het Hollandse Kust Zuid 1&2 kavel geeft dat deze techniek een besparing in de ondersteuningsconstructie kan geven van tussen de 5 en 8% in staal massa. Dit resultaat is voornamelijk afhankelijk van de ondergrond waarop de techniek wordt toegepast. De techniek heeft alleen effect op het vermoeiingsgedrag en de bepaling van de 1^e eigenfrequentie van de ondersteunings constructie. Effecten van extreme belastingen worden niet beïnvloed door deze methode.

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Subsidieregeling energie en innovatie (SEI), Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Inleiding

Het DISSTINCT project is gestart om de huidige stand van de techniek voor wat betreft de bepaling en de modellering van de grondstijfheid en de grond damping te verbeteren voor offshore windturbine funderingen. Siemens Gamesa Renewable Energy, die ook penvoerder is van het project, de Technische Universiteit Delft, Fugro en DNV-GL hebben zich ten doel gesteld deze problemen op te lossen om zo de kosten voor offshore wind te verlagen. Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Subsidieregeling energie en innovatie (SEI), Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Doelstelling

Uit de eerder genoemde probleemstelling, vloeit de doelstelling om de totale energiekosten (in LCOE, Levelized Cost Of Energy) te verlagen door het mogelijk maken van het ontwerp van efficiëntere ondersteuningsconstructies voor offshore windturbines door betere kennis van dynamische interactie tussen grond en constructie.

Werkwijze

Het project is georganiseerd als een project met werkpakketten waarin de partijen in wisselende samenstelling samenwerken. De inhoud van de werkpakketten is vooraf bepaald, maar daarbij is ruimte gehouden om met toenemende kennis van het onderwerp de accenten van de werkpakketten te kunnen verleggen. Dat is dan ook gebeurd in alle werkpakketten waarbij vermeld moet worden dat wel de doelstelling van het werkpakket gelijk is gebleven, maar de wijze van dit doel te bereiken soms anders is ingevuld. In het hoofdstuk over de uitvoering van het project vindt u een overzicht van de voornaamste wijzigingen ten opzichte van het originele projectplan.

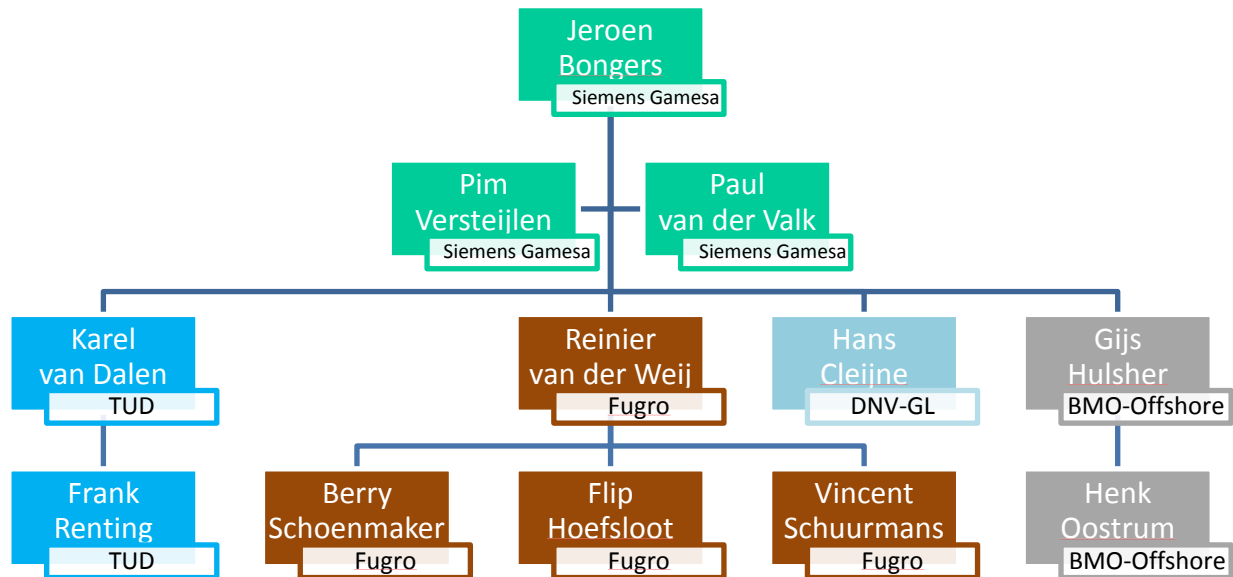
Werkpakket	Beschrijving	Betrokken partijen
WP1	Ontwikkeling van meettechnieken voor dynamische grond eigenschappen.	SGRE, Fugro, TUD
WP2	Ontwikkeling van analyse technieken van meettechnieken	SGRE, Fugro, TUD
WP3	Ontwikkeling van verbeterde grond-constructie interactie ontwerpmodellen	SGRE, TUD
WP4	Validatie van resultaten op een offshore windturbine	SGRE, Fugro, TUD, DNV-GL (BMO-Offshore)
WP5	Vorbereiding voor technologie qualificatie van vernieuwde modellering en meetmethoden	SGRE, DNV-GL
WP6	Documentatie & reiskosten	allen
WP7	Project Management	SGRE

Tabel 1: werkpakket indeling DISSTINCT

Organisatie:

De dagelijkse organisatie is gedurende de 4 jaar grotendeels hetzelfde gebleven, met als voornaamste verschil dat BMO-Offshore in 2016 uittrad als deelnemer en de werklust over is genomen door Siemens Gamesa. Het onderstaande organigram toont de deelnemers en hun

affiliatie. Siemens Gamesa levert als penvoerder de project manager (Jeroen Bongers), wiens bevoegdheden in de consortium overeenkomst zijn vastgelegd.



Figuur 1: Organogram DISSTINCT project

Resultaten

De behaalde resultaten worden hieronder per werkpakket weergegeven.

WP1: Ontwikkeling van meettechnieken voor dynamische grond eigenschappen.:

Onder WP1 is onderzoek gedaan naar hoe een Seismic Cone Penetration Test (SCPT) gebruikt kan worden om de schuifgolfsnelheden en daarmee de stijfheid voor kleine rekken in het grondpakket te bepalen. Hiermee kan de stijfheid, die zeer bepalend is voor het dynamisch gedrag van de grond en constructie, bepaald worden. Het resultaat is gepubliceerd in referentie [1]. Deze techniek is met succes toegepast op diverse windturbine locaties op het windmolenpark Westermeerwind en met experimenten gevalideerd.

Naast de SCPT aanpak op het gebied van stijfheid is er theoretisch en experimenteel veel werk verzet aan de Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW). De techniek is beproefd op het IJsselmeer, wederom bij windmolenpark Westermeerwind. Er is aangetoond dat de oppervlakte golven gevoelig zijn voor de schuifgolf snelheden, waarmee de grondeigenschappen kunnen worden bepaald. Veel vooruitgang is op het gebied van MASW geboekt op het vlak van de analyse technieken in werkpakket WP2.

WP2: Ontwikkeling van analyse technieken van meettechnieken

Op het gebied van analyse van grondonderzoekmethoden is voor de SCPT en de MASW grondonderzoekmethoden veel vooruitgang geboekt.

SCPT:

De SCPT metingen kunnen nu eenvoudig, accuraat en betrouwbaar omgezet worden in een 3D model waarbij het grondpakket het juiste dynamisch, 3D gedrag vertoont in de simulatie. Dit 3D model is een essentieel onderdeel voor de Effectieve Stijfheids Methode (ESM) die ontwikkeld is binnen DISSTINCT.

MASW:

Op het gebied van MASW zijn 3 MSc theses gepubliceerd (en een in voorbereiding) op het gebied van de inversie van meetdata om de grondeigenschappen te herleiden uit de oppervlakte golven die bij MASW gemeten worden. Aangetoond is dat het mogelijk is kosten-effectief met de MASW dat demping te identificeren. Daarnaast kan ook het stijfheidsprofiel worden bepaald tot een diepte van ongeveer 40m. Deze technieken zijn beproefd op 2 data sets: de eigen gemeten Westermeerwind data en de Gjøa data set gedeeld door NGI.

MASW is een techniek die nog niet uitontwikkeld is, maar onder het DISSTINCT project is er veel vooruitgang geboekt op het gebied van analyse en lering getrokken uit de uitvoering op het IJsselmeer.

WP3: Ontwikkeling van verbeterde grond-constructie interactie ontwerpmodellen

In dit werkpakket is de belangrijkste uitkomst van het project ontwikkeld: de Effectieve Stijfheidsmethode (ESM).

Deze methode volgt 3 stappen:

1. De karakterisatie van de in-situ lineaire elastische grond eigenschappen, bij voorkeur middels in-situ seismische metingen
2. Simulatie van de grond-constructie in een lineair elastisch 3D model, dat de complexe interactie tussen paal en grond meeneemt
3. Gebruik van een translatie methode dat de 3D eigenschappen transformeert in een equivalent 1D balkmodel

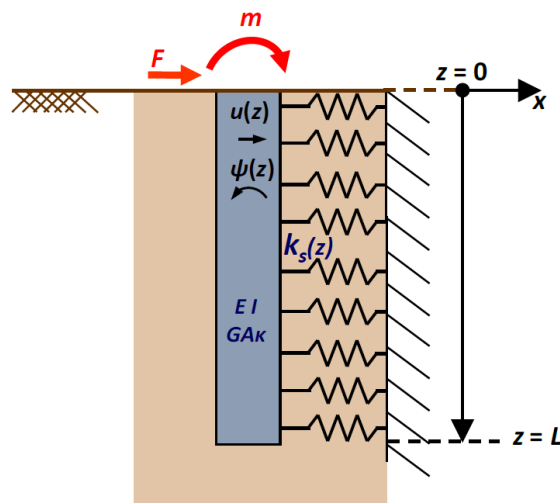
Stap 1:

Om de in-situ eigenschappen te vangen wordt met behulp van seismische meettechnieken de kleine rek stijfheid bepaald.

Stap 2:

Van het gemeten grondpakket wordt een lineair elastisch 3D model gemaakt, inclusief de monopaal fundering (bijvoorbeeld een eindige elementen model). Hiermee kan het 3D gedrag van de monopalen met een kleinere L/D (ingebede lengte/diameter) goed worden gemodelleerd.

Het nadeel van een 3D model is dat het bewerkelijk is en relatief veel tijd kost. Voor technische toepassingen is het noodzakelijk dit model te transformeren tot een 1D Winkler model. Dit Winkler model, is zeer wijdverspreid in de industrie en geeft de grondstijfheden weer als onafhankelijke laterale veerstijfheden. Dit eenvoudige model maakt het mogelijk de duizenden simulaties van een windmolen ondersteuningsconstructie snel en efficiënt te simuleren. Met een 3D model is dit (nog) niet mogelijk



Figuur 2: Winkler model

Stap 3:

Voor de innovatieve transformatie van 3D naar 1D zijn binnen DISSTINCT 2 methoden ontwikkeld:

1. De lokale methode: in deze methode worden de verschillende Winkler model grondlagen ieder een onafhankelijke veerstijfheid gegeven die het 3D gedrag zo goed mogelijk benaderd. Enkele nadelen zijn dat het een optimalisatieproces betreft waarbij een benadering gemaakt wordt van het 3D gedrag. In grondlagen met grote verschillen van de grondstijfheden presteert deze methode minder goed, alsook voor monopalen met een L/D lager dan 4.5. (korte monopalen met een grote diameter) Voor meer informatie over deze methode zie ref. 3 & 4
2. De niet-lokale methode: om de nadelen van de lokale methode te verhelpen en een verbeterde benadering te maken is de niet-lokale methode ontwikkeld. De veerstijfheden zijn in deze aanpak afhankelijk van elkaar, en worden in een stijfheidsmatrix (in tegenstelling tot een vector in de lokale methode) gegeven. Dit zorgt voor een nog betere benadering van het 3D gedrag van de paal-grond interactie en geeft geen beperkingen voor verschillen in de stijfheid van de verschillende grondlagen of de L/D verhouding van de monopaal. Voor meer informatie over deze methode zie ref.6.

In dit werkpakket is ook een semi-analytisch grond-constructie interactie model ontwikkeld dat een oneindig domein beschrijft en de 2D grondreactie accuraat beschrijft op het gebied van stijfheid, demping en toegevoegde massa voor dynamisch gedrag. Deze methode heeft op het gebied van een 2D situatie al veelbelovende resultaten laten zien en een 3D versie is in de maak.

WP4: Validatie van resultaten op een offshore windturbine

Vanaf het begin van het vaststellen van de probleemstelling is onderkend dat het ontwikkelen van betere grondonderzoek (analyse) methoden en grond-constructie interactie modellen alleen leiden tot een verandering van de praktijk als de methoden gevalideerd konden worden. Het doel is om de theoretische modellen te valideren op een overtuigende wijze die (buiten het DISSTINCT project) leidt tot een nieuwe, gekwalificeerde methode van het bepalen en modelleren van de stijfheid en de demping van de grond-constructie interactie. De kwalificatie is nodig om vernieuwende methodes toepasbaar te maken op commerciële ontwerpen die een windpark specifieke certificatie nodig hebben om de risico's voor investeerders beheersbaar te houden.

Omdat in de literatuur geen metingen van een dynamische respons van een ware schaal monopaal met L/D ratio in het bereik van de huidige en toekomstige windmolenfunderingen gerapporteerd zijn is een uniek experiment ontworpen. Het windmolenpark Westermeerwind was in ontwikkeling en met Siemens Wind Power als hoofdaannemer is een samenwerking aangegaan met Westermeerwind voor dit experiment.

Het experiment bestaat uit:

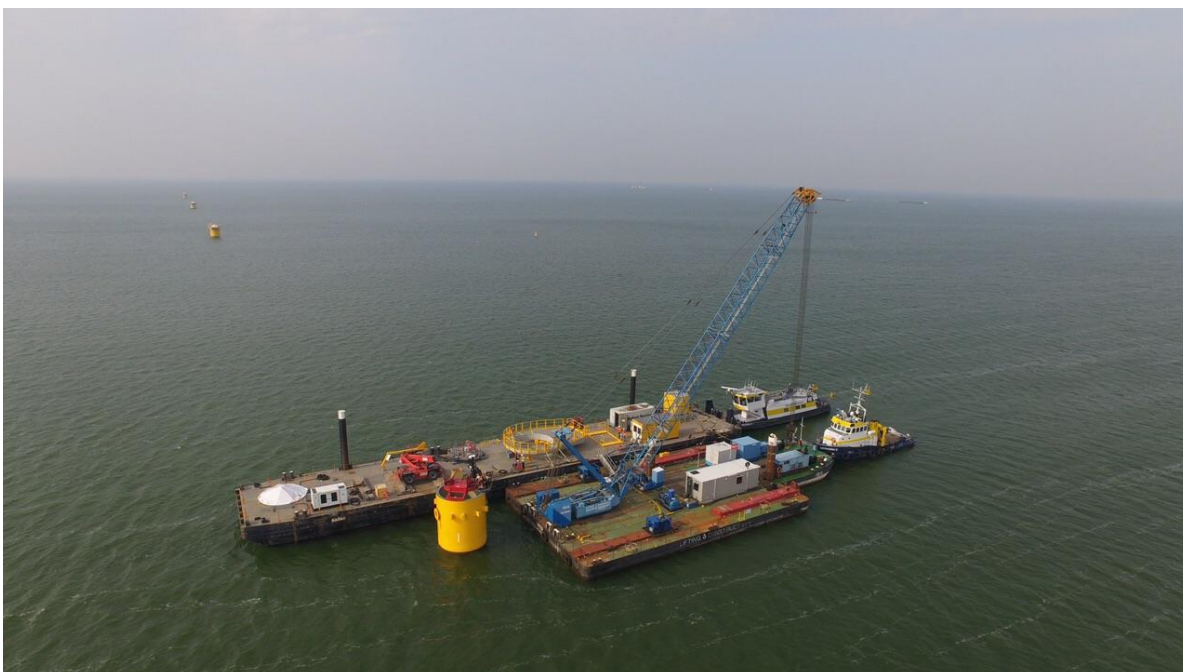
- een locatie waarvan de grond van tevoren zeer uitgebreid bemeten is
- een monopaal, geïnstrumenteerd met 32 sensoren, waarvan 28 rekstroken, 3 versnellingsopnemers en een inclinometer
- 16 in de grond aangebrachte sensorpakketten, dichtbij de monopaal, waarin per pakket 2 versnellingsopnemers en in 12 van de 16 pakketten een waterdruk sensor.
- een voor dit doel ontworpen en gebouwde harmonische excitator ("shaker")

Omdat de monopaal een daadwerkelijke funderingspaal betreft zijn volgende elementen aanwezig die dit experiment extra waardevol maken:

- geen schaaleffecten, test op ware schaal
- installatie-effecten in de grond zijn zoals bij een ingeheide paal
- waterdrukeffecten zijn volledig realistisch
- een dynamische, gecontroleerde belasting door de excitator

Daarnaast kon de interactie van de fundering met de grond, zonder dat er een mast, windturbine of windturbinebladen op geplaatst waren, uitvoerig en nauwkeuring onderzocht worden. Normaliter geven namelijk deze elementen (met name de flexibele bladen) veel dynamische respons, waardoor het gewenste signaal in de ruis van deze neveneffecten kan verdwijnen.

Na het experiment, zijn de sensoren in de paal gebruikt om het gedrag van de volledige windturbine te registreren en zekerheid te geven dat de metingen ook geldig zijn voor volledige windturbines en niet alleen op het gedrag van een solitaire monopaal. De onzekerheden zijn hiermee veel lager dan met andersoortige experimenten het geval is.

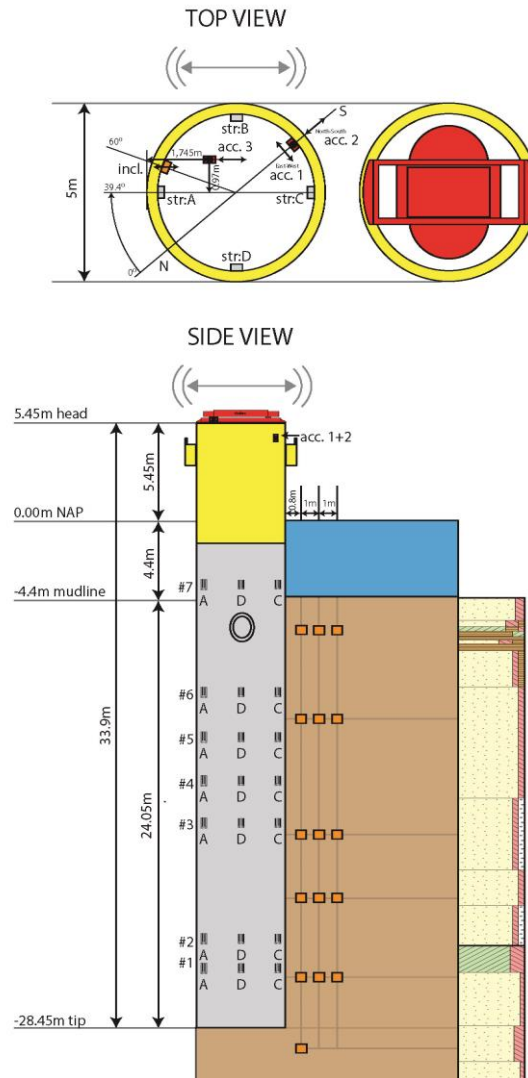


Figuur 3: Luchtfoto van het shaker experiment op monopaal W-27, met de werkplatformen ernaast.

In referentie 5 is het experiment en de analyse ervan uitvoerig beschreven. Met dit experiment is aangetoond dat de voorgestelde effectieve stijfheids methode **7 maal nauwkeuriger** is in het voorspellen dan de initiële in-situ stijfheid dan het gebruikelijke p-y curve model.

Om de experimentele resultaten uit te breiden, zijn de shaker metingen herhaald op een andere monopaal, die niet geïnstrumenteerd was met rekstroken, maar wel met dezelfde versnellingsopnemers en inclinometer als monopaal 27, zodat een vergelijking kan worden gemaakt met het gedrag van monopaal 27.

Een andere poging de experimentele resultaten uit te breiden zijn de hamer metingen geweest. Deze metingen bestaan uit 9 versnellingsopnemers die worden geplaatst op een monopaal, waarna de monopaal met behulp van een moker in trilling wordt gebracht. Uit de gemeten trillingen valt dan e.e.a. af te leiden van het dynamisch gedrag van de constructie. Helaas waren de op deze manier veroorzaakte trillingen te klein om bruikbare resultaten te geven.



Figuur 4: Setup van het shaker experiment. Te zien zijn de rekstroken op de paal (A,B,C,D), in de grond de grondsensoren en het bovenaanzicht geeft de versnellingsopnemers en de shaker oriëntatie.

Mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten

Naast de behaalde resultaten met de seismische CPT metingen en de effectieve stijfheids methode is er ook belangrijke vooruitgang geboekt mbt MASW, al eerder besproken en op het gebied van de ontwikkeling van de Conus Pressio Meter (CPM).

MASW & inversietechnieken

Op het gebied van demping is de voortgang minder dan op het gebied van stijfheid. Toch is de MASW methode veelbelovend en een doorbraak om de materiaaldemping van de grond te bepalen met deze methode lijkt binnen handbereik.

CPM

In de zoektocht naar geschikte methoden om de dynamische, kleine rek stijfheden te bepalen van de grond is ook gekeken naar het gebruik van een Conus Pressio Meter (CPM). Deze methode werkt met een ballonnetje die in een conus die de grond in gedrukt wordt geplaatst. Dit ballonnetje wordt met behulp van olie druk afwisselend opgeblazen en leeggelaten. Hiermee kan het dynamisch gedrag van de grond bepaald worden. Deze methode kon op dit gebied niet op tijd ingezet worden voor de experimenten op het IJsselmeer, maar meer onderzoek is gaande op dit gebied. Met name de TUD en Fugro hebben plannen voor een samenwerking op dit gebied, direct voortvloeiend uit het DISSTINCT project.

Kwalificatie Effectieve Stijfheids Methode

Zoals al eerder gemeld is de effectieve stijfheidsmethode als vervolgactiviteit gekwalificeerd door DNV-GL. Deze kwalificatie is door Siemens Gamesa doorlopen zodat de methode ook in gecertificeerde ontwerpen kan worden toegepast. Dit is van grote waarde voor de praktische toepassing van de ontwikkelde methodieken, zodat de beoogde kostenbesparing bewerkstelligt wordt.

Conclusies

Gezien de probleemstellingen en de doelstelling, is het Disstinct project, door de goede samenwerking van de juiste partijen en personen, erin geslaagd voor wat betreft stijfheids probleemstelling een adequate oplossing te geven in de vorm van de effectieve stijfheidsmethode. Deze methode is door de validatiemetingen ook direct geschikt voor technologie kwalificatie, wat Siemens Gamesa buiten dit project ook aansluitend heeft voltooid. Daarmee is de ontwikkelde methode direct geschikt voor gebruik. Naar de bijdrage aan kostenverlaging is een korte studie gedaan door voor kavel Hollandse Kust Zuid 1&2 op de huidige standaard wijze een ondersteunings constructie te ontwerpen en deze te vergelijken met een ontwerp waarbij de effectieve stijfheidsmethode is gebruikt. Het verschil in benodigde staal massa was (op basis van de beschikbare informatie) tussen de 5 en 8%.

Deze methode zal dus naar verwachting een belangrijke kostenbesparing bewerkstelligen. Omdat de DISSTINCT partners, maar ook de betrokken partijen zoals Westermeerwind en Van Oord betrokken zijn, is gepoogd deze kennis binnen Nederland zoveel mogelijk te delen. Naast de directe kennisdeling zullen er 2 dissertaties worden gepubliceerd, en zijn er inmiddels 6 master theses en 7 wetenschappelijke publicaties verschenen.

Op het gebied van demping is de voortgang niet zo voorspoedig gegaan als op het gebied van stijfheid, maar heeft het project de stand van de techniek tot dichtbij een doorbraak gebracht. Met name de signaal inversie is een lastiger probleem gebleken, maar zoals gezegd is de potentie van deze methode wel zeer zichtbaar geworden en zal vervolgonderzoek naar verwachting deze methode ook tot een dergelijke kosteneffectieve grondonderzoekmethode kunnen brengen..

Met dit onderzoek hebben Nederlandse partijen betrokken bij de ontwikkeling en bouw van offshore wind waardevolle kennis opgebouwd en een kostenbesparende methode ontwikkeld die direct gebruikt kan worden in vanaf nu te ontwikkelen parken.

Aanbevelingen

Validatie metingen op deelconstructies zijn zeer waardevol en ondanks de benodigde tijd, zal door de versnelde kwalificatie en acceptatie van een methode de totale doorlooptijd van idee tot toepasbare methode in offshore wind korter zijn dan wanneer minder relevante metingen uitgevoerd worden

(Enkele) Seismic Cone Penetration Tests zouden op de nieuw te ontwikkelen windenergie gebieden moeten worden uitgevoerd om de ondersteuningsconstructies zo kosteneffectief mogelijk te kunnen ontwerpen.

Verder onderzoek naar Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) kan worden aangeraden vanwege de potentie van de methode en omdat er nog maar relatief weinig onderzoek nodig lijkt te zijn tot een doorbraak verwacht kan worden.

Uitvoering

In dit hoofdstuk zullen de wijzigingen tussen het ingediende project plan (medio 2013) en de daadwerkelijke uitvoering besproken worden.

Voordat wordt ingegaan op de kleinere verschillen per werkpakket worden de wijzigingen met de grootste invloed op het project besproken:

1. Significante uitbreiding van de validatie experimenten (Werkpakket 4) met het experiment van een shaker op monopaal fundering, naast de al geplande monitoringmetingen op een geïnstalleerde windturbine op windmolenpark Westermeerwind.

In 2014 & 2015 is in onderling overleg uitgebreid gekeken naar wat voor experiment de methodes die in ontwikkeling waren op dat moment het beste zou kunnen valideren. De conclusie was dat metingen op een geïnstalleerde windturbine, wel waardevol konden zijn, maar op zichzelf niet voldoende om de effectieve stijfheidsmethode (ESM) en de MASW techniek te kunnen valideren. De verwachting was dat de onzekerheid groot zou zijn vanwege de dynamische bijdrage van de turbine en bladen in de te meten respons. Daarop is besloten om een shaker te gebruiken en deze op een monopaal fundering te gebruiken om informatie te vergaren zonder de storende factoren van een windturbine. Het budget hiervoor is vergaard door het experiment op 1 monopaal uit te voeren (ipv 2 windturbines te monitoren) en een deel van de manuren die Siemens Gamesa had gepland staan te gebruiken voor de aanschaf van de speciaal ontworpen shaker. Het ontstane tekort in uren is deels opgevangen door analyse van metingen door MSc studenten uit te laten voeren en doordat Siemens Gamesa extra fondsen ter beschikking heeft gesteld.

Dit unieke experiment is succesvol gebleken en heeft het mogelijk gemaakt na het project de effectieve stijfheidsmethode te kwalificeren. Voor meer over het shaker experiment, zie ook hoofdstuk Resultaten.

2. Het wegvallen van de technische ondersteuning van BMO-Offshore door (ernstige) ziekte van BMO-Offshore werknemer met de nodige technische kennis en kunde. De instrumentatie van de monopaal met behulp van rekstroken zou georganiseerd worden door BMO-Offshore. Om het werkpakket doorgang te laten vinden zijn de verantwoordelijkheden naar de project manager van Siemens Gamesa gegaan. Hierna was de bijdrage van BMO-Offshore niet meer in het project aanwezig en zijn de taken en bijbehorende taken bij Siemens Gamesa ondergebracht. (melding/verzoek hiervan is in 2016 gedaan bij RVO)
Op technisch vlak is een deel van de kennis inbracht door een onderaannemer van de instrumenten voor de experimenten (HBM - Hottinger Baldwin Measurements)

Wijzigingen tussen uitvoering en projectplan

Werkpakket	Beschrijving	Betrokken partijen
WP1	Ontwikkeling van meettechnieken voor dynamische grond eigenschappen.	SGRE, Fugro, TUD
WP2	Ontwikkeling van analyse technieken van meettechnieken	SGRE, Fugro, TUD
WP3	Ontwikkeling van verbeterde grond-constructie interactie ontwerpmodellen	SGRE, TUD
WP4	Validatie van resultaten op een offshore windturbine	SGRE, Fugro, TUD, DNV-GL (BMO-Offshore)
WP5	Voorbereiding voor technologie qualificatie van vernieuwde modellering en meetmethoden	SGRE, DNV-GL
WP6	Documentatie & reiskosten	allen
WP7	Project Management	SGRE

WP1 – gepland

Doel was de ontwikkeling van meetmethodes voor het bepalen van de dynamische grondeigenschappen. De potentiële methodes voorzien waren de Seismic Cone Penetration Test (SCPT), Low Frequency Cone Penetration Test (LFCPT) en mogelijk een Bender Element test.

WP1 – wijzigingen

Het doel is ongewijzigd gebleven maar de methodes die beproefd zijn, zijn met name de geplande SCPT, maar daarnaast de Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) geweest. LFCPT was kort voor de start van het project minder bruikbaar gebleken dan SCPT en daarin is geen tijd meer geïnvesteerd.

WP2 – gepland

Doel was om de vereiste analyse methoden behorend bij de methodes ontwikkeld in WP1 te ontwikkelen.

WP2 -wijzigingen

Vanwege de originele nadruk van WP1 op SCPT en LFCPT en niet op MASW zijn hier wijzigingen in de aanpak geweest. De analyse van SCPT's is uitgebreid aan bod gekomen (zoals gepland), maar de LFCPT niet (vanwege eerder genoemde reden). Daarnaast is uitvoering aandacht besteed aan de inversiemethoden zoals benodigd voor een analyse van de MASW methode.

WP3-gepland

De ontwikkeling van 3 modellen was voorzien:

1. Lineair elastisch statisch eindige elementen model

2. Analytisch gedistribueerd dempingsmodel
3. Compleet numeriek 3D dynamisch constructie-grond interactie model voor kleine rekken met lineair gedrag

WP3 –wijzigingen

In het project is een lineair elastisch statisch eindige elementen model ontwikkeld, maar geen analytisch gedistribueerd dempingsmodel of compleet numeriek 3D dynamisch constructie-grond interactie model voor kleine rekken met lineair gedrag. In plaats daarvan is de Effectieve Stijfheids Methode ontwikkeld zoals beschreven in Resultaten. De reden was dat de potentie van deze methode hoog werd ingeschat en het tot snellere kostenverlaging zou leiden dan anders het geval zou zijn geweest.

Naast de effectieve stijfheids methode is een semi-analytisch grond-constructie interactie model ontwikkeld dat momenteel, buiten het DISSTINCT project om, de stap van 2D naar 3D maakt. Voordelen van een dergelijk model zijn de nauwkeurigheid samen met de snelheid waarmee de nauwkeurigheid kan worden bereikt. Het model zal vanwege een aantal kenmerken en aannames nog niet direct in de industrie toe te passen zijn, maar is veelbelovend

WP4 -> zie hierboven de opmerking over de additionele validatiemetingen

WP5-gepland

Bij aanvraag werd de technologie kwalificatie nog als doel gesteld, maar omdat dit om een industriële activiteit ging die niet paste bij de doelstelling van de subsidie is dit werkpakket kleiner gemaakt en vooral erop gericht om de ontwikkelde modellen en experimenten zo op te stellen dat deze naderhand voor eigen kosten en risico van de projectpartijen tot een gekwalificeerde technologie gebracht kon worden.

WP5-wijzigingen

Na de wijziging in aanpak tot voorbereiding tot technologie kwalificatie zijn er geen verder wijzigingen in dit werkpakket geweest.

WP6 en WP7 waren bij aanvang nog geen werkpakketen en zijn toegevoegd om de reiskosten en projectmanagement activiteiten apart te kunnen registreren.

Kennisverspreiding

De opgedane kennis binnen het project is gepubliceerd in 7 wetenschappelijke artikelen en in een 6-tal MSc theses.

Daarnaast zijn een aantal presentaties gegeven:

- presentatie op Fugro Wind Event op 6 december 2016.
- presentatie op werkconferentie topsector energie, Maritieme Innovaties, 5 november 2015
- diverse presentaties op de TU Delft (2014-2017)
- Online artikel over Effectieve Stijfheids Methode in onlangs intern binnen Siemens verspreid, vervolg is de beoogde verspreiding op populaire weblogs met als thema offshore wind.
- Openbare verdediging van de promotie door W.G. Versteijlen van zijn promotiewerk: *Identification of effective 1D soil models for large-diameter offshore wind turbine foundations. Based on in-situ seismic measurements and 3D modelling.* (ref 8 van publicaties)

Meer informatie:

Voor meer informatie kan contact worden opgenomen met Jeroen Bongers

Email: Jeroen.Bongers@siemensgamesa.com

Referenties

Wetenschappelijke artikelen:

1. Assessing the small-strain soil stiffness for offshore wind turbines based on in situ seismic measurements (W.G. Versteijlen, K.N. van Dalen, A.V. Metrikine, L. Hamre, in Journal of Physics: Conference Series, volume 524, conference 1, 2014)
2. Interaction of a 2-D acoustic waveguide and an Euler-Bernoulli beam (F.W. Renting, K.N. van Dalen, J.M. De Oliveira Barbosa, A.V. Metrikine in Proceedings of 43th International Summer School-Conference Advanced Problems in Mechanics (APM), St. Petersburg, Russia, 22-27 June 2015)
3. Method for extracting an equivalent Winkler model of the 3D dynamic soil-structure interaction of large-diameter offshore monopile foundations (W.G. Versteijlen, J.M. De Oliveira Barbosa, K.N. van Dalen, A. V. Metrikine, in Proceedings of 43th International Summer School-Conference Advanced Problems in Mechanics (APM), St. Petersburg, Russia, 22-27 June 2015)
4. A method for identification of an effective Winkler foundation for large-diameter offshore wind turbine support structures based on in-situ measured small-strain soil response and 3D modelling (W.G. Versteijlen, K.N. van Dalen, A. V. Metrikine, in Engineering Structures, Volume 124, 1 October 2016, Pages 221-236)
5. Effective soil-stiffness validation: Shaker excitation of an in-situ monopile foundation (W.G. Versteijlen, F.W. Renting, P.L.C. van der Valk, J. Bongers, K.N. van Dalen, A.V. Metrikine in Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 102, November 2017, Pages 241-262)
6. Dynamic soil stiffness for foundation piles: capturing 3D continuum effects in an effective, non-local 1D model (W.G. Versteijlen, J.M. De Oliveira Barbosa, K.N. van Dalen, A. V. Metrikine, in Journal of Solids & Structures, 2017, submitted)
7. The significance of the evanescent spectrum in structure-waveguide interaction problems. (Tsouvalas, A, van Dalen, K.N and Metrikine, A.V. in The Journal of the Acoustical Society of America 138.4 (2015): 2574-2588)
8. Identification of effective 1D soil models for large-diameter offshore wind turbine foundations. (PhD thesis, W.G. Versteijlen, 2018)

MSc Theses:

1. Anneke de Groot: Determination of dynamic soil properties from in-situ offshore low-frequency seismic measurements (TU Delft, 2014)
2. Corine de Winter: Inversion of near-surface seismic measurements to estimate soil stiffness relevant for offshore wind turbines (TU Delft, 2014)
3. Ingmar Bolderink: Identification of dynamic soil properties relevant for offshore wind turbines through full waveform inversion of in-situ measured seismic data (TU Delft, 2015)
4. Robin Greeuw: Nonlinear modal parameter identification in monopile-soil interaction by means of experimental data (TU Delft, 2016)
5. Michael Armstrong: Seismic Inversion for Identification of Soil Stiffness and Damping for Offshore Wind Turbines (TU Delft, 2016)
6. Vaibhav Raghavan: Hybrid Method for Dynamic Soil-Structure Interaction for Offshore Wind Turbine Monopile Foundations (TU Delft, 2017)