

REPORT

Client : Consortium KSO
Project : Double Slip Joint Development
Subject : Openbaar Eindrapport

Project number : 160569
KCI Document No : KSO-160569-DSJ-R-G-04002-01
Client Document No : TEWZ116901
Revision : 01
Date : 31-10-2018



Report Information:

Client : Consortium KSO
Project : Double Slip Joint Development
Job number : 160569

Subject : Openbaar Eindrapport
KCI number : KSO-160569-DSJ-R-G-04002-01
Client Number : TEWZ116901

Revision History:

Revision	Description
01	Issued for information

Revision Status

01	For information	31-10-2018	TiT	BvG	TiT	
Revision	Description	Issue Date	Prepared by	Checked by	KCI Approval	Client Approval

Note: The information contained in this document can only be treated as an official issue when it has been authorised in the boxes "Checked by" and "KCI Approval" by a signature of authorised KCI personnel. Depending on the contract type a client signature is required in "Client Approval". In all other cases this document and its information has to be treated as Preliminary and Unchecked.

All printed versions of this document are uncontrolled

No part of this report may be reproduced and/or published by any means, without the prior written permission of KCI B.V.; nor may it be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were intended.



Samenvatting

De “Double Slip Joint” (DSJ) is een alternatief voor huidige verbindingen tussen de fundatie en turbine toren van offshore wind turbines. Voor de verdere ontwikkeling van het DSJ concept is het project “Double Slip Joint connection for Offshore Wind Turbine foundations” uitgevoerd. Het doel van het project is het ontwerpen, testen en valideren van een prototype DSJ op schaal 1:5. Het project is uitgevoerd in een samenwerkingsverband tussen KCI the Engineers B.V., Van Oord Offshore Wind Projects B.V. en SIF Netherlands B.V. Daarnaast zijn WMC en DNV-GL betrokken bij de uitvoer van het project.

Er zijn diverse studies uitgevoerd voor het bepalen van de fabricage methoden van de DSJ, het ontwikkelen van rekenmodellen en het bepalen van de toelaatbaarheid van de fabricage toleranties. Aan de hand van het geproduceerde design pakket is een prototype gefabriceerd. Vervolgens zijn bij WMC de test methoden en test plannen opgesteld en zijn de testen uitgevoerd. Aan de hand van de resultaten van de testen zijn analytische- en FEM modellen ontwikkeld voor het simuleren van het settling gedrag en het berekenen van de nominale spanningen en stress concentraties. Op basis van de ontwikkelde modellen is een concept design gemaakt van een DSJ voor een 8 MW turbine fundatie. DNV-GL heeft een review uitgevoerd van het testplan en heeft de uitvoering van één test bijgewoond. Daarna heeft DNV-GL reviews gedaan van het test rapport, de uitgevoerde FEM berekeningen en het DSJ design pakket. Naast de ontwikkeling en testen van het prototype is een business case rapport gemaakt waarbij de eisen voor fabricage, opslag en installatie van een DSJ zijn onderzocht. Daarnaast is een financiële- en markt analyse uitgevoerd. Gedurende het project hebben er diverse presentaties en events plaats gevonden met betrekking tot de DSJ.

Het project heeft geresulteerd in het ontwerp, de fabricage en uitvoeren van de testen van een DSJ prototype. De testen hebben aangetoond dat de settling van de DSJ tijdens operatie naar een uiteindelijke waarde convergeert welke een vaste verbinding wordt benaderd. Dit is ook van toepassing bij een DSJ onder water. Hiermee is het werkend principe van de DSJ op schaal gevalideerd. Verder is met de ontwikkelde analytische- en FEM een design pakket van de full-scale DSJ gemaakt, waarmee is aangetoond dat de benodigde simulatie en rekenmodellen beschikbaar zijn voor een geverifieerd ontwerp. De evaluatie van de fabricage en installatie methode in combinatie met de markt- en financiële analyse hebben geresulteerd in een business case rapport. De resultaten van het business case rapport tonen aan dat de DSJ een technische en kosten interessant alternatief is ten opzichten van de huidige toegepaste verbindingen in de offshore wind parken.

Naar aanleiding van de resultaten van de testen en design rapporten heeft DNV-GL geconcludeerd dat het ontwerp van de DSJ een waardevol alternatief is voor een “grouted” of geboute flens verbinding van een windturbine fundatie. Vanuit het business case rapport is geconcludeerd dat de kosten van de fabricage en levering van de fundaties met een DSJ marginaal hoger zijn dan de alternatieven, maar de kosten van de installatie zijn veel kleiner (18%-34%). De installatie met een DSJ is sneller en fail-safe, welke het project schema versnelt. Dit is niet alleen voordelig vanuit kosten perspectief, maar ook wat betreft risico beperking voor de projectontwikkelaar. Er zijn geen vereisten, aanpassingen of investeringen noodzakelijk in de organisatie van de consortiumleden voor het toepassen van de DSJ in een project.



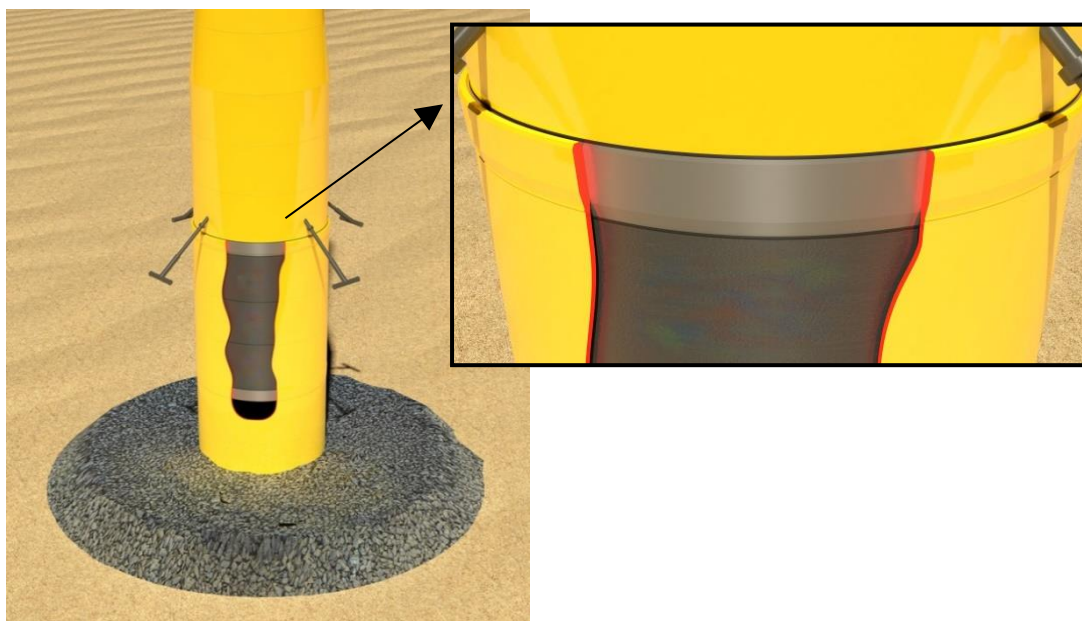
Inhoudsopgave

SAMENVATTING	III
INHOUDSOPGAVE	IV
1 ALGEMEEN	1
1.1 INTRODUCTIE	1
1.2 PROJECT DOEL	1
1.3 PROJECT GEGEVENS	2
1.4 CONTACT GEGEVENS	2
2 ACHTERGROND	3
3 PROJECT UITVOER	4
3.1 ACTIVITEITEN	4
3.2 PARTIJEN	4
3.3 WERKWIJZE	4
4 RESULTATEN	8
5 PUBLICATIES	9

1 Algemeen

1.1 Introductie

De “Double Slip Joint” is een concept, ontwikkeld door KCI the Engineers B.V., als een verbinding tussen een cilindrisch verbinding tussen fundatie en turbine toren voor offshore wind turbines. Dit concept is bedoeld als een alternatief voor de huidige technische oplossingen. Een overzicht van de Double Slip Joint is te zien in Figuur 1-1.



Figuur 1-1 Overzicht van de Double Slip Joint

Voor de verdere ontwikkeling van de Double Slip Joint is het project “Double Slip Joint connection for Offshore Wind Turbine foundations” uitgevoerd in samenwerking tussen KCI the engineers, Van Oord Offshore Wind Projects B.V. en SiF Netherlands B.V.

Het project is een opvolging van de eerder uitgevoerde kleine schaal testen (1:28) van de DSJ, waarbij gebruik is gemaakt van een plastic prototype. In deze testen is het mechanische gedrag van de DSJ onderzocht wat heeft geresulteerd in een analytisch reken model en een gedetailleerd FEM model. Met het testen op schaal 1:5, met een stalen prototype, worden de onbekende effecten van het gedrag van de DSJ onder dynamische belasting onderzocht. Het betreft de effecten op het gedrag van de DSJ met betrekking tot het materiaal (staal in plaats van plastic) en de haalbaarheid van fabricagetoleranties.

1.2 Project doel

Het doel van het project is het ontwerpen, testen en valideren van een prototype DSJ op schaal 1:5. Hierbij wordt de functionaliteit van de DSJ getest en rekenmodellen gevalideerd. Deze zullen als basis dienen voor een verder te ontwikkelen, gecertificeerd ontwerp die in de industrie kan worden toegepast.

De beoogde resultaten zijn:

1. Gevalideerd werkend principe van de DSJ op schaal 1:5
2. Validatie van mechanisch reken model voor ontwerp op ware grote
3. Evaluatie van een fabricage methode
4. Evaluatie van een installatie methode
5. Business case rapport, inclusief markt analyse, alternatieve DSJ toepassingen, economische analyse en marketing strategie.
6. Design rapport en tekeningen van een DSJ voor turbine van 8 MW
7. Verificatie brief van DNV-GL



1.3 Project gegevens

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.” Regeling Nationale EZ subsidies: § 4.3.23. Wind op zee: R&D Projecten

De projectdetails zijn onderstaand weergegeven.

Tabel 1-1 Projectdetails

Onderwerp	Beschrijving
Project nummer	TEWZ116901
Project titel	Double Slip Joint connection for Offshore Wind Turbine foundations
Penvoerder	KCI the engineers B.V.
Mede aanvragers	Van Oord Offshore Wind Projects B.V.
	SiF Netherlands B.V.
Project periode	1 juni 2016 tot en met 30 maart 2018

1.4 Contact gegevens

Voor meer informatie over het project of over de Double Slip Joint kunt u contact opnemen met:

KCI the engineers B.V.

De Brauwweg 62
3125 AE Schiedam
The Netherlands

Marc Groenendijk
Managing Director

Tel: +31 (0) 10 4270399

Email: info@kci.nl



2 Achtergrond

Wind energie is een belangrijke bron voor het behalen van de doelstellingen voor het beleid van duurzame energie. In de komende jaren zullen er honderden wind turbines op zee worden geïnstalleerd. Elk van deze turbines moet geïnstalleerd en onderhouden worden. Dit gebeurt vaak onder moeilijke condities en tijdsdruk. Een kritisch onderdeel hierin is de verbinding tussen de monopile (de fundatie van de wind turbine) en de turbine toren.

Offshore wind turbines zijn relatief nieuw en de technologische ontwikkeling voor het verbeteren van de betrouwbaarheid en het reduceren van de kosten van de constructie is op dit moment aangaande. De connectie tussen de fundatie en de toren is een van de aspecten die verbeterd moet worden om de economische voordelen van grotere windturbines (groter dan 10MW) te vergroten.

KCI the Engineers heeft de Double Slip Joint (DSJ) ontwikkeld. De DSJ is een innovatieve technologie voor het verbinden van de fundatie en toren van offshore wind turbines. De DSJ biedt diverse voordelen ten opzichte van de conventionele technologieën zoals de grouted of geboute verbinding. De belangrijkste voordelen zijn het reduceren van de installatie tijd en een reductie van de inspectie- en onderhoudskosten. Over de levensduur van de windturbine zal dit zorgen voor een reductie van de kosten van de electriciteit per kWh.

De uitdaging in het ontwerp is het creëren van een oplossing die robuust is, onderhouds vrij is en eenvoudig te fabriceren. Dit moet zorgen voor een substantiele kosten besparing als een bijdrage tot de doelen van de industrie om de offshore wind meer economisch rendabel te maken. Het in dit project toegepaste DSJ concept bestaat uit twee sets van stalen ringen met gelijke conische oppervlakken welke geïntegreerd worden in de standaard cilindrische buis van de Monopile (MP) en de Transition piece (TP). De MP wordt geïnstalleerd in de zeebodem. De TP wordt vervolgens geïnstalleerd in de MP door de TP in de MP te schuiven. Het contact tussen de MP en TP wordt geconcentreerd in de twee sets ringen, welke een klein taps toelopend oppervlak van ongeveer 2 graden heeft. Dit zorgt voor een goed gedefinieerd zelf-vergrendelend staal op staal connectie tussen MP en TP. De turbine toren, nacelle en bladen kunnen direct geïnstalleerd worden na installatie van de TP. In het DSJ concept zal de TP zich binnen een korte periode automatisch vast zetten onder de zwaartekracht en de operationele turbine belasting. Dit resulteert in een stabiele connectie tussen de MP en TP vergelijkbaar met een "gelaste" verbinding.

De DSJ verbinding met een MP kan beide boven en onder water worden toegepast. Het voordeel van de tweede optie is dat de lengte en het gewicht van de paal wordt gereduceerd wat zorgt voor een betere verhouding tussen het gewicht van de MP en TP. Dit kan voordelen hebben bij het selecteren van de meest economisch geschikte installatie / heavy lift schip. Een ander voordeel is dat de volledige bootlanding en elementen voor cathodische bescherming vooraf geïnstalleerd kunnen worden.

Een groot voordeel voor de industrie zal de verkorte installatie tijd zijn. Dit resulteert in een afname van de installatie kosten. Er is geen noodzaak voor het injecteren van grouting materiaal of het vastzetten van bouten. Ook de veiligheid tijdens installatie neemt toe aangezien er minder handmatige activiteiten nodig zijn tijdens de offshore installatie.



3 Project uitvoer

3.1 Activiteiten

Voor het project zijn achtereenvolgens de volgende hoofdactiviteiten uitgevoerd.

1. Het ontwerpen, fabriceren en testen van de DSJ prototype
2. Het opzetten en verifiëren van een rekenmodel ten behoeve van een DSJ op ware grote
3. Het maken van een design pakket van een DSJ voor een 8 MW turbine fundatie
4. Review door certificerende instantie (DNV-GL)
5. Het evalueren van diverse business cases en het opzetten van een business case rapport

3.2 Partijen

Het project is uitgevoerd in een samenwerkingsverband tussen KCI the Engineers B.V., Van Oord Offshore Wind Projects B.V. en SIF Netherlands B.V. Naast bovengenoemde partijen zijn WMC en DNV-GL betrokken bij de uitvoer van het project.

De rollen van elke partij in het project zijn onderstaand beschreven.

- KCI the Engineers B.V.
KCI heeft als voornaamste taak het voorbereiden van het detail ontwerp van het prototype en het ontwikkelen en valideren van ontwerp modellen en methodologie voor het detail ontwerp proces en certificatie van de DSJ.
- Van Oord Offshore Wind Projects B.V.
Als specialist in de installatie van windmolen fundaties is de primaire bijdrage van Van Oord de expertise in fundatie ontwerp, offshore installatie technologie en installatie processen. De kennis van Van Oord wordt benut bij de ontwikkeling van de testen en het uitvoeren van de markt- en economische analyse.
- SiF Netherlands B.V.
SiF zorgt voor de fabricage van het prototype en de as-built rapportage en levert de kennis met betrekking tot fabricage. De kennis van SiF wordt benut bij de ontwikkeling van het prototype en het uitvoeren van de markt- en economische analyse.
- WMC
WMC is een Nederlands Kennis en Test instituut waar de testen op de DSJ prototype worden uitgevoerd.
- DNV-GL
DNV-GL voert een onafhankelijke design review uit.

3.3 Werkwijze

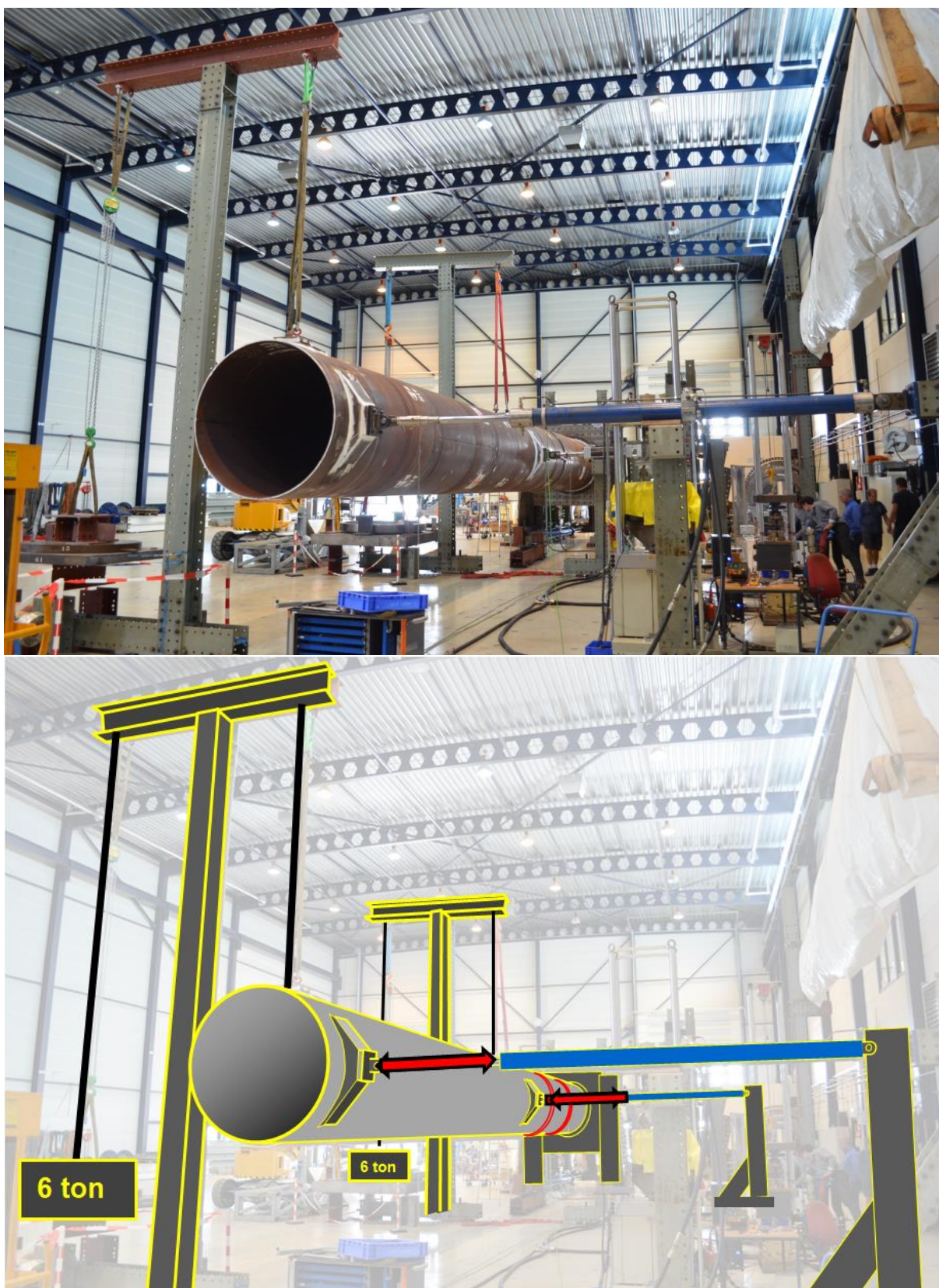
Na het starten van het project zijn er diverse studies uitgevoerd en heeft er technisch overleg plaatsgevonden met betrekking tot het bestuderen en bepalen van fabricage methoden, de ontwikkeling van rekenmodellen, het bestuderen van de effecten en bepalen van de toelaatbaarheid en haalbaarheid van fabricage toleranties.

Vervolgens is een volledig detail ontwerp van het prototype gemaakt. Tijdens het detail ontwerp van het prototype is de fabricage methode van het prototype vastgesteld. Vervolgens zijn met het detail ontwerp pakket de fabricage tekeningen van het prototype gemaakt. De materialen zijn aan de hand van het design pakket besteld en het prototype is gefabriceerd. Na fabricage is het product getransporteerd naar de test faciliteit WMC in Wieringerwerf (Figuur 3-1).



Figuur 3-1 Fabricage en transport van de DSJ prototype

Vooraf aan het afleveren van het prototype bij WMC zijn de test methoden bepaald en is er een testplan opgesteld. Vervolgens is de test set-up opgesteld, welke afgerond is na levering van het prototype, en zijn de testen uitgevoerd (Figuur 3-2). De gegevens en resultaten van de testen zijn geregistreerd en gedocumenteerd in een test rapport.



Figuur 3-2 Test set-up bij WMC



Voor de ontwikkeling van de analytische modellen, het simuleren van het settling gedrag en het berekenen van de nominale spanningen, is er gebruik gemaakt van de verificatie van de test resultaten. De testresultaten geven de mogelijkheid voor het verfijnen van de simulatie modellen. Deze simulatiemodellen worden aangepast zodat beide ring elementen van de Double Slip Joint zich onafhankelijk gedragen van elkaar. Daarnaast zijn FEM modellen ontwikkeld analyses uitgevoerd voor het bepalen van de stress concentraties in de ringen.

Op basis van de test resultaten en ontwikkelde analytische en FEM modellen is een volledig concept design uitgevoerd voor een DSJ van een 8 MW turbine fundatie. Dit heeft geresulteerd in een design rapport en bijbehorende design tekeningen.

DNV-GL is gedurende het project betrokken als onafhankelijke certificerende partij. Daarbij heeft DNV-GL een review gedaan van het test plan en heeft de uitvoering van één test bijgewoond. Daarna heeft DNV-GL reviews gedaan van het test rapport en de FEM berekeningen en het DSJ design rapport. Als afsluiting van het project heeft DNV-GL een brief gestuurd met een samenvatting van de door DNV-GL gemaakte conclusies op basis van de uitgevoerde review.

Naast de ontwikkeling van het prototype en uitvoer van de testen is er divers technisch overleg uitgevoerd voor het bepalen van de specificaties en eisen voor fabricage, transport, opslag en installatie van een DSJ als ook de bijbehorende turbine fundaties. Deze kennis en specificaties zijn meegenomen in de ontwikkeling en input voor de business case. Voor de business case is divers overleg en onderzoek uitgevoerd tussen en door de diverse consortium partners. Hierbij is een financiële- en markt analyse uitgevoerd. De business case in combinatie met de geïdentificeerde overwegingen, scenario's, analyses, resultaten en conclusies zijn beschreven in een business case rapportage.

Gedurende het project hebben er diverse presentaties plaatsgevonden waarbij de ontwikkeling van de DSJ is besproken. Daarnaast zijn er enkele publicaties geweest over de DSJ en heeft er een event plaatsgevonden bij WMC tijdens de test fase, waarbij genodigden de test locatie en het prototype konden bekijken.



4 Resultaten

Zoals in hoofdstuk 3.3 is beschreven is het prototype DSJ ontworpen, gefabriceerd en getest. De testen hebben aangetoond dat de settling van de DSJ tijdens operatie naar een uiteindelijke waarde convergeert welke een volledig vaste verbinding benaderd. Dit is ook van toepassing bij een DSJ onder water. Hiermee is het werkend principe van de DSJ op schaal gevalideerd

Daarnaast zijn op basis van de test resultaten de benodigde analytische- en FEM modellen ontwikkeld. Deze modellen zijn toegepast bij het maken van het design pakket van de full-scale DSJ, waarmee is aangetoond dat de benodigde simulatie en rekenmodellen beschikbaar zijn voor een geverifieerd ontwerp.

De evaluatie van de fabricage en installatie methode in combinatie met de markt- en financiële analyse hebben geresulteerd in een business case rapport. De resultaten van het business case rapport tonen aan dat de DSJ een technisch en kosten interessant alternatief is ten opzichten van de huidige toegepaste verbindingen in de offshore wind parken. Aangezien voornamelijk de installatie en logistieke activiteiten minder tijd kosten ten opzichte van de alternatieven kan de DSJ een voordeel opleveren bij toekomstig project ontwikkelingen.

De fabricage kosten van de DSJ zijn hoger dan de alternatieve oplossingen. Echter door de lagere kosten bij installatie zijn de kosten voor de DSJ in de huidige situatie enkel marginaal hoger. Omdat de fabricage een groot deel is van de totale kosten van de DSJ is de verwachting dat met een optimalisatie van de fabricage van de DSJ de totale kosten voor de DSJ verder zullen reduceren.



5 Publicaties

Zie onderstaande publicaties met betrekking tot de Double Slip Joint (Tabel 5-1).

Tabel 5-1 Publicaties

Datum	Bron	Titel	Referentie
22-11-2017	Yellow & Finch Publishers	Offshore Industry 2017 Issue 6	https://www.ynfpublishers.com/offshore
14-09-2017	OffshoreWIND.biz	Double Slip Joint Developers Eye Borssele V Tender	https://www.offshorewind.biz/2017/09/14/double-slip-joint-developers-eye-borssele-v-tender/
14-09-2017	Renews.biz	Dutch trio drive double joint	http://renews.biz/108483/dutch-trio-drive-double-joint/
13-09-2017	Topsector Energie	Double slip joint step closer to market introduction	https://topsectorenergie.nl/nieuws/double-slip-joint-step-closer-market-introduction
30-08-2017	Oceanteam	Oceanteam ASA reports H1 2017 results	http://www.oceanteam.nl/newsitems/article/oceanteam-asa-reports-h1-2017-results
24-08-2017	WMC	TKI Double Slip Joint project update	https://wmc.eu/news18.php
24-08-2017	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland	Double Slip Joint connection for Offshore Wind Turbine foundations	https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/projecten/double-slip-joint-connection-offshore-wind-turbine-foundations
30-09-2016	OffshoreWIND.biz	KCI Secures Funds and Partners to Build Double Slip Joint Prototype	https://www.offshorewind.biz/2016/09/30/kci-secures-funds-and-partners-to-build-double-slip-joint-prototype/