

# C-TOWER

## REDUCING TOWER WEIGHT OF OFFSHORE WIND TURBINES USING COMPOSITE MATERIALS



|                   |  |
|-------------------|--|
| <b>Betreeft:</b>  | <b>Openbare samenvatting eindrapportage</b>  |
| Projectnummer:    | TEWZ115015   |
| Projecttitel:     | C-Tower  |
| Datum:            | 23 maart 2018  |
| Penvoerder:       | WIND2020   |
| Project partners: | Jules Dock Composites<br>Kenniscentrum Windturbine Materialen en Constructies (WMC)              |
| Projectperiode:   | 01-09-2015 tot 01-01-2018 <sup>1</sup>   |
| Contact:          | dhr. J. (Jelmer) de Lange ( <a href="mailto:j.delange@julesdock.nl">j.delange@julesdock.nl</a> ) |

---

<sup>1</sup> Project aanvraag was voor periode 01-09-2015 tot 01-10-2017, in de zomer van 2017 is verlenging van het project aangevraagd bij rvo.nl en verleend, door verlenging liep het project tot 1-1-2018.

## INLEIDING

Offshore windenergie is een groeiende markt, vooral in Noordwest-Europa zorgen de doelstellingen van de klimaatovereenkomst van Parijs voor een reeks aan nieuwe offshore wind projecten. Een van de uitdagingen voor de offshore wind energiemarkt is om de energie economisch interessant te maken, met andere woorden concurrerend met andere energiebronnen. Een mogelijke oplossing om de kosten van offshore wind omlaag te brengen is door het vervangen van de stalen toren. In het project C-Tower is door WIND2020, Jules Dock Composites en WMC een technisch concept ontworpen wat economisch interessant is ten opzichte van stalen torens.

De rol van WIND2020 (pervoerder) in het C-Tower project was gericht op project management, valorisatie en business development. WIND2020 was als innovatieplatform een initiatief van Jules Dock, maar is inmiddels niet meer actief.

Jules Dock Composites richtte zich in dit project op de engineering en productie. Jules Dock Composites maakt composiet maatoplossingen voor andere de maritieme sector met veel kennis over vezels, harsen, laminaten en productietechnieken.

Kenniscentrum WMC is expert in het doorrekenen van onder andere sterkte en stijfheid van windmolen bladen middels het eigen software pakket FOCUS6. Daarnaast heeft WMC een laboratorium waar statische en dynamische testen gedaan worden op composiet materialen.

## SAMENVATTING C-TOWER

In september 2015 zijn WIND2020, Jules Dock Composites en Kenniscentrum WMC het project C-Tower gestart. Doel van het project was het komen tot een technisch en economisch haalbaar torenontwerp voor de offshore windindustrie, gebaseerd op composiet. Composiet als bedoeld in dit verslag zijn vezelversterkte kunststoffen. Primair doel is het terugbrengen van de kosten voor energie opgewekt met windmolens op zee door het toepassen van deze innovatie. Kunststoffen worden nu al gebruikt in de bladen van windmolens maar komen tot op heden nog niet terug in de torens. Composiet materialen zijn in verhouding tot staal licht van gewicht en relatief onderhoudsvrij. Er zijn geen lasnaden of boutverbindingen die geïnspecteerd hoeven te worden, het materiaal kan niet roesten.

Op zee zijn de torens nu van staal, een 5MW turbine met een toren van 90 meter weegt daardoor al ruim 300 ton. De trend om steeds grotere turbines te plaatsen (10MW en meer) vraagt om hogere torens, ruim boven de 100 meter. Het gewicht van de stalen torens neemt daardoor toe, wat installatie op zee lastiger maakt. Een stalen toren voor een 10MW turbine zal ruim 600 ton gaan wegen.

De materiaaleigenschappen van composiet vragen een nieuwe benadering in het ontwerp van torens die voldoet aan eisen in stijfheid en sterkte. Het resultaat van het C-Tower project is een toren design met een gewichtsbesparing van 40%, onder vergelijkbare eigenschappen als levensduur, stijfheid en sterkte.

Het C-Tower project is geëindigd in december 2017 nadat een schaalmodel was gebouwd door Jules Dock Composites en getest bij Kenniscentrum WMC. Momenteel gaan partijen verder met de resultaten in een vervolgstudie (IDL-Tower) samen met ECN en worden de eerste stappen gezet richting commercialisatie.

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

## DOELSTELLING

Het C-Tower project heeft als doel de haalbaarheid aan te tonen van het vervangen van de stalen toren door een vergelijkbare toren gemaakt van een composietstructuur, met als doel het onderhoud en daarmee de levenscycluskosten van de gehele windturbine te verminderen. De productiekosten worden verlaagd door gebruik te maken van geautomatiseerde productietechnieken. De transport- en installatiekosten worden verlaagd door het gewichtsvoordeel van een lichtere toren.

## WERKWIJZE

In de eerste fase werden de uitgangspunten van het ontwerp bepaald. Vooraf was niet bepaald in welke mate het totale windmolen ontwerp aangepast zou worden ten behoeve van een optimaal composiet toren ontwerp. Hoewel er veelbelovende ideeën en mogelijkheden in het gebruik van composiet in torens bestaan, bleek ook dat kaders nodig waren om het project gericht te sturen. Het was in de projectperiode van twee jaar niet mogelijk om alle ideeën door te rekenen. Er werd besloten dat de composiet toren zoveel mogelijk zou moeten aansluiten bij funderingen en turbines die in de markt omstreeks 2020 “standaard” beschikbaar is. Dit om de introductie van de innovatie zo laagdrempelig mogelijk te houden. De 10MW DTU onderzoek turbine werd als uitgangspunt genomen, met een funderingsdiameter die ook voor staal geschikt zou zijn. Een locatie op de Noordzee waar eerder ontwerpstudies voor waren gedaan werd gebruikt om loadsets te voorzien van data zoals golven, wind en getijden.

In het kader van valorisatie is gedurende het C-Tower project steeds actief contact gezocht met kennisinstellingen en industrie experts. Ook is gebruik gemaakt van mogelijkheden om het project op seminars of congressen onder de aandacht te brengen met pitches, poster presentaties of lezingen. Tijdens brainstormsessies met studenten werd bovendien out-of-the-box naar het concept gekeken, om zodoende alternatieve oplossingen voor praktische problemen niet uit het oog te verliezen. Tot slot is door WMC en Jules Dock een gezamenlijk artikel gepubliceerd.

## RESULTAAT

Om de kosten van offshore windenergie verder omlaag te brengen ontwikkelt Jules Dock een concept waarin de stalen windturbinetoren vervangen wordt door een toren van glasvezelversterkt kunststof.

In 2015 en 2016 is het doorrekenen van composiet torenontwerpen uitgevoerd met een loadset op een Noordzee-locatie met een 10 MW DTU turbine als referentie. Met name een flexibel ontwerp biedt de meeste potentie voor een innovatief en haalbaar concept. Hiervoor is op maat een composiet laminaat ontworpen om de toren zo optimaal mogelijk uit te voeren.

Er is onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om een composiet toren te verbinden met het transition piece of monopile aan de voet, en de kruilager aan de top. Uiteindelijk is het verbinden met t-bolts gekozen als wenselijke oplossing, deze methode wordt ook gebruikt om composiet windmolenbladen te verbinden met de stalen rotor.

Met een Life Cycle Cost analyse is in kaart gebracht wat de kosteffecten zijn van een composiet windmolen toren, in vergelijking met een soortgelijk exemplaar van staal. De kosten voor de toren zelf bestaan uit materiaal- en productiekosten. De prijs per kilogram materiaal is duurder voor composiet dan voor staal, maar de massa van de toren wordt eveneens teruggebracht van 628 ton naar 385 ton door het lichtere ontwerp. De totale materiaalkosten van een composieten toren komen uit in dezelfde orde van grootte als een stalen toren, gebaseerd op het laatste C-Tower ontwerp. Er is sprake van een relatief hoge investering en lage variabele kostprijs in het productieproces. Vanwege de vermindering van het gewicht blijkt uit berekeningen bovendien dat de transporttijd en installatietijd met 33% kan worden verminderd. Op locatie maakt het lagere gewicht installatie eenvoudiger.

De materiaaleigenschappen en structurele veranderingen van composiet zijn voordelig in onderhoud. Composiet heeft over het algemeen een betere weerstand tegen vermoeiing dan staal. Daarnaast is composiet niet gevoelig voor corrosie in zeewater, waar corrosie een negatieve invloed heeft op de levensduur van een stalen toren. Ook zijn in een composiet toren minder moeheid gevoelige gebieden zijn aanwezig. Er is geen sprake van lasnaden zoals in een stalen toren, doordat de toren uit één stuk geproduceerd wordt zijn er ook minder boutverbindingen aanwezig. Een beschermende coating is wel nog steeds noodzakelijk omdat de hars in een composiet ontwerp gevoelig is voor water absorptie en UV-straling.

Een productietechniek is uitgewerkt voor het produceren van een schaalmodel, deze machine is in 2017 door Jules Dock opgebouwd. In het najaar van 2017 is een schaalmodel geproduceerd van het torenontwerp. Op basis van het composiet 10MW ontwerp wat ontstond in 2016 is een terug schaal berekening gemaakt in lengte met een schaal 1:20, in diameter met een schaal 1:10. Er is een mal geproduceerd die overeenkomt met de interne dimensies van het schaalmodel.

Dit schaalmodel is getest op statische en dynamische belastingen door WMC.

## **MOGELIJKHEDEN VOOR SPIN-OFF EN VERVOLGACTIVITEITEN**

De ontwikkeling van composieten torens voor windmolens is tussen 2015 en 2017 flink vooruitgegaan, maar bevindt zich nog steeds in de lagere TRL-levels. Er is een fundamenteel begrip ontstaan van de mogelijkheden met composieten materialen in het ontwerpen van torens en in het produceren daarvan. Hiermee zijn op laboratorium schaal de eerste experimenten gedaan.

Meer uitgebreide experimenten op grotere schaal zijn nodig om het concept verkoop klaar te maken. Daarnaast is het ontwerp technisch nog niet geoptimaliseerd, er ligt nog veel ruimte voor verbetering waardoor een gewichtsbesparing van minimaal 50% haalbaar is.

Om deze volgende ontwikkelfase te realiseren is door Jules Dock en WMC een nieuwe TKI Wind op ZEE R&D-projectaanvraag gedaan, IDL-Tower, in het voorjaar van 2017. Kennisinstelling ECN heeft zich ook bij dit project aangesloten. In dit vervolgproject wordt het ontwerp geoptimaliseerd door een integrale ontwerpstudie uit te voeren, hierin worden ook de effecten van een lichtere toren meegenomen in het ontwerp van de fundering en het ontwerp van de pitch controller. Dit integrale ontwerp zal nog beter in staat zijn een grote gewichtsreductie in het totale systeem te onderbouwen. Ook worden opnieuw schaalmodellen geproduceerd en getest.

Een belangrijke milestone daarna is een demonstrator project. Jules Dock is actief op zoek naar funding en partners om in Nederland een grote (50 meter of meer) toren te plaatsen en deze met een werkende turbine te testen.

## **CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN**

Uit het project C-Tower is gebleken dat het mogelijk is om torens voor offshore windmolens lichter te maken door composiet in plaats van staal te gebruiken. Rekenen met composiet is complex, het vaststellen van een ontwerp wat volstaat in alle loadcases op het gebied van bijvoorbeeld stijfheid of sterkte is daardoor niet eenvoudig. Het produceren in composiet is ook complex, het bereiken van een vezel-volume gehalte gelijk aan het technisch ontwerp is achteraf lastig te bepalen gezien de aard van het materiaal. Ondanks deze uitdagingen is het gelukt om een toren te ontwerpen die 38% lichter is en deze op schaal na te bouwen. Zowel in het ontwerp proces als in het productie proces liggen nog veel verbeter mogelijkheden. In het ontwerp proces zou daarom een gewichtsbesparing van 50% goed haalbaar moeten zijn. In het productie proces is nog een verbeterstap te maken door de kwaliteit (produceren volgens tekening) te verbeteren. Hierbij is het opbouwen van ervaring en kennis over de productietechniek essentieel.

Om deze verbeterstappen vorm te geven is door de partijen Jules Dock en WMC een aanvraag gedaan bij RVO voor een vervolgstudie: IDL-Tower. Dit project is toegekend waardoor de partijen in de periode 2017-2019 met elkaar de verbeteringen waar kunnen gaan maken.



## **PUBLICATIE**

Door Tjeerd van der Zee (WMC), Marten Jan de Rooter (WMC) en Ivo Wieling (Jules Dock Composites) is een artikel geschreven over de C-Tower, als onderdeel van de DeepWind 2017 conferentie in Trondheim, Noorwegen. Inmiddels is het artikel geaccepteerd en online terug te lezen: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217353419>.

## **CONTACT**

Voor meer informatie over C-Tower neem contact op met dhr. J. (Jelmer) de Lange via mail: [j.delange@julesdock.nl](mailto:j.delange@julesdock.nl).