**Project**

Blade installation tool

**Subsidie**

R&D projecten – TKI Wind op Zee

**Referentienummer RVO**

TEWZ116046

# BLADE INSTALLATION TOOL - OPENBAAR EINDRAPPORT - WIND OP ZEE - R&D PROJECTEN

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 05-06-2020 | F | WGR | SLE | PBA |
| **rev#** | **datum** | **status** | **initialen** | **initialen** | **initialen** |
| Status code:<br><br>P - Preliminary<br>C - Concept<br>F - Final | | | Auteur: | Goedkeuring TWD | Goedkeuring RW |

Information contained in this document is of confidential nature. No part of this document may be reproduced in any form, by print, photo print, microfilm or any other means without prior written permission from Temporary Works Design BV.

# Index

**1. Algemene informatie ... 3**
**2. Samenvatting ... 4**
**3. Inleiding ... 5**
**4. Doelstelling ... 7**
**5. Resultaten ... 8**
5.1. Type bak of schip ... 8
5.2. Technische specificatie installatie gereedschap ... 8
5.3. Dynamische studie ... 10
5.4. Structureel en mechanisch ontwerp ... 11
**6. Conclusies ... 13**
6.1. Conclusies ... 13
6.2. Bijdrage aan de doelstelling van de regeling ... 13
6.3. Spin-offs ... 13
**7. Openbare publicaties ... 15**

# 1. Algemene informatie

Hieronder staat de algemene project informatie:

- Referentie nummer: TEWZ116046
- Project titel: Blade installation tool
- Contact persoon: Wesley de Groot (TWD)
- Samenwerkingsverband: Temporary Works Design (Penvoerder)
  Royal Wagenborg (RW)
- Start datum van het project: 01-06-2016
- Stop datum van het project: 03-07-2018
- Publicatie datum: 05-06-2020

“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. Samenvatting

TWD heeft in samenwerking met Royal Wagenborg (RW) gewerkt aan de ontwikkeling van een gereedschap voor het drijvend installeren of vervangen van windturbine bladen op zee. Nu wordt dit gedaan met dure “Jack-up” schepen met overgekwalificeerde kranen, waarvan de werkbaarheid ook nog eens laag is bij hogere windsnelheden.

Het hoofddoel van het project is om de “Levelized cost of Energy” (LcoE) te verminderen door een blad installatiemethode te ontwikkelen, genaamd de BIT, die: (1) de gevoeligheid voor wind vermindert en (2) geen duur installatieschip vereist maar kosteneffectieve middelen gebruikt voor de installatie en het onderhoud van turbinebladen.

Om de haalbaarheid van het hoofddoel te toetsen hebben TWD en RW in dit project gewerkt aan een vijftal onderzoeksvragen: (1) Welk type schip of bak is het meest geschikt, (2) wat is de optimale dek lay-out en werkmethode, (3) aan welke technische specificaties moet het systeem voldoen en welke functies moet het bevatten, (4) hoe moet het blad gehesen worden om met hogere windsnelheden te kunnen werken en (5) wat zijn de specificaties van het bewegingscompensatie systeem.

Er is een totaalontwerp van de BIT uitgewerkt tot bijna “Basic design” niveau. Het ontwerp is getoetst aan de technische specificaties opgesteld tijdens dit project. Tot op het huidige ontwikkelingsniveau voldoet het ontwerp aan de technische specificaties tijdens de drie meest kritieke fases van "Engaging", "Engaged" en “Blade lifting". Dit is aangetoond met 3D-modellen, computersimulaties en numerieke modellen.

Uit de commercieële analyse blijkt dat de BIT in zijn huidige vorm het meest interessant is voor het repareren en vervangen van bladen. Voor het installeren van nieuwe turbines is het, met de gezakte dagprijzen voor “Jack-ups”, een minder besparende optie.

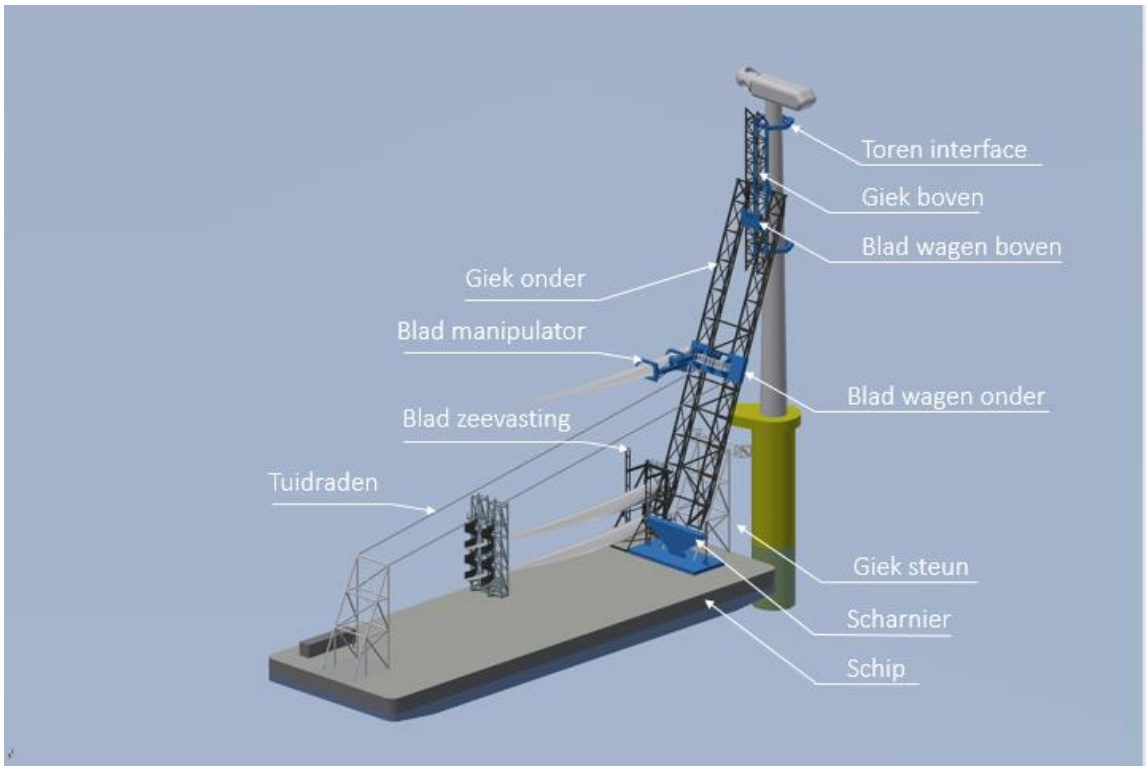
Gezien het project vroegtijdig is beëindigd, zijn de onderzoeksvragen niet volledig en niet tot het aanvankelijk afgesproken ontwikkelingsniveau beantwoord.

*Figuur 2-1: Afbeelding van de BIT*

# 3. Inleiding

Voor de installatie van offshore turbines zijn dure “Jack-up” installatieschepen nodig om de torens, nacelles en bladen op de vooraf geïnstalleerde funderingen te installeren. Voor de installatie van de torens en nacelles zijn kranen met veel capaciteit vereist. Maar voor de installatie van de bladen (3 van de 5 hijsoperaties per turbine) zijn de kranen grotendeels overgekwalificeerd. Het blad is namelijk gemiddeld meer dan 10 keer zo licht als de toren of de nacelle. Daarnaast is het in de industrie een uitdaging gebleken om de bewegingen van het relatief lichte blad in de kraan, ten gevolge van wind belasting, te controlleren. Dit leidt tot een aanzienlijke hoeveelheid windgerelateerde stilstand van de dure installatieschepen tijdens het installeren van nieuwe bladen maar ook tijdens vervangings- of reparatiewerkzaamheden.

Op basis van de operationele en logistieke input geleverd door Royal Wagenborg (RW), heeft TWD een speciale installatiemethode ontworpen die in staat is om bladen te installeren in dezelfde weersomstandigheden als gebruikt voor de installatie van torens en nacelles (Figuur 3-1). Om dit te bereiken worden de storende scheepsbewegingen ontkoppeld of gecompenseerd. Bovendien wordt de invloed van de windsnelheid op het installatieproces verminderd door het blad tijdens het hijsen volledig te ondersteunen in plaats van het blad in een kraandraad te laten hangen.




*Figuur 3-1: Overzicht van de onderdelen van de BIT*

TWD en RW hebben samengewerkt om de hierboven beschreven bladinstallatiemethode te ontwikkelen. TWD heeft ervaring met het structurele en mechanische ontwerp van installatiegereedschap voor de offshore windmarkt, terwijl RW de benodigde schepen en middelen bezit om de daadwerkelijke installaties of vervangingen uit te voeren.

Het hoofddoel van het project is om de “Levelized cost of Energy” (LcoE) te verminderen door een bladinstallatiemethode te ontwikkelen die: (1) de gevoeligheid voor wind vermindert en (2) geen duur installatieschip vereist maar kosteneffectieve middelen gebruikt voor de installatie en het onderhoud van turbinebladen.

Dit openbare eindrapport geeft een beknopt overzicht van de volgende zaken:

- Samenvatting van de uitgangspunten en de doelstelling van het project en de samenwerkende partijen
- Beschrijving van de behaalde resultaten, de knelpunten en het perspectief voor toepassing
- Beschrijving van de bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling (duurzame energiehuishouding, versterking van de kennispositie)
- Spin-off binnen en buiten de sector
- Overzicht van openbare publicaties over het project en waar deze te vinden of te verkrijgen zijn

# 4. Doelstelling

Het doel van het project is om de volgende hoofdonderzoeksvraag te beantwoorden: Hoe kan de efficiëntie van bladinstallaties worden gemaximaliseerd door een schip of bak te gebruiken? Naast deze hoofdonderzoeksvraag worden hieronder de volgende deelvragen gedefinieerd, met een korte toelichting:

1. Welk type schip of bak is het meest geschikt voor installatie / onderhoud van schepen in termen van commerciële waarde en logistiek?
*RW – De afweging moet worden gemaakt tussen een groot schip volgeladen met bladen met een relatief lage vaarsnelheid of tussen kleine en snellere opties met ruimte voor slechts 3 bladen zoals "Platform supply vessels".*

2. Wat is de optimale dek lay-out en hoe kunnen de load-out, doorvoer en installatie optimaal worden geïntegreerd in de installatiemethode?
*RW / TWD – Het installeren van de bladen is één ding, maar de hele installatiemethode moet één geïntegreerde oplossing zijn. Zonder kraan op het schip ontstaan er extra uitdagingen voor het uitladen van de bladen in de terminal. Bovendien moet de logistiek aan boord worden geoptimaliseerd (hoe het blad in het hijsgereedschap te brengen, enz.)*

3a. Welke functionaliteiten zijn vereist op het bladinstallatiegereedschap om de bladen efficiënt van dek naar nacelle niveau te brengen en ze op de nacelle aan te sluiten?
*TWD – Als er geen kraan beschikbaar is, moet een alternatieve constructie worden ontworpen om de bladen op te tillen.*

3b. Welke structurele maatregelen zijn nodig om de afhankelijkheid van bladinstallaties van de windsnelheid te minimaliseren?
*TWD – Wind is momenteel de beperkende factor voor de werkbaarheid van bladinstallaties. De alternatieve bladinstallatiemethode moet werkzaam kunnen zijn bij hogere windsnelheden.*

3c. Welke maatregelen voor bewegingscompensatie zijn nodig op de tool om voldoende werkbaarheid te bereiken om te kunnen werken in hetzelfde weervenster als de "Jack-up" die torens en nacelles installeert?
*TWD – Het gebruik van een drijvend vaartuig resulteert in verstorende vaartuigbewegingen. Om het blad nauwkeurig op 120 meter hoogte met de nacelle te verbinden, zijn slechts zeer beperkte relatieve bewegingen tussen het blad en de nacelle toegestaan.*

# 5. Resultaten

Beschrijving van de behaalde resultaten, de knelpunten en het perspectief voor toepassing.

## 5.1. Type bak of schip

Er is een commercieel model opgesteld waarin een afweging is gemaakt tussen factoren zoals: windpark grootte, afstand naar de haven, werkbaarheid, aantal bladen per trip. Uit deze afweging kan worden geconcludeerd dat het, voor het installeren van nieuwe windparken die steeds verder uit de kust liggen, commercieel gezien gunstig is om een “heavy transport vessel” of bak te gebruiken met een grote beladingscapaciteit. Voor het vervangen van bladen voor onderhoudswerkzaamheden is het meer economisch om een “platform supply vessel” te gebruiken.

Voor de verschillende schepen is tevens bekeken hoe het drijvend bladen installeren en uitwisselen gedaan kan worden en welke functionaliteiten daarbij vereist zijn. Een voorbeeld van een resultaat van deze studie is dat voor het uitvoeren van reparatie werkzaamheden op dek een overkapping nodig is voor het kwalitatief onderhouden van bladen in een geconditioneerde ruimte.

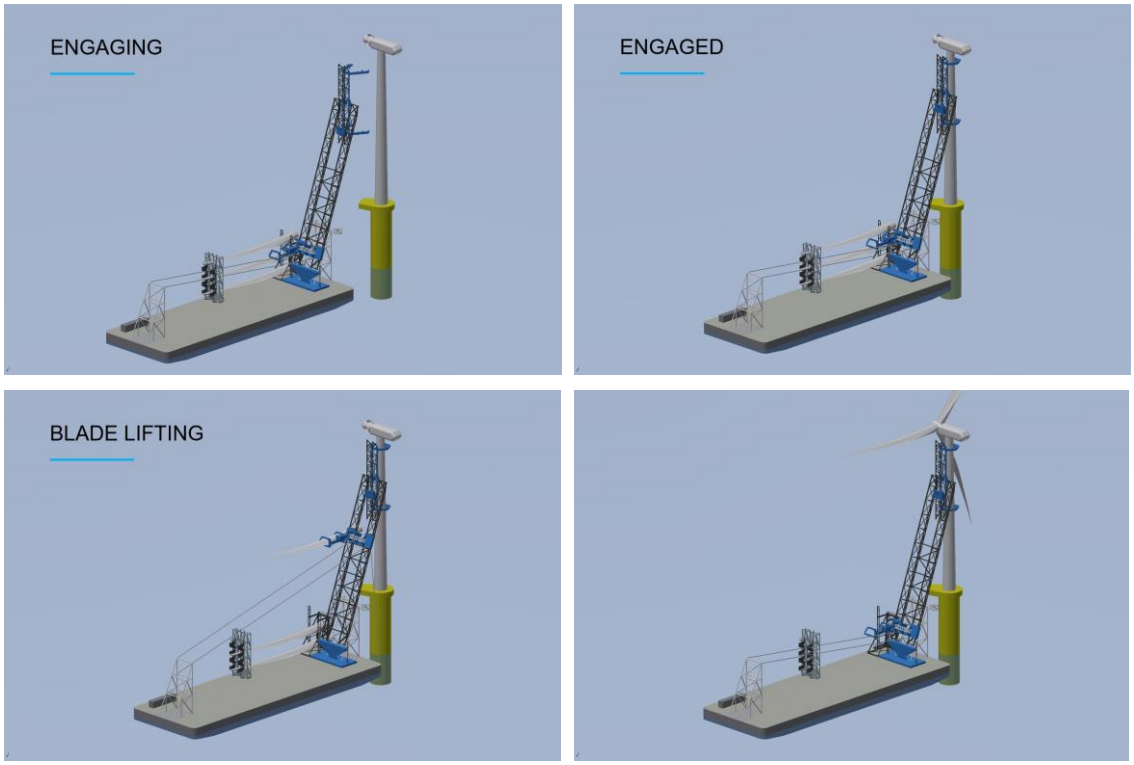
*Figuur 5-1: Overzicht vlnr "Heavy transport vessel", Bak en "Platform supply vessel" uitgerust met een BIT*

## 5.2. Technische specificatie installatie gereedschap

Om tot de technische specificatie van de installatie methode en de gereedschappen te komen zijn discussies gevoerd met de verschillende relevante stakeholders, (1) windpark eigenaren, (2) turbine ontwerpers, (3) turbine installatie aannemers en (4) turbine onderhoud aannemers. Om het idee en de methode te verduidelijken is voor deze gesprekken naast afbeeldingen en presentaties ook een schaalmodel (Figuur 5-2) gemaakt.

*Figuur 5-2: Schaalmodel van de BIT gebruikt in gesprekken met relevante stakeholders*

De resultaten uit de gesprekken met de stakeholders waren de vereisten voor de operatie (veiligheid, volgorde, snelheid, deklayout, etc.), en de eigenschappen van de turbine componenten (maximale krachten, stijfheid, afmetingen, gewichten etc.). Een voorbeeld van een belangrijke vereiste aan de turbine componenten is dat de coating op de toren een maximale drukkracht van 5MPa aankan. Daardoor moet de interface met de toren dus een groot oppervlak hebben of de kracht op de toren moet laag zijn om de coating niet te beschadigen.




*Figuur 5-3: De drie fases "Engaging", "Engaged" en "Blade lifting" hebben de meest uitdagende technische vereisten*

Ook zijn tijdens de discussies met de stakeholder de technische knelpunten voor de operatie gespecificeerd, dit heeft geresulteerd in drie hoofduitdagingen (Figuur 5-3): (1) het bewegingsgecompenseerd grijpen van de toren “Engaging fase”, (2) het vasthouden en volgen van de toren “Engaged fase” en tot slot (3) het blad hijsen en in de nacelle steken “Blade lifting fase”. Deze operationele situaties zijn geanalyseerd, de resultaten hiervan staan beschreven in het volgende hoofdstuk.

Naast technische resultaten werd in de discussies met de stakeholders bevestigd dat het commercieel gezien interessant is om het repareren en vervangen van bladen op een andere manier te doen. Nu wordt het repareren van bladen veelal gedaan door vakmensen hangend in de touwen langs een blad. Het alternatief voor het repareren van de bladen, waarbij tevens ook bladen kunnen worden vervangen, is gelijk aan de conventionele installatiemethode van bladen, namelijk met “Jack-up” schepen. Waarbij de eerste oplossing als onveilig en niet kwalitatief wordt beschouwd en de tweede oplossing vaak erg duur is.

Een andere non-technische uitkomst is dat de dagprijzen van de “Jack-up” schepen een dalende lijn hebben aangenomen sinds de start (2016) van het project. Hierdoor is de commerciële haalbaarheid van de BIT in zijn huidige vorm voor het installeren van bladen in het geding gekomen.

## 5.3. Dynamische studie

Om inzicht te krijgen in de bewegingen en krachten die voorkomen tijdens de drie fases van "Engaging", "Engaged" en “Blade lifting" zijn numerieke modellen en computersimulaties gebruikt. In de modellen zijn (1) de scheepsbewegingen, (2) de toren van de turbine gefundeerd op de monopile in het zeebed en (3) de BIT tussen het schip en de toren in gemodelleerd. Het systeem van deze drie componenten wordt beinvloed door de aanwezige golven, wind en stroming waardoor er bewegingen en krachten in het systeem voorkomen.

*Figuur 5-4: Afbeelding van één van de computersimulaties van de BIT in Orcaflex*

Met behulp van de computersimulaties in Orcaflex (Figuur 5-4) is achterhaald welke krachten op de toren worden uitgeoefend bij de gewenste operationele weerscondities en wat het bereik is van de relatieve bewegingen. Hiermee is bepaald welke functionaliteiten het systeem moet bevatten om binnen de technische specificatie te blijven. Om bijvoorbeeld te voorkomen dat er te veel kracht horizontaal op de toren wordt uitgeoefend zijn er aan de BIT tuidraden toegevoegd (Figuur 3-1) die de onderste giek ondersteunen en daarmee de krachten op de toren verminderen. Daarnaast is met de computersimulaties ook de capaciteiten bepaald van de verschillende actuatoren om de bewegingscompensatie uit te voeren.

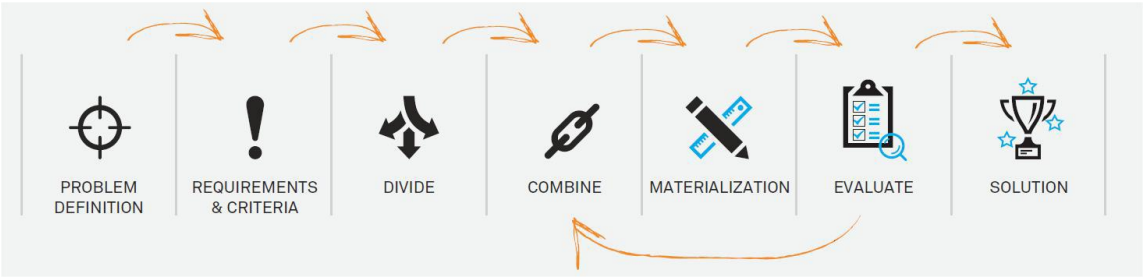
Met het numerieke model is de computersimulatie gevalideerd. Ook zijn met dit model de structurele eisen van de giek bepaald. Zo is bijvoorbeeld achterhaald wat de minimale stijfheid van de onderste giek moet zijn om tijdens de “Engaging” fase de bewegingen van de giek onder controle te kunnen houden met de bewegingscompensatie.

## 5.4. Structureel en mechanisch ontwerp

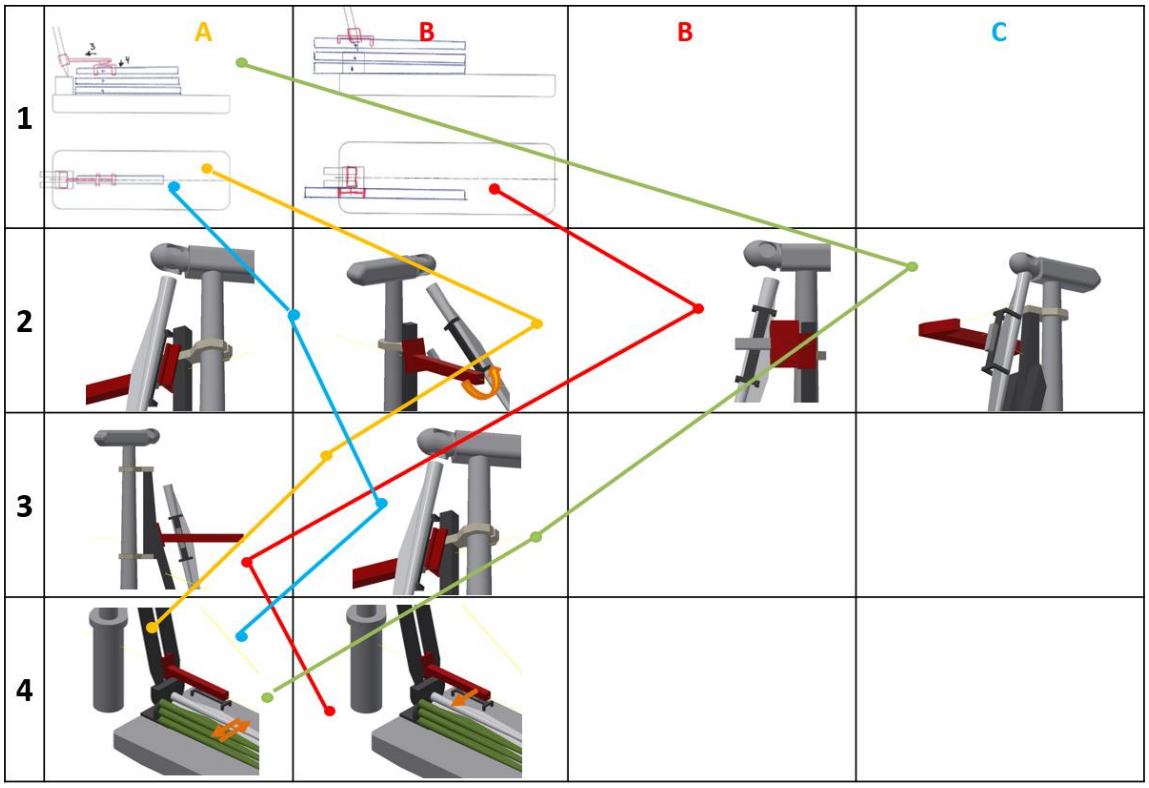
Parallel aan de dynamische studies is het structurele en mechanische ontwerp gestart. De functionele ontwerpmethode zijn gebruikt om een geïntegreerd ontwerp te maken met alle functionaliteiten die volgden uit de dynamische analyses. De functionele ontwerpmethode (Figuur 5-5) volgt een reeks stappen om de beste algemene oplossing voor complexe ontwerpproblemen te vinden.

Als eerste wordt het ontwerpprobleem zo specifiek mogelijk gedefinieerd, zodat alle betrokken partijen een duidelijk en hetzelfde beeld hebben van wat wordt onderzocht. De ontwerpvereisten zijn opgesteld, samen met de criteria die werden gebruikt om verschillende oplossingen te testen.

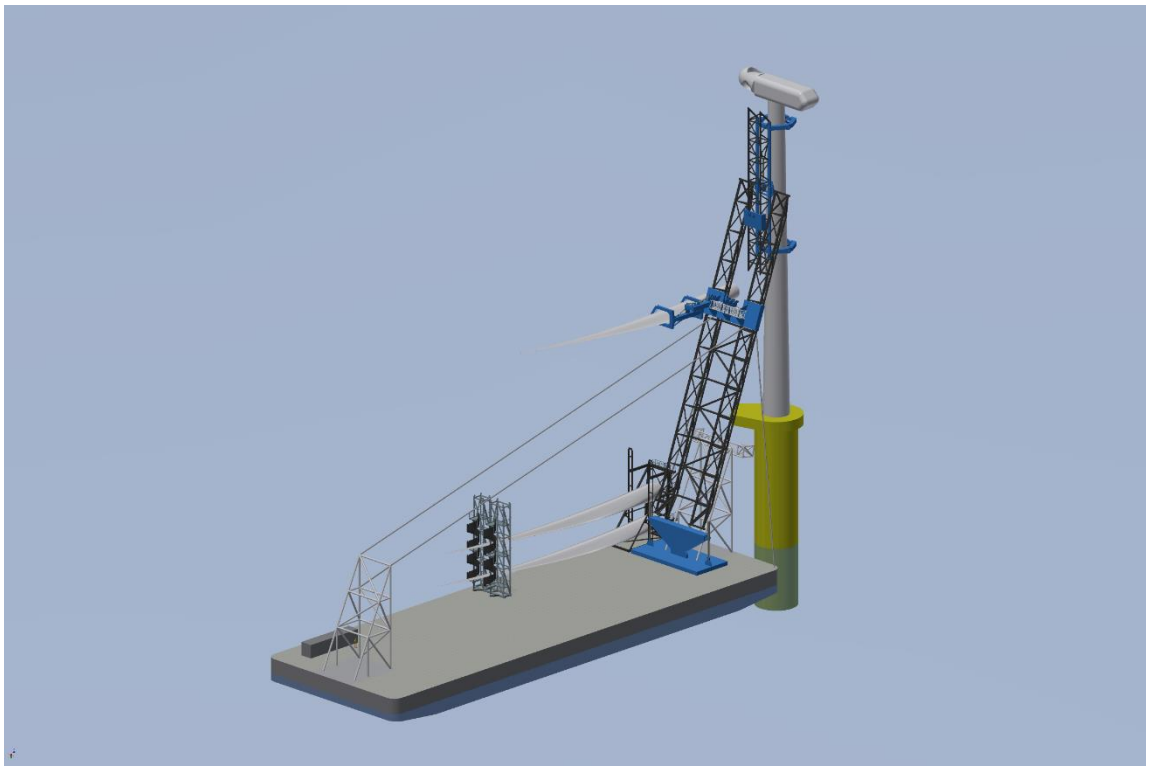
Vervolgens is het ontwerpprobleem verdeeld in kleinere deelproblemen, zo klein mogelijk. Voor al deze kleinere subproblemen zijn in totaal meer dan 100 suboplossingen ontworpen, enkele voorbeelden zijn te zien in Figuur 5-6. Deze oplossingen zijn gecombineerd tot meerdere logische totaalconcepten. Elk concept is vervolgens gematerialiseerd met snelle berekeningen, schetsen en schattingen. Deze conceptontwerpen kunnen worden beoordeeld aan de hand van de technische specifiatie en de criteria. Met als voorlopig eindresultaat het totaalontwerp in Figuur 5-7.




*Figuur 5-5: Procesbeschrijving van de Functionele ontwerpmethode*




*Figuur 5-6: Voorbeeld van een aantal subproblemen van de blad logistiek en suboplossing van de functionele ontwerpmethode*



*Figuur 5-7: Uiteindelijke totaalontwerp*

# 6. Conclusies

## 6.1. Conclusies

Er is een totaalontwerp van de BIT uitgewerkt tot bijna “Basic design” niveau. Het systeem is getoetst aan de technische specificatie opgesteld tijdens dit project. Tot op het huidige ontwikkelingsniveau voldoet het systeem aan de technische specificaties tijdens de drie meest kritieke fases van "Engaging", "Engaged" en “Blade lifting". Dit is aangetoond met 3D-modellen, computersimulaties en numerieke modellen.

Uit de commercieële analyse blijkt dat de BIT in zijn huidige vorm het meest interessant is voor het repareren en vervangen van bladen. Voor het installeren van nieuwe turbines is het, met de gezakte dagprijzen voor “Jack-ups”, een minder besparende optie.

Gezien het project vroegtijdig is beëindigd, zijn de onderzoeksvragen niet volledig en niet tot het aanvankelijk afgesproken ontwikkelingsniveau beantwoord.

## 6.2. Bijdrage aan de doelstelling van de regeling

De BIT introduceert een nieuwe blad installatiemethode en blad vervangingsmethode die: (1) de gevoeligheid voor wind vermindert en (2) een installatieschip en gereedschap vereist met een lagere dagprijs dan de “Jack-up” schepen. Hierdoor zal bij gebruik van deze methode de “Levelized cost of Energy” (LcoE) verminderen.

## 6.3. Spin-offs

Gedurende de studie zijn er verschillende spin-off projecten ontstaan, die dankzij de in dit project opgebouwde kennis versneld zijn ontwikkeld. Een goed voorbeeld hiervan is de “Blade Maintenance & repair tool” die TWD in samenwerking met een klant heeft ontwikkeld.

Het onderwerp is in de huidige tijd alleen maar relevanter geworden. Verschillende offshore aannemers hebben zich nu gecommiteerd aan de bouw van drijvende installatieschepen, waarbij nog geen geschikte oplossing is gevonden om de bladen kostenefficiënt en met een acceptabele werkbaarheid te installeren.

Om te zorgen dat de opgedane kennis over drijvend bladen installeren voor deze uitdaging wordt ingezet heeft TWD recentelijk ook een publicatie gemaakt over de toekomst van de offshore wind installatiemethodes. Er is grote interesse uit de markt voor de reeds opgebouwde kennis. TWD is in gesprek met nieuwe partner(s) om de ontwikkeling door te zetten. Aangezien we zowel het marktonderzoek als de rekenmodellen al hebben verkregen in de studies met RW, verwachten we hier op korte termijn grote stappen in te kunnen zetten.

Zie Tabel 6-1 voor een overzicht van openbare publicaties over spin-offs en waar deze te vinden of te verkrijgen zijn:

*Tabel 6-1: Referenties openbare publicaties spin-offs*

| Titel | Locatie | Datum |
|---|---|---|
| Blade maintenance & repair tool | TWD, Youtube | 01-01-2020 |
| Offshore Wind – Installation Engineering of the future | TWD | 01-10-2019 |

# 7. Openbare publicaties

Zie Tabel 7-1 voor een overzicht van openbare publicaties over het project en waar deze te vinden of te verkrijgen zijn:

*Tabel 7-1: Referenties openbare publicaties BIT*

| Titel | Locatie | Datum |
|---|---|---|
| Offshore Wind – Installation Engineering of the future | TWD | 01-10-2019 |
| Floating blade exchange tool cuts “Jack-ups” out of the equation | TWD | 05-12-2017 |
| Floating blade exchange tool cuts “Jack-ups” out of the equation | Offshorewind.biz | 05-12-2017 |
| Drijvende tool voor onderhoud windturbines | Maritiem Nederland | 10-10-2017 |
| Innovative exchange of WTG components | TWD | 06-10-2017 |
| Innovative ‘Blade Exchange Tool’ | Ocean-energy resources.com | 05-10-2017 |