

HET ONTWERPEN VAN EEN MEETSYSTEEM VOOR EEN VERTICALE AS WATERTURBINE

Onderzoeksrapport

CU08813 | Afstuderen

D. Erceylan | 73757

Version: 1.0
09-06-2021



HET ONTWERPEN VAN EEN MEETSYSTEEM VOOR EEN VERTICALE AS WATERTURBINE

<i>Auteur:</i>	<i>Deniz Erceylan</i>
<i>Studentnummer:</i>	<i>73757</i>
<i>Opdrachtgever:</i>	<i>Water2Energy B.V.</i>
<i>Adres:</i>	<i>Ambachtsweg 9 h, 4421 SK Kapelle</i>
<i>Bedrijfsbegeleider:</i>	<i>Reinier Rijke</i>
<i>Functie:</i>	<i>Algemene directeur</i>
<i>E-mailadres:</i>	<i>rj.rijke@water2energy.nl</i>
<i>Onderwijs instituut:</i>	<i>HZ University of Applied Sciences</i>
<i>Eerste beoordelaar:</i>	<i>Peter van der Heide</i>
<i>Tweede beoordelaar:</i>	<i>Marjoleine van Dootingh</i>
<i>Opleiding:</i>	<i>Mechatronic Engineering</i>
<i>Periode:</i>	<i>01/02/2021 – 02/07/2021</i>
<i>Versie:</i>	<i>1.0</i>
<i>Datum:</i>	<i>09/06/2021</i>

ABSTRACT

In dit onderzoeksrapport wordt het onderzoek en ontwerpproces beschreven dat als doel had het vinden van de meest geschikte methode voor het meten van mechanisch vermogen, interne spanningen, toerental, bladpositie, watersnelheid en waterniveau van en om een verticale as waterturbine van het type Darrieus.

Om dit doel te behalen heeft kwalitatief onderzoek plaatsgevonden waarbij voornamelijk de bevindingen uit wetenschappelijke artikelen met betrekking tot de verschillende meettechnieken rond water en windenergie ter sprake kwamen. Op basis van deze bevindingen en de eisen uit het bedrijf is een meetsysteem voor de waterturbine van Water2Energy B.V. ontwikkeld volgens de ontwerpmethode van het V-model uit Systems Engineering. Vanuit deze ontwerpmethode is het ontwerpproces opgedeeld in een ontwerpfase rond het complete systeem dat vervolgens is opgedeeld in subsystemen. Deze subsystemen zijn het belastingsmeetsysteem, het positiemeetsysteem, het stromingsmeetsysteem en het verwerkingssysteem.

het doel van het belastingsmeetsysteem is het meten van doorbuiging en torsie in verschillende componenten van de roterende turbine om hieruit de cyclische mechanische belastingen en het opgewekte koppel te kunnen bepalen. Deze metingen zijn gebaseerd op het meten van rek op constructies op aanwijzen van sterkteberekeningen en simulaties. In dit onderzoek is gekeken naar het meten van rek middels rekstroken en optische Fiber Bragg Grating sensoren. Verder is het probleem met betrekking tot het overbrengen van voedingsspanning en meetdata tussen een roterende en stationaire wereld opgelost doormiddel van een contactloze inductie koppeling.

Vervolgens is het positiemeetsysteem uitgewerkt wat als doel heeft het toerental van de turbine en de omwentellingshoek van de turbine bladen in de rotatie te meten. Hiervoor is een systeem op basis van inductieve nabijheidssensoren gekozen in combinatie met een tandkrans met 50 tanden waardoor bij elke rotatie 50 keer de rotatiesnelheid gemeten kan worden. In combinatie met een vast referentiepunt kan daarnaast de positie van de turbinebladen gemeten worden ten opzichte van de as waar deze omheen draaien.

Het derde subsysteem dat uitgewerkt is, is het stromingsmeetsysteem. Dit systeem heeft als doel het meten van de stroomsnelheid en het waterniveau voor en achter de turbine. Hier zijn verschillende methoden voor vergeleken waarna een ontwerp op basis van contactloze radarsensoren is gekozen. Om alle meetdata uit deze drie subsystemen vervolgens op te slaan is er een verwerkingssysteem gekozen. In dit systeem wordt alle meetdata ontvangen, bemonsterd en opgeslagen. Daarnaast zal door het programmeren van wiskundige formules de data verwerkt worden tot andere grootheden. Zo wordt uit het toerental de hoeksnelheid berekend waarmee in combinatie met het koppel uit het belastingsmeetsysteem vervolgens het mechanisch vermogen berekend kan worden. Op basis van de benodigde functies is een verwerkingssysteem gekozen.

Vervolgens zijn voor de subsystemen testen uitgevoerd om de functionaliteit te kunnen verifiëren. Door vertraging is het vervolg waarbij de subsystemen geassembleerd en aangesloten zouden worden op het verwerkingssysteem om zo het complete meetsysteem te vormen niet uitgevoerd ten tijde van het schrijven van dit rapport. Dit zal in de toekomst gaan plaatsvinden waarna het meetsysteem door Water2Energy getest en in gebruik genomen zal worden om metingen te verrichten op het prototype waterturbine in de spuisluis bij de Piet Heinkade te Vlissingen.

VOORWOORD

Allereerst wil ik mijn bedrijfsbegeleider Reinier Rijke hartelijk bedanken voor alle steun en uitleg die ik gekregen heb tijdens zijn rol als bedrijfsbegeleider tijdens mijn afstudeerperiode. Ik heb veel geleerd uit de constructieve gesprekken en bijeenkomsten tijdens het project op verschillende vlakken en ben daarnaast dankbaar voor de informele werksfeer.

Daarnaast wil ik Amarinus Schouten van Schouten Engineering & Design bedanken voor het beschikbaar stellen van zijn tijd, expertise en software voor het uitvoeren van simulaties op de turbine. Ook wil ik Menno van de Beek en Laurens Stigter van DB Asset Services en Ed Koens bedanken met hun steun en tips tijdens het uitwerken van de subsystemen en het uitvoeren van de testen.

Vanuit de HZ University of Applied Sciences wil ik Peter van der Heide bedanken voor zijn rol als stagedocent en examiner en de constructieve feedback en tips die ik hierdoor heb kunnen verwerken in het onderzoeksrapport en het uitvoeren van de stage. Ook wil ik Marjoleine Dootingh in de rol van tweede examiner bedanken voor haar feedback op het onderzoeksrapport.

Tot slot wil ik Wim Huibregtse, Gerrit Rentier, Bob Romboud bedanken voor het feit dat ze mij hebben voorgesteld aan de afstudeermogelijkheid bij Water2Energy in tijden van de Covid-19 pandemie waarin het lastig was een opdrachtgever te vinden voor het afstuderen.

AFKORTINGEN

ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
AoA	Angle of Attack (Invalshoek)
CFD	Computational Fluid Dynamics
EMI	Elektromagnetische Interferentie
FBG	Fiber Bragg Grating
FEM	Finite Element Method
HAWT	Horizontal Axis Wind Turbine
LDV	Laser Doppler Velocimeter
TSR	Tip Speed Ratio
VAWT	Vertical Axis Wind Turbine

INHOUD

1. Inleiding.....	1
1.1 Achtergrondinformatie bedrijf.....	1
1.2 Probleemanalyse.....	1
1.3 Opdrachtschrijving.....	3
1.4 Hoofdvraag.....	4
1.5 Deelvragen.....	4
1.6 Doelstelling.....	4
1.7 Globale deliverables.....	4
1.8 Randvoorwaarden.....	4
1.9 Budget.....	5
2. Theoretisch kader.....	6
2.1 Werkingsprincipe van een Darrieus turbine.....	6
2.2 Turbineontwerp van Water2Energy.....	8
2.3 Nadelige turbineomstandigheden.....	9
2.4 Vermogensmetingen van de waterturbine.....	10
2.4.1 Vermogensmeting via de verticale as.....	11
2.4.2 Vermogensmeting per turbineblad.....	14
2.4.3 Vermogensmeting door het elektrisch vermogen te meten.....	14
2.4.4 Sensoren voor vermogensmeting en meting van interne spanningen.....	15
2.5 Spanningsmetingen van de waterturbine.....	18
2.6 Het meten van de waterstroomsnelheid.....	19
3. Methode.....	21
3.1 Onderzoeksmethode.....	21
3.2 Mogelijk Ontwerpmethoden.....	22
3.3 Ontwerpmethode voor het project.....	23
4. Resultaten.....	24
4.1 Systeemontwerp.....	24
4.2 Substelsysteemontwerpen en componentontwerpen.....	26
4.2.1 Belastingsmeetsysteem.....	27
4.2.2 Positiemeetsysteem.....	30
4.2.3 Stromingsmeetsysteem.....	31
4.2.4 Verwerkingssysteem.....	32

4.2.5	Bekasting	32
4.2.6	Subsysteembeschrijving	32
4.3	Componentintegratie en subsysteemintegratie	34
4.3.1	Belastingsmeetsysteem	34
4.3.2	Positiemeetsysteem	35
4.3.3	Stromingsmeetsysteem	36
4.3.4	Verwerkingssysteem	36
4.3.5	Bekasting	36
4.4	Systeemintegratie	36
5.	Discussie en aanbevelingen	37
5.1	Discussie	37
5.2	Aanbevelingen	37
6.	Conclusie	38
7.	Referenties	40
8.	Bijlagen	42
8.1	V-model Deliverables en Concepten	42
8.1.1	Programma van Eisen	42
8.1.2	Functie overzicht	43
8.1.3	Systeembeschrijving	43
8.1.4	Systeemtestplan	46
8.1.5	Systeemverdeling	48
8.1.6	Conceptontwikkeling	49
8.1.7	Formuleoverzicht	92
8.1.8	Subsysteembeschrijving	94
8.1.9	Subsysteemtestplan	97
8.1.10	Componentenlijst	106
8.1.11	Subsysteem assemblage plan	108
8.1.12	Subsysteem testen	113
8.1.13	Systeem assemblage plan	127
8.1.14	Geassembleerd systeem	130
8.1.15	Systeem testen	131
8.1.16	Inbedrijfstellingsplan	131
8.2	Kostenoverzicht	133

1. INLEIDING

1.1 ACHTERGRONDINFORMATIE BEDRIJF

Water2Energy is een bedrijf dat actief is in het ontwerpen van verticale waterturbines voor het opwekken van elektriciteit uit getijdenenergie. Het bedrijf, op dit moment een éénmanszaak van Reinier Rijke, is tien jaar geleden opgericht.

Water2Energy is naast het ontwerpen van turbines voor de energietransitie ook actief bezig met het uitwerken van een kleinschalige waterturbine voor het opwekken van elektriciteit in dorpen in derdewereldlanden.

1.2 PROBLEEMANALYSE

Door klimaatverandering veroorzaakt door het uitstoten van broeikasgassen warmt de aarde op. In het Klimaatakkoord van Parijs is in 2015 afgesproken dat de opwarming van de aarde wordt beperkt tot minder dan twee graden Celsius ten opzichte van het pre-industriële tijdperk. Het streven is om de opwarming beperkt te houden tot anderhalve graad (Klimaatakkoord 2019).

Om dit doel te bereiken zal er een energietransitie moeten plaatsvinden. Het gebruik van fossiele brandstoffen voor het opwekken van energie moet afgebouwd worden en vervangen worden door manieren om groene energie op te wekken zoals windenergie, zonne-energie en getijdenenergie.

Water2Energy gaat in juni 2021 een verticale waterturbine plaatsen in Vlissingen voor het opwekken van getijdenenergie. Dit prototype zal een Darrieus type turbine zijn. Het ontwerp van de turbine is te zien in figuur 1 en heeft een hoogte van 2,7 meter en een diameter van 2 meter. Deze turbine zal in een spuisluis geplaatst worden achter het station in Vlissingen.

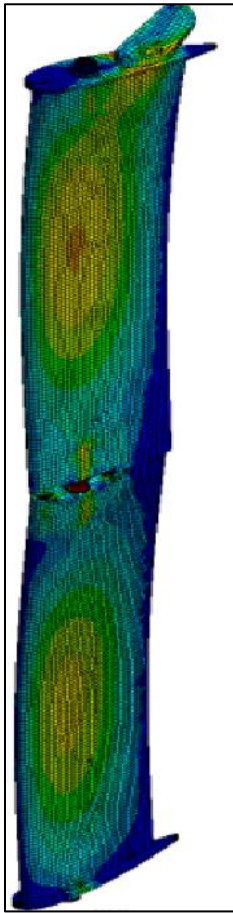


Figuur 1: Verticale waterturbine Water2Energy

Dit zal de eerste keer zijn dat dit ontwerp getest zal worden in de praktijk.

Van het ontwerp van de waterturbine zijn door het bedrijf MARIN, CFD (Computational Fluid Dynamics) berekeningen gemaakt in de computersimulatie-applicatie Physixfactor. De belastingen

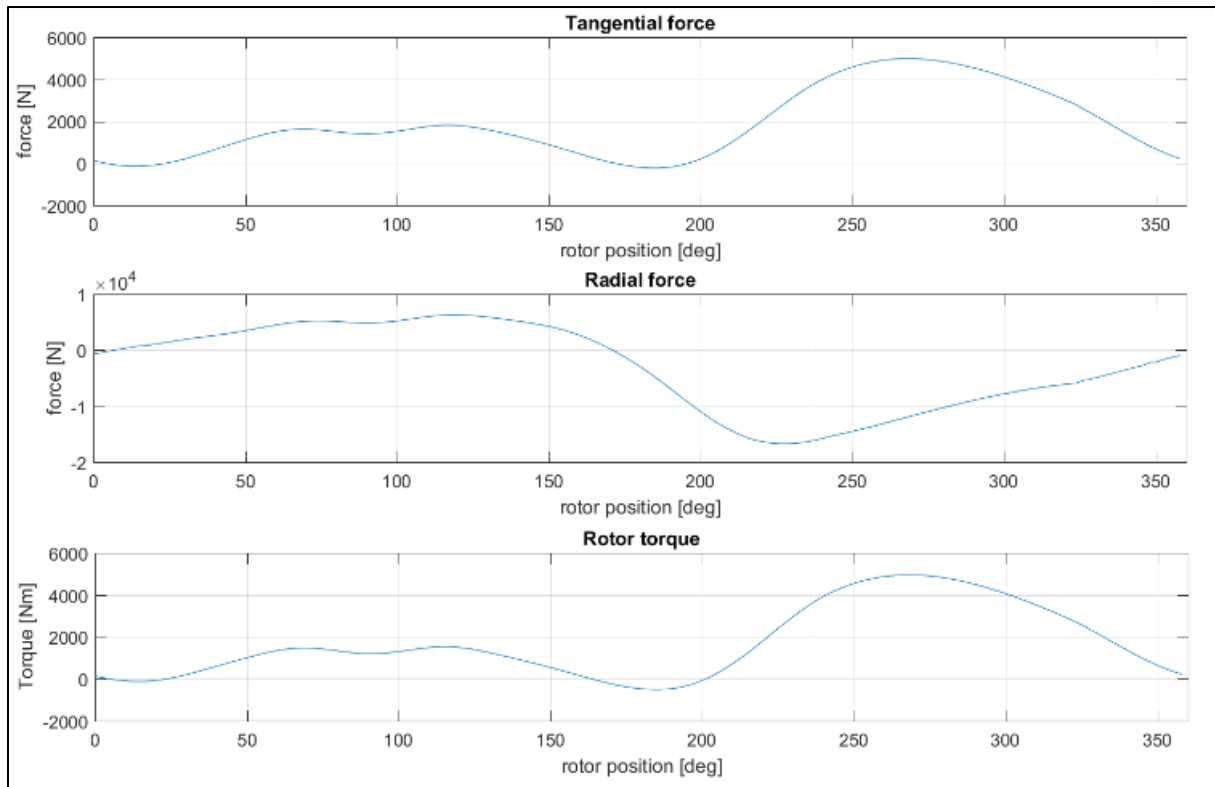
die hieruit naar voren kwamen zijn vervolgens door Schouten Engineering&Design in een FEM analyse gezet om de spanningen en spanningslocaties in het materiaal te berekenen zoals voor één van de verticale bladen te zien is in figuur 2.



Figuur 2: FEM analyse van de grootste spanningsconcentraties in geel en rood op een verticaal blad veroorzaakt door de belastingen op het blad (Water2Energy)

Wanneer de turbine in bedrijf is bij een vermogen van 100kW zullen volgens de computersimulaties de radiaalkracht en tangentiële kracht op de verticale bladen uitgeoefend worden zoals te zien is in figuur 3. Deze krachten en het daaruit volgende koppel op de centrale as zullen in de praktijk geverifieerd moeten worden om erachter te komen of het prototype zoals voorspeld functioneert of dat er nog optimalisatie aan het ontwerp nodig is.

Water2Energy wil om deze reden de mechanische vermogensprestatie van dit turbine prototype kunnen meten en de belastingen in het ontwerp vinden.



Figuur 3: De krachten op een verticaal blad en het hierdoor optredende koppel in de centrale as als functie van de positie van het blad (Water2Energy)

1.3 OPDRACHTOMSCHRIJVING

Om erachter te komen wat er verbeterd kan worden aan de waterturbine van Water2Energy moeten de prestaties van en de belastingen op het prototype onderzocht worden. Dit houdt in dat de vermogensopbrengst van de waterturbine van het prototype in Vlissingen gemeten en vastgelegd moet worden over langere periodes. Daarnaast zullen (cyclische) belastingen op de onderdelen van de turbine gemeten worden zoals rek en doorbuiging bij verschillende bladposities en toerentallen. Deze meetgegevens kunnen de vooraf voorspelde waarden uit de FEM-analyses verifiëren en anderzijds in de toekomst bijdragen aan het optimaliseringsproces van het turbine ontwerp zodat het rendement van de turbine omhoog gaat.

Hiertoe zal theoretisch en aan de hand van de FEM-analyses bepaald moeten worden welke meetgegevens gemeten moeten worden door het meetsysteem. Vervolgens zullen verschillende meettechnieken voor het meten van vermogen en belastingen onderzocht en afgewogen worden op de toepasbaarheid voor de waterturbine. Vervolgens zal er een ontwerp van het meetsysteem gemaakt en gebouwd worden welke met zo min mogelijk aanpassingen aan het prototype waterturbine gemonteerd kan worden. Tot slot zal het systeem kalibratietesten ondergaan om de verwachte werkzaamheid van het meetsysteem te verifiëren waarna het systeem in de spuisluis getest kan worden.

De resultaten van de opdracht zullen bijdragen aan het verbeteren van het waterturbine ontwerp, ervoor kunnen zorgen dat de positie van Water2Energy als bedrijf binnen de energietransitie

verstevigd wordt en de aandacht voor het gebruik van waterturbines om energie op te wekken vergroten. Dit maakt de opdracht acceptabel voor de opdrachtgever, student en maatschappij.

Voor de opdracht zijn voldoende middelen in de vorm van budget, expertise en tijd beschikbaar gesteld door Water2Energy waardoor de opdracht haalbaar is. De opdracht zal uitgevoerd worden tussen één februari 2021 en twee juli 2021.

1.4 HOOFDVRAAG

Wat is het ontwerp van het meetsysteem in het prototype waterturbine van Water2Energy dat het mogelijk maakt de interne belastingen en de mechanisch vermogensprestatie uit te lezen om bij te dragen aan het analyseren en optimaliseren van het ontwerp van de waterturbine?

1.5 DEELVRAGEN

1. Wat is het systeemontwerp van het meetsysteem van de waterturbine?
2. Wat is het subsysteemontwerp van het meetsysteem van de waterturbine?
3. Wat is het resultaat van de integratie en validatietest van het subsysteemontwerp van het meetsysteem van de waterturbine?
4. Wat is het resultaat van de integratie en validatietest van het systeemontwerp van het meetsysteem van de waterturbine?

1.6 DOELSTELLING

De doelstelling in het onderzoek is het vinden van geschikte methoden voor het meten van vermogen, interne spanningen en bladpositie in de waterturbine en het vinden van geschikte methoden voor het meten van waterstroming en waterniveau in de sluis. Waarna van deze methodes gebruik makend conceptontwerpen van de subsystemen gemaakt zullen worden waaruit voor elk subsysteem middels een wegingsmatrix het beste concept gekozen en vervolgens uitgewerkt zal worden of uitgekozen zal worden uit beschikbare subsystemen die op de markt te vinden zijn en toepasbaar zijn op de waterturbine van Water2Energy.

De doelstelling van het project is het opleveren van een meetsysteem waarmee de waterstroming in de sluis gemeten kan worden en waarmee de vermogensprestaties en de interne belastingen van de verticale waterturbine van Water2Energy gemeten kunnen worden.

1.7 GLOBALE DELIVERABLES

De globale deliverables voor dit project zijn:

- Onderzoeksrapport
- Oplevering (gekalibreerd) meetsysteem
- Kostenoverzicht meetsysteem

1.8 RANDVOORWAARDEN

- Het project zal tussen 01/02/2021 en 02/07/2021 uitgevoerd worden.
- Het meetsysteem is integreerbaar in het huidige prototype van de waterturbine.
- Technische specificaties volgens norm IEC TS 62600-3

- Het meetsysteem kan minstens een maand lang continu meetgegevens verzamelen.
- Subsystemen worden (deels) als systeem bij leveranciers besteld in plaats van door de student tot op componentniveau ontworpen.

1.9 BUDGET

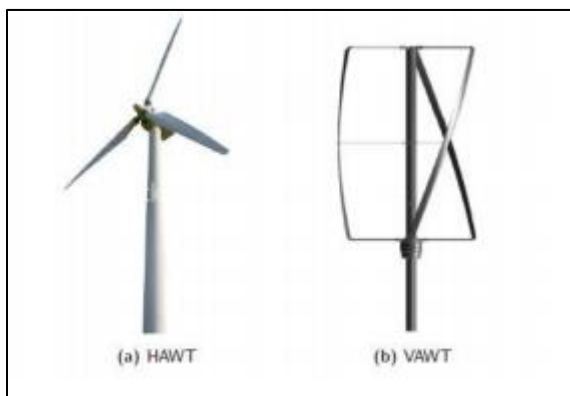
Het budget voor dit project bedraagt circa 50.000€. Het budget voor de materialen, componenten, subsystemen en het gereedschap voor het realiseren en integreren van het meetsysteem zal hier circa 90% van zijn.

2. THEORETISCH KADER

2.1 WERKINGSPRINCIPE VAN EEN DARRIEUS TURBINE

Voor de uitleg van de werking van een Darrieus turbine zal uitgegaan worden van een voorbeeld over windturbines. Alhoewel de eigenschappen van water en lucht verschillen is het werkingsprincipe ongeveer hetzelfde. Volgens Ken Winner (2019) hebben water en wind bij lage snelheden grote overeenkomsten binnen de aerodynamica en hydrodynamica. Het verschil zit in de dichtheid van het medium en hier moet aan gedacht worden bij vleugelontwerpen van vliegtuigen en voor hydrovleugels. Het principe is echter hetzelfde bij water. De gebruikte formules voor lift en drag bij wind en waterkracht zijn daardoor hetzelfde bij lage snelheden waarbij geen cavitatie optreed bij water of waarbij de luchtsnelheid subsonisch is.

Een Darrieus turbine is een type turbine met verticale bladen in tegenstelling tot horizontale bladen zoals bij de meeste windmolens het geval is. In figuur 4 is turbine a een traditionele horizontale windmolen (Horizontal Axis Wind Turbine) en windmolen b is een verticale turbine (Vertical Axis Wind Turbine).



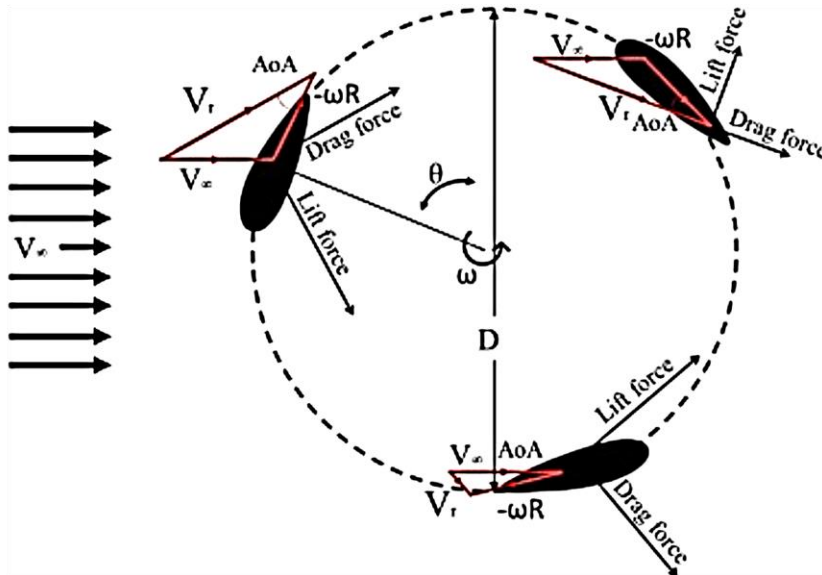
Figuur 4: (a) horizontale windturbine, (b) verticale windturbine (Claessens, 2006)

De werking van de verticale turbine ten opzichte van een horizontale turbine is verschillend. Bij de horizontale turbine draagt elk blad op elk moment bij aan het totale vermogen terwijl bij de verticale turbine maar een deel van de bladen op hetzelfde moment bijdraagt aan het vermogen. De andere bladen draaien mee en zorgen maar voor een klein deel van het koppel of zelfs een negatief koppel. Hierdoor heeft een verticale turbine een lagere energie-efficiëntie dan een horizontale turbine. Deze nadelen zijn groot bij hogere windsnelheden, in lage windsnelheden presteren deze turbines echter beter dan horizontale turbines (E.A.Dinesh Kumara, 2017).

Het werkingsprincipe van de Darrieus turbine is te zien in figuur 5. In dit figuur wordt van bovenaf gekeken op een model van de turbine. De wind komt van links en is weergegeven als $V\infty$. De turbinebladen draaien tegen de klok in met hoeksnelheid ω . De relatieve luchtsnelheid die veroorzaakt is door de draaiing is daardoor gelijk aan de hoeksnelheid maal de afstand tot het draaipunt, $\omega \cdot R$.

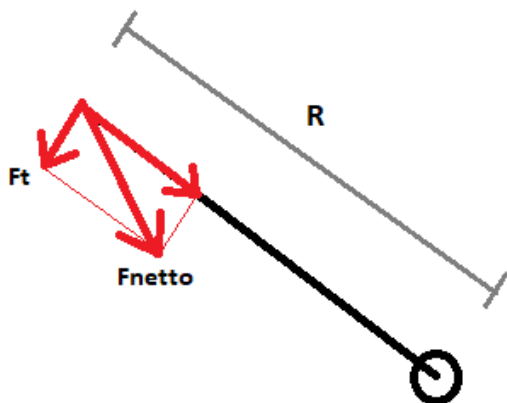
De relatieve aanstroomsnelheid die de turbine bladen zien zal hierdoor een combinatie zijn van V_∞ en $\omega \cdot R$ zoals te zien is in het figuur en aangeduid wordt met V_r . Deze V_r werkt via een bepaalde invalshoek, aangeduid als AoA (Angle of Attack) druk uit op de bladen.

De vorm van de bladen zorgt ervoor dat er een liftkracht en een weerstands kracht (drag) ontstaat. Dit is vergelijkbaar met een vliegtuigvleugel.



Figuur 5: Werkingsprincipe van een verticale turbine (Mohamed, 2020)

De richting en grootte van de nettokracht door de drag en de lift bij elkaar zal ervoor zorgen dat de bladen een positief of negatief koppel uitoefenen op het draaipunt van de turbine. Zoals te zien is in figuur 6 is de nettokracht te ontbinden in een tangentiële kracht (F_t) op de arm/straal R en een kracht loodrecht op het draaipunt. Het koppel dat het blad opwekt zal hierdoor gelijk zijn aan $F_t \cdot R$.



Figuur 6: Krachten veroorzaakt door de lift en drag op de bevestiging tussen turbineblad en verticale as

Het totale vermogen wat de turbine opbrengt is gelijk aan de som van het koppel van de bladen maal de hoeksnelheid van de bladen. Dit is het vermogen wat omgezet zal worden naar elektrisch vermogen middels een generator.

2.2 TURBINEONTWERP VAN WATER2ENERGY

De verticale as waterturbine van Water2Energy zal een H-type Darrieus turbine zijn met drie bladen. Het ontwerp van deze turbine is te zien in figuur 7.

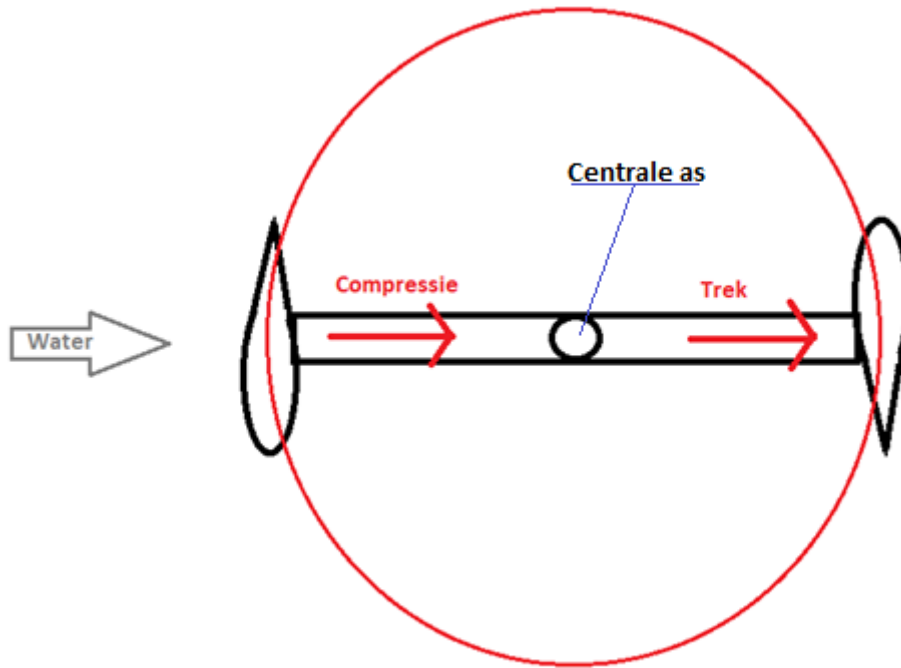


Figuur 7: Het ontwerp van het waterturbine prototype (Water2Energy, 2020)

Elk verticaal blad zit vast aan de centrale as met drie horizontale bladen. Langs de horizontale bladen zal het koppel van het verticale blad op de as overgebracht worden. Deze horizontale bladen wekken zelf geen energie op maar zijn wel dezelfde vorm als de energie opwekkende verticale bladen om zo min mogelijk weerstand en verstoring te veroorzaken in het water. De pitch/angle of attack van de verticale bladen wordt aangepast door een mechanisch systeem om de efficiëntie zo hoog mogelijk te maken. De manier waarop dit gebeurt is vertrouwelijk en zal niet verder besproken worden.

Al deze onderdelen van de turbine krijgen per omwentelingshoek verschillende krachten en spanningen te verduren die op kritieke punten slijtage en uiteindelijk tot falen kunnen leiden indien deze niet goed ontworpen zijn.

Zo zal in de horizontale bladen van de turbine elke 180 graden de richting van de krachten ook ongeveer 180 graden draaien waardoor de horizontale bladen afwisselend compressie en trek te verduren krijgen zoals afgebeeld in figuur 8. Langdurige wisselende belasting kan leiden tot vermoeiing of metaalmoeheid waardoor onderdelen kunnen afbreken.



Figuur 8: Compressie en trek veroorzaakt door cyclische belasting door water

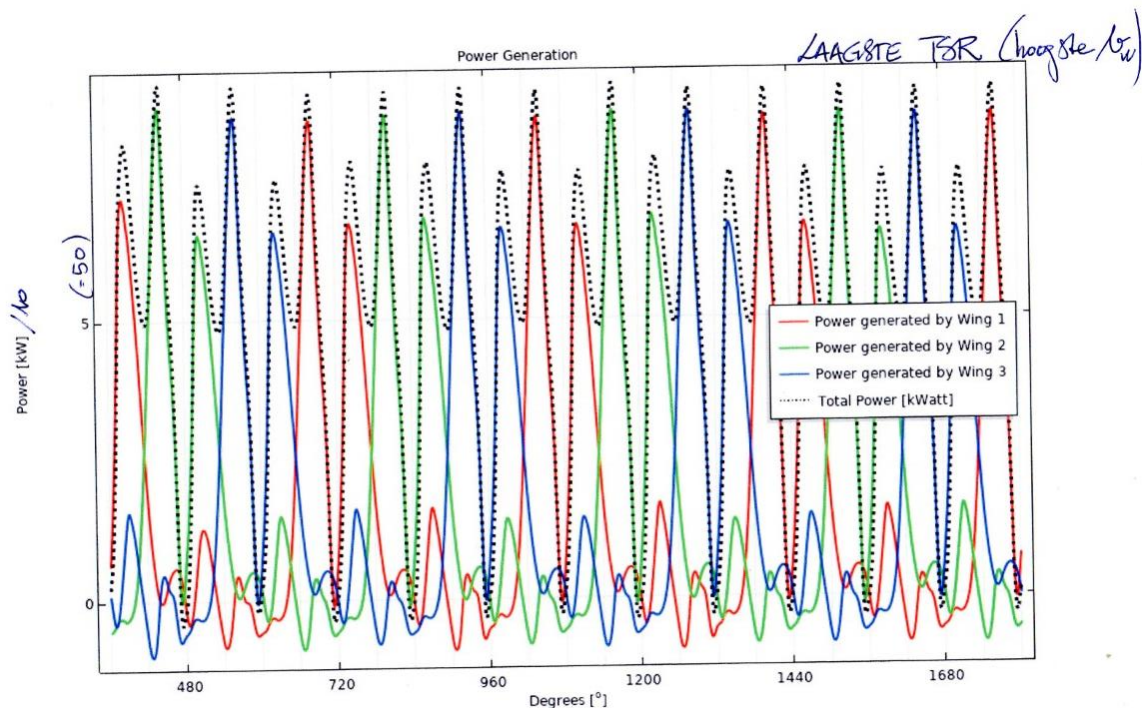
Om dit soort problemen op te lossen kan vormoptimalisatie en overdimensionering toegepast worden. Echter kan te veel overdimensionering leiden tot een onnodig hoog gewicht van de onderdelen en indien de onderdelen meer volume innemen zal de waterweerstand toenemen wat weer zorgt voor lagere efficiëntie.

Om erachter te komen welke interne spanningen en krachten op zullen treden en welke onderdelen onnodig over gedimensioneerd zijn zullen er sensoren aangebracht moeten worden op basis van berekeningen en/of simulaties in computersoftware.

2.3 NADELIGE TURBINEOMSTANDIGHEDEN

Water2Energy gaat een verticale waterturbine plaatsen en verwacht onder andere een probleem bij het functioneren van de turbine bij een lage TSR (tip speed ratio). De tip speed ratio is de snelheid van de bladen ten opzichte van de snelheid van het water. Stel dat de snelheid van een blad, veroorzaakt door de hoeksnelheid maal de straal, gelijk is aan 1m/s en de stroomsnelheid van het water 0,5 m/s is dan is de $TSR = 1/0,5 = 2$.

Uit simulaties blijkt dat voor een soortgelijke turbine van Water2Energy het opgeleverde vermogen (en de belastingen in de bladen) bij een lage TSR waarschijnlijk zeer sterk fluctueren op bepaalde omwentellingsposities van het blad zoals te zien in figuur 9. In dit figuur is te zien dat de vermogensopbrengst per blad zeer sterk schommelt en soms negatief wordt bij verschillende omwentellingshoeken. De bladen zullen in dit geval geen koppel leveren maar opnemen. Verder kunnen fluctuaties leiden tot trillingen en resonanties waardoor mechanische overbelasting kan optreden. Water2Energy wil voor de huidige turbine weten of dergelijke situaties zich ook zullen voordoen. Dit is één van de redenen dat Water2Energy het vermogen van de turbine wil meten van het nieuwe prototype in Vlissingen.

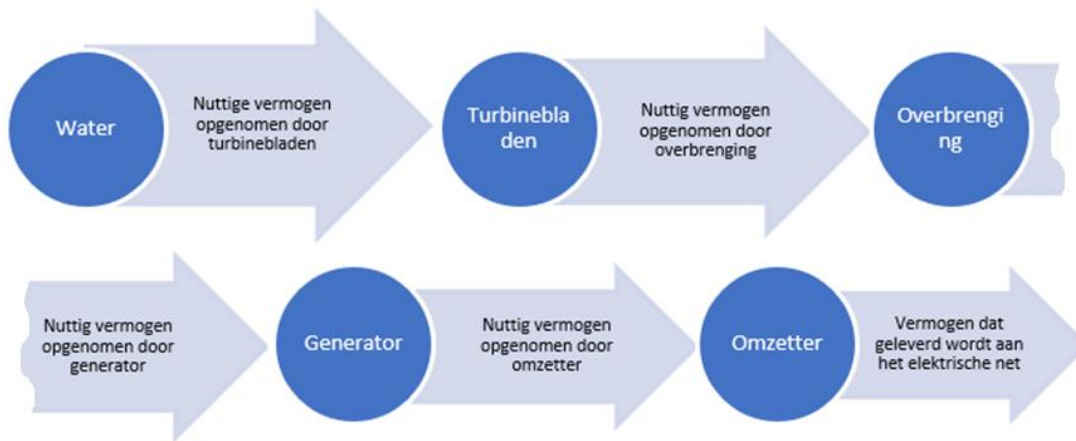


Figuur 9: Sterk fluctueren van vermogen opgewekt per blad als functie van de hoekpositie en het totaal opgewekte vermogen (HZ Delta Power, 2020)

2.4 VERMOGENSMETINGEN VAN DE WATERTURBINE

Er zijn verschillende meetpunten op de turbine die representatief zijn om het mechanisch vermogen opgewekt door de turbinebladen te meten. De turbine bestaat uit verschillende onderdelen die de kinetische energie uit water omzetten in elektriciteit zoals te zien is in het onderstaande blokschema (figuur 10) waarbij de pijlen het doorgegeven nuttige vermogen van elk onderdeel voorstellen. In elk onderdeel gaat een deel van het vermogen verloren, hierdoor zijn de pijlen steeds kleiner afgebeeld. Het theoretische maximale vermogen uit water wordt gedefinieerd als $(1/2)\rho Su^3$ waarbij ρ de dichtheid van water is, S het oppervlak dat de bladen beslaan en u de stroomsnelheid van het water (Sentchev et al., 2019). In realiteit zal het niet mogelijk zijn 100% van het vermogen uit het water te halen aangezien het water dan stil zou staan achter de turbine. In theorie kan er bij getijdenenergie en windenergie maximaal 59.3% van de energie uit wind of water gehaald worden volgens de wet van Betz. Dit getal wordt meestal uitgedrukt als prestatiecoëfficiënt $C_p = P/P_{\text{water}}$, waarbij P het vermogen is dat opgenomen wordt door de turbine bladen.

Het vermogen in de turbinebladen wordt via de centrale as overgebracht op de overbrenging waar een deel van het vermogen verloren gaat aan frictie tussen de tandwielen (indien een tandwielkast gebruikt wordt). Het overgebleven vermogen uit de overbrenging wordt dan door de generator omgezet in elektriciteit. In deze omzetting gaat een deel van het vermogen verloren in warmte door onder andere frictie van lagers, ijzer- en koper verliezen. Het overgebleven elektrische vermogen wordt omgezet in een omzetter zodat dit geleverd kan worden aan het elektriciteitsnet.

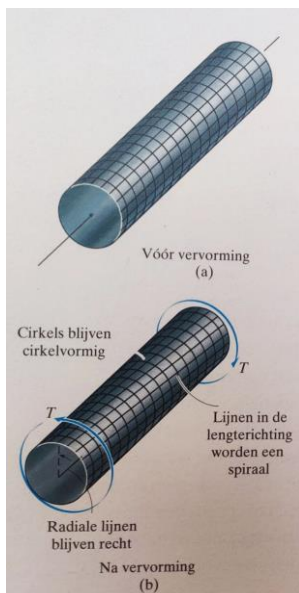


Figuur 10: Vermogensomzetting in de waterturbine waarbij de pijlen het doorgegeven nuttige vermogen voorstellen

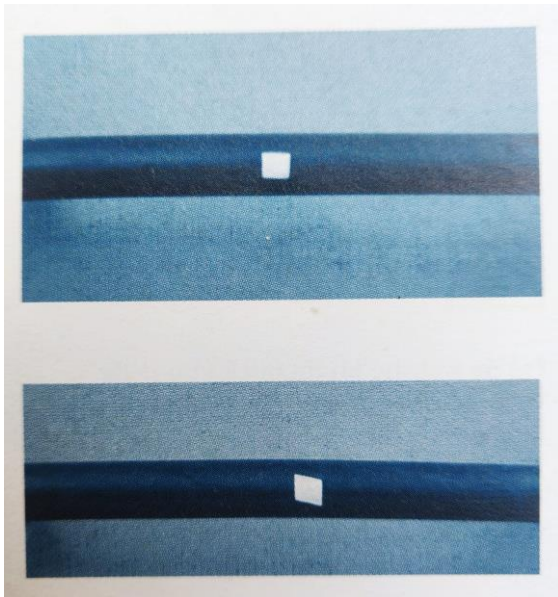
2.4.1 VERMOGENSMETING VIA DE VERTICALE AS

Het mechanisch vermogen zal dus op verschillende locaties gemeten kunnen worden. Als via de verticale as waar de bladen aan vast zitten wordt gemeten zal het totale mechanische vermogen gemeten kunnen worden zonder verliezen van de onderdelen erna.

De eigenschap waardoor het vermogen in de as gemeten kan worden is als volgt. Het koppel veroorzaakt door de verticale bladen van de turbine wordt doorgegeven op de centrale verticale as. Dit veroorzaakt torsie in deze as. Als er over de as in de lengterichting lijnen getrokken zouden zijn is het waar te nemen dat er een verdraaiing zal plaatsvinden zoals te zien is in figuur 11. Als een vierkante markering wordt aangebracht op een rubberen staaf kan het effect van een verdraaiing van de as op de markering duidelijk waargenomen worden zoals te zien is in figuur 12.

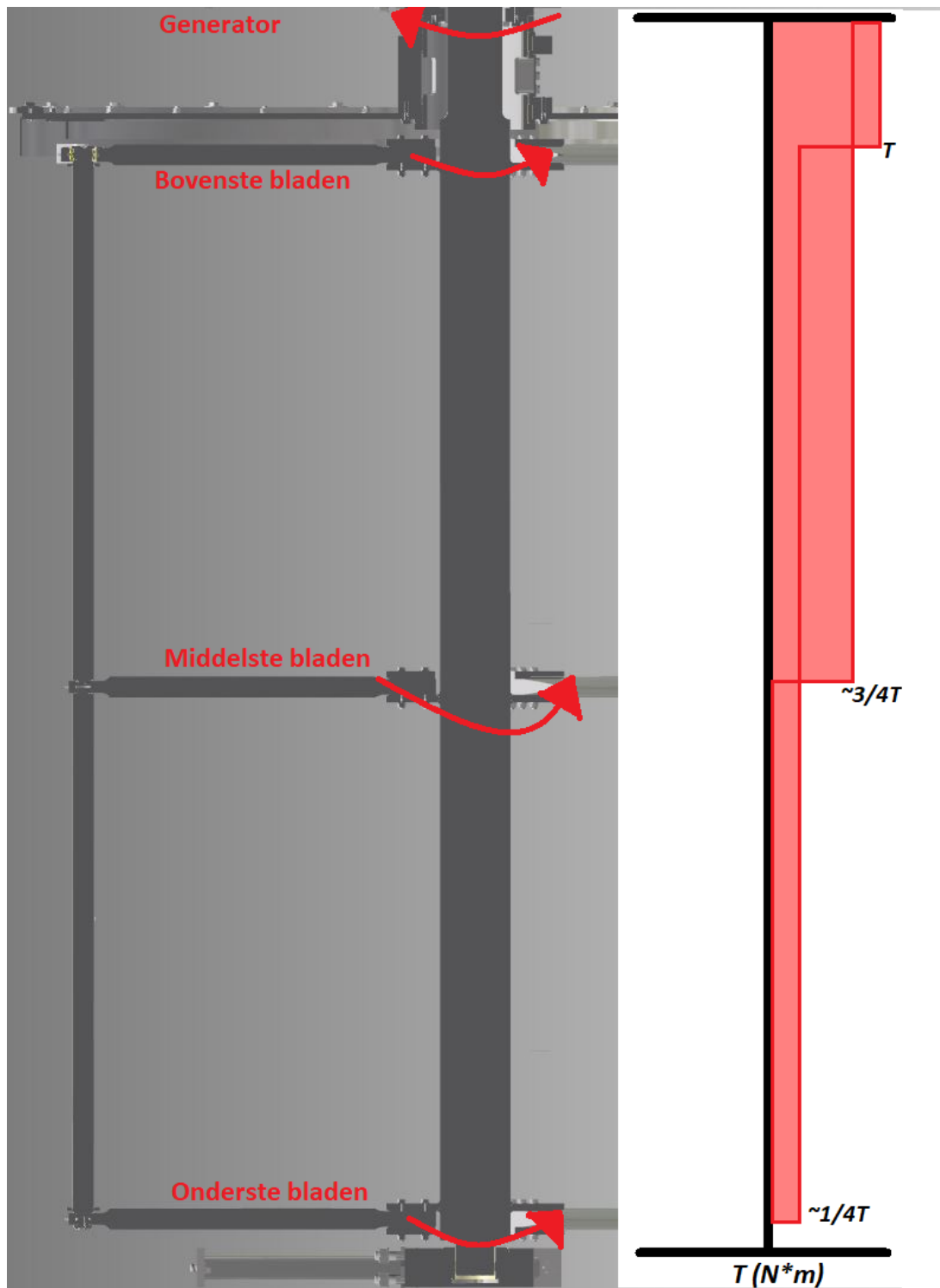


Figuur 11: Hoekverdraaiing veroorzaakt door het aanbrengen van een moment (Hibbeler, 2012)



Figuur 12: Weergave van het effect van hoekverdraaiing op een vierkante markering (Hibbeler, 2012)

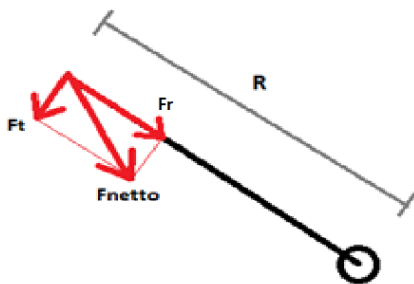
Door het koppel wat via de horizontale bladen wordt aangebracht op de centrale as zal er ook hoekverdraaiing optreden. Een voorstelling van het koppel dat in de as optreedt is links te zien in figuur 13. De onderste en bovenste horizontale bladen leveren elk ongeveer een kwart van het koppel en de middelste bladen de helft van het totale koppel volgens Amarinus Scouten van Schouten Engineering&Design die dit met FEM-analyses heeft aangetoond. Met deze gegevens zal de momentenlijn er uitzien zoals rechts in figuur 13. Hierin is te zien dat in het gebied tussen de generator en het bovenste horizontale blad de hoogste mate van torsie optreedt. Dit is het totale koppel wat naar de generator gaat als de verliezen in de overbrenging en lagers buiten beschouwing gelaten worden. Om deze reden is dit een interessant gebied voor het meten van het totaal koppel. Dit koppel kan gemeten worden door sensoren die torsie kunnen meten.



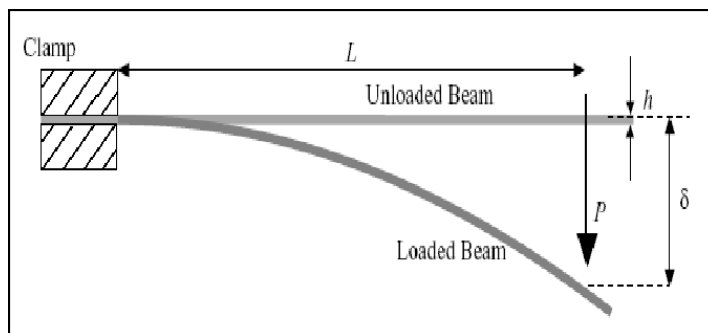
Figuur 13: Het via de horizontale bladen overgebrachte koppel (links), De wringmomentlijn ten gevolge van het overgebrachte koppel (rechts)

2.4.2 VERMOGENSMETING PER TURBINEBLAD

Het is verder mogelijk het vermogen te meten per turbine blad en dit te vermenigvuldigen met het aantal bladen om de totale opbrengst van de waterturbine te bepalen. Dit is mogelijk door het aanbrengen van sensoren voor het meten van rek op één of meerdere horizontale bladen. In figuur 14 is een vereenvoudigde weergave te zien van een horizontaal blad. R is de lengte van dit blad en F_t is de kracht die de turbine laat draaien. De kracht F_t zal ervoor zorgen dat de vorm van het horizontale blad vervormt. Stel dat het hier om een balk gaat die aan één kant is ingeklemd en aan de andere kant belast wordt met een kracht. De balk zal doorbuigen zoals te zien is in het voorbeeld in figuur 15. De bovenzijde van de balk zal uitgerekt worden terwijl de onderzijde ingedrukt wordt. Dit zal een vormverandering teweeg brengen die door sensoren gemeten kan worden en waaruit belasting P afgeleid kan worden. Het vermogen per blad kan vervolgens berekend worden door deze kracht te vermenigvuldigen met de lengte van de arm en de hoeksnelheid: $P_{\text{blad}} = F_t \cdot R \cdot \omega$.



Figuur 14: Vereenvoudigde weergave van een horizontaal blad



Figuur 15: Doorbuiging van een balk ten gevolge van een kracht P (Rosly, 2016)

2.4.3 VERMOGENSMETING DOOR HET ELEKTRISCH VERMOGEN TE METEN

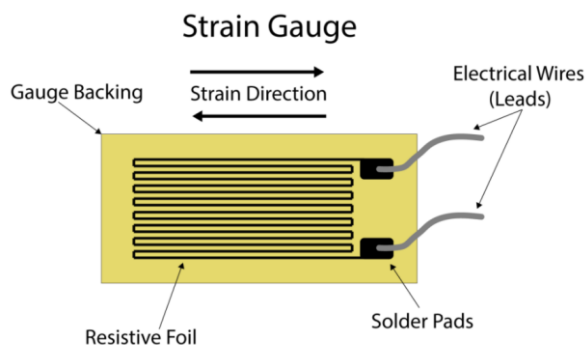
Tot slot kan het elektrisch vermogen uit de generator of na de omvormer gemeten worden. Hiervoor moet de spanning en stroom die opgewekt wordt gemeten worden met een voltmeter en een stroommeter. De manier waarop dit gedaan wordt ligt aan het type generator. Er is nog geen generator gekozen voor de waterturbine op het moment van schrijven van dit onderzoeksvoorstel. Als het rendement van de generator over verschillende output vermogens bekend is kan berekend worden wat het mechanische vermogen is wat de generator in gaat.

2.4.4 SENSOREN VOOR VERMOGENSMETING EN METING VAN INTERNE SPANNINGEN

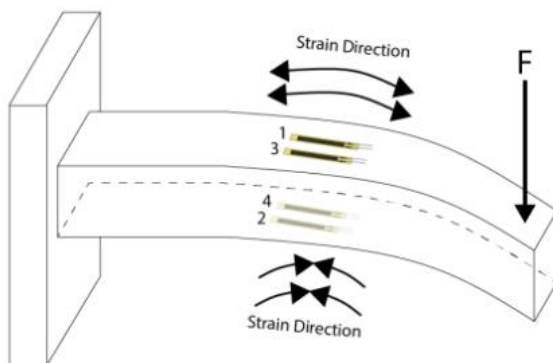
In deze paragraaf zullen verschillende typen sensoren besproken worden voor het meten van interne spanningen. Allereerst zal het rekstrookje geïntroduceerd worden. Als tweede zal de Fiber Bragg Grating (FBG) sensor aanbod komen en tot slot de encoder.

Een rekstrookje is een type sensor dat rek kan meten. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een elektrische weerstand dat uitrekt als er rek op staat. Het uitrekken of samendrukken van het rekstrookje zorgt voor een verandering in de weerstand die te meten is met nauwkeurige voltmeters. Door het toepassen van rekstrookjes kunnen krachten, spanningen en koppel gemeten worden in mechanische onderdelen.

In figuur 16 zijn de onderdelen van een rekstrookje te zien. Het belangrijkste onderdeel van een rekstrookje is het weerstandselement dat uit kan rekken, aangegeven als resistive foil in het figuur. Een voorbeeld van het rekken en samendrukken van de strookjes is weergegeven in figuur 17.

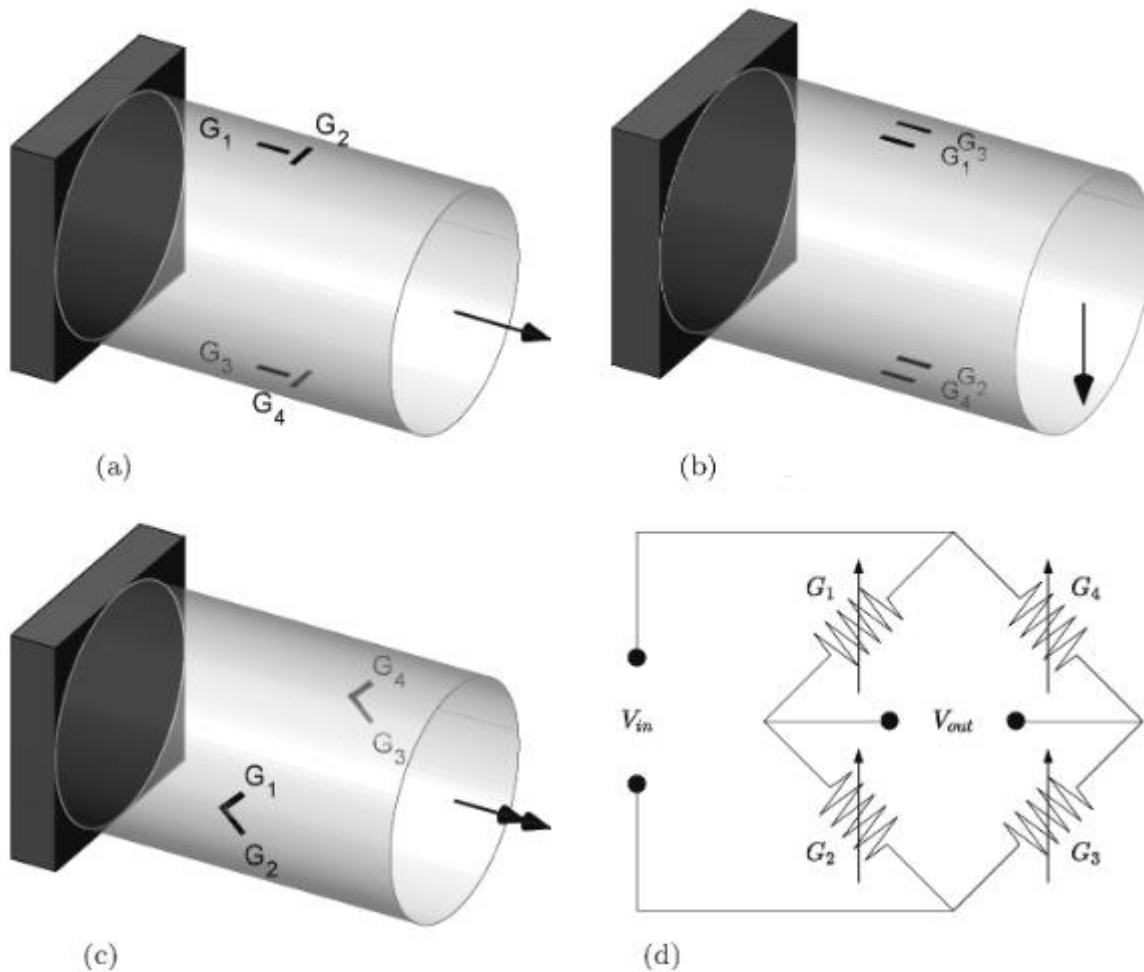


Figuur 16: Onderdelen van een rekstrookje (Nachazel, 2020)



Figuur 17: De vervorming van rekstrookjes op een doorbuigende balk (Nachazel, 2020)

Een veel gebruikt opstelling voor rekstrookjes is de zogeheten brug van Wheatstone. De schakeling van een Wheatstone brug en een aantal meetopstellingen voor verschillende doeleinden is te zien in figuur 18.

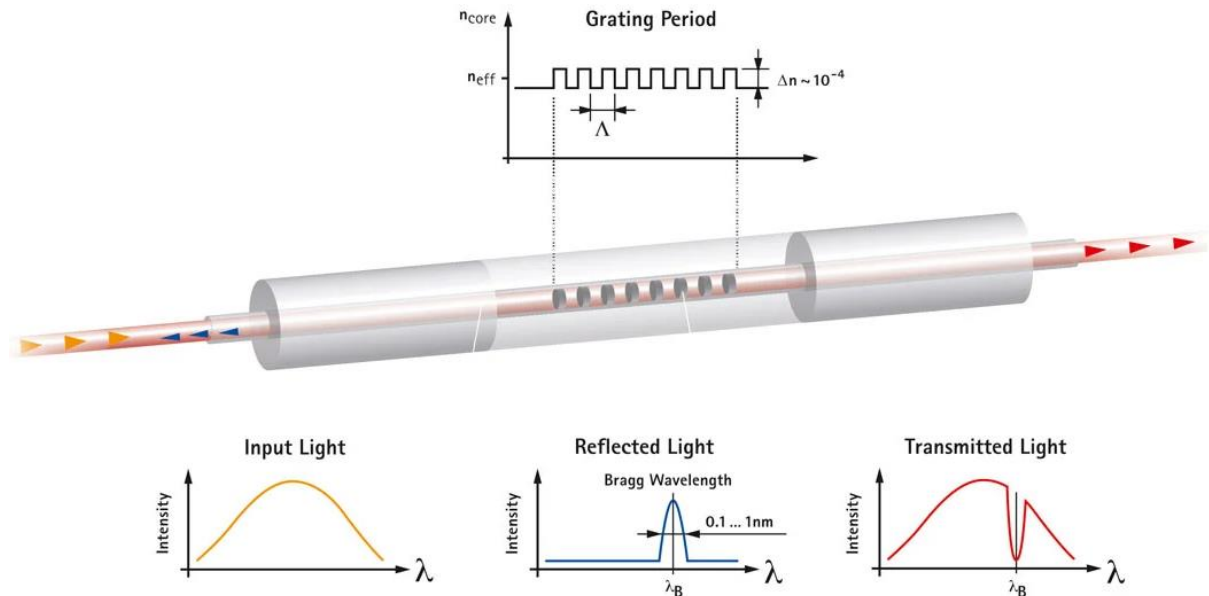


Figuur 18: Opstellingen van rekstrookjes voor het meten van (a) axiale spanning, (b) buigspanning, (c) Torsie en (d) een weergave van de schakeling van een Wheatstone brug (Iriarte, 2021)

Doordat het elektrisch circuit van de brug van Wheatstone de weerstandswaarden van twee van de weerstanden opsomt en de andere twee ervan aftrekt zal de invloed van de temperatuur op de rek in het onderdeel automatisch gecompenseerd worden waardoor er geen temperatuur invloed is op de meting van de spanning in het onderdeel (Iriarte et al. ,2021).

Dit is een voordeel van een brug van Wheatstone. Dit is een voordeel van een dergelijke schakeling van rekstrookjes maar er zijn ook nadelen aan het gebruik van rekstroken. Een limiet van het gebruik van dit type sensor is de gevoeligheid van de brug voor elektromagnetische interferentie (EM). Daarnaast moet de sensor goed beschermd worden tegen waterschade (Templeman, 2020).

Een Fibre Bragg Grating (FBG) sensor is een optische sensor waarmee spanningen in een onderdeel gemeten kunnen worden. Het werkingsprincipe berust op het reflecteren van bepaalde golflengtes licht bij een bepaalde vervorming van de optische vezel. Dit komt tot stand door een in de vezel aangebrachte patroon van inkepingen die licht anders doorlaten dan de rest van de vezel. Deze inkepingen hebben een constante afstand tussen elkaar. Wanneer de vezel uitgerekt wordt zal de afstand tussen deze inkepingen ook groter worden, hierdoor verandert de gereflecteerde golflengte van het licht. In figuur 19 is dit proces weergegeven.



Figuur 19: Weergave van een optische FBG sensor met het ingevoerde licht, gereflecteerde licht en doorgelaten licht (Barbosa)

Optische sensoren zijn over het algemeen duurder dan rekstrookjes maar er zijn ook voordelen. Het gebruik van FBG als meettechniek voor spanningen is wenselijk door de hoge nauwkeurigheid, ongevoeligheid voor elektromagnetisch interferentie, waterdichtheid en de mogelijkheid om meerdere FBG's in één vezel te hebben (templeman, 2020).

Om vermogen te kunnen meten moet naast koppel ook de hoeksnelheid gemeten kunnen worden. Daarnaast is het voor analyse doeleinden handig om de hoekpositie van de turbinebladen te kunnen meten. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van een encoder op de verticale as.

Een encoder is een sensor die hoekverdraaiing kan meten en hieruit het toerental kan afleiden. Er bestaan twee type encoders, namelijk de absolute encoders en incrementele encoders. Het verschil tussen deze twee is dat de absolute encoder de positie van de as meet en de incrementele encoder alleen stappen telt.

Het uitgangssignaal van een encoder kan in het geval van een absolute encoder per positie van de as bestaan uit een uniek binair code. In het geval van een incrementele encoder is de uitgang een reeks elkaar snel opvolgende pulsen (blokgolven). (AD Spijkers, 2020)

Encoders kunnen verschillende meetprincipes hebben zoals magnetisch, optisch, capacitief en mechanisch. De keuze voor welk type encoder berust op het gebruiksdoel van de encoder.

Optische encoders zijn bijvoorbeeld gevoelig voor stof en vuil en magnetische encoders niet. Maar volgens Brian W. Winter (z.d.) kunnen magnetische velden veroorzaakt door sommige motoren een magnetisch veld van 0.2 Tesla opwekken waardoor een magnetische encoder slecht zal functioneren. Met al deze punten moet rekening gehouden worden bij het kiezen van een encoder.

2.5 SPANNINGSMETINGEN VAN DE WATERTURBINE

De interne spanningen en krachten in onderdelen kan met de in paragraaf 2.4.4 beschreven methoden over het meten van vermogen doormiddel van sensoren in dit geval op dezelfde wijze gemeten worden. Er kan bijvoorbeeld gekozen worden voor het aanbrengen van rekstroken op kritieke punten of onderdelen die worden blootgesteld aan cyclische belastingen.

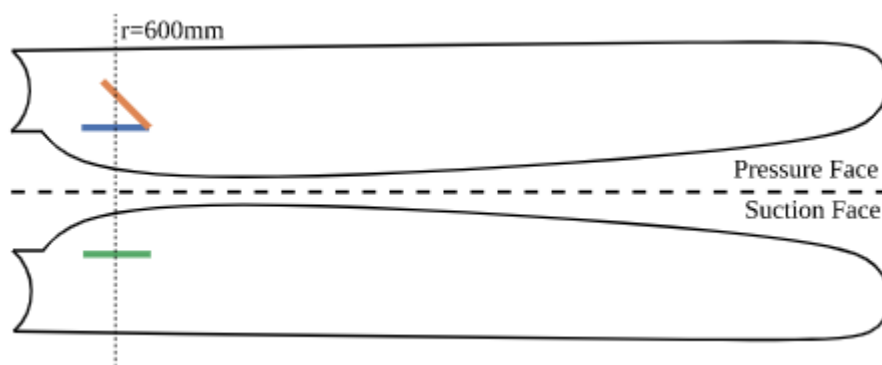
Zo is het mogelijk om in de horizontale bladen de radiale belasting te meten die ontstaat door F_r (figuur 14). Deze kracht zal het horizontale blad op cyclische wijze samendrukken en uitrekken.

Het is daarnaast ook mogelijk om op de verticale bladen de doorbuiging te meten.

Bij een andere studie naar de belastingen op getijdenturbines is dit bijvoorbeeld gedaan voor een turbine in de vorm van een propeller. Thomas Lake et al. (2021) hebben een meting opgezet om van één van de propellerbladen de rek te kunnen meten tijdens operationeel gebruik en tijdens stilstand.

Het doel van deze meting was de rek veroorzaakt door de belastingen te vergelijken met andere belastingen op de turbine en met de stroomsnelheid van het water.

Hiertoe hebben ze op drie locaties rek gemeten zoals weergegeven in figuur 20 met behulp van Fiber Bragg Grating sensoren. De reksensoren zijn zo gepositioneerd dat één longitudinaal geplaatste sensor de doorbuiging op de onderzijde meet en de andere longitudinaal geplaatste sensor de doorbuiging op de bovenkant van het blad. Daarnaast is er één sensor aangebracht om de pitchverdraaiing van het blad te kunnen meten.



Figuur 20: FBG sensor plaatsing op een turbineblad (Thomas Lake et al., 2021)

De positie van de sensoren is gekozen op 600 mm van het draaipunt van het blad. Dit is gebaseerd op een FEM-analyse waarbij een gebied werd uitgekozen met de hoogste voorspelde spanningen.

Om de sensoren te kunnen voorzien van een lichtsignaal en te kunnen uitlezen is er een interrogator (acquisitie apparaat) in de waterdichte hub van de turbine ingebouwd.

Uit de metingen die verricht zijn met deze meetopstelling hebben Thomas Lake et al. (2021) kunnen concluderen dat er een goede correlatie te meten is tussen de belastingen, de stroomsnelheid en andere meting die ze verricht hebben.

Een soortgelijke meetmethode zou eventueel bij de turbine van Water2Energy toegepast kunnen worden voor het meten van de belastingen op de verticale bladen van de turbine.

2.6 HET METEN VAN DE WATERSTROOMSNELHEID

Aangezien de belastingen en het vermogen van de waterturbine veroorzaakt en opgewekt worden door de stroming van het water is het logischerwijs nodig dat de stroomsnelheid van het water wat de turbine instroomt gemeten wordt. Deze stroomsnelheid kan vergeleken worden met het vermogen en de belastingen van de turbine om een duidelijk beeld te schetsen van de prestaties van de turbine.

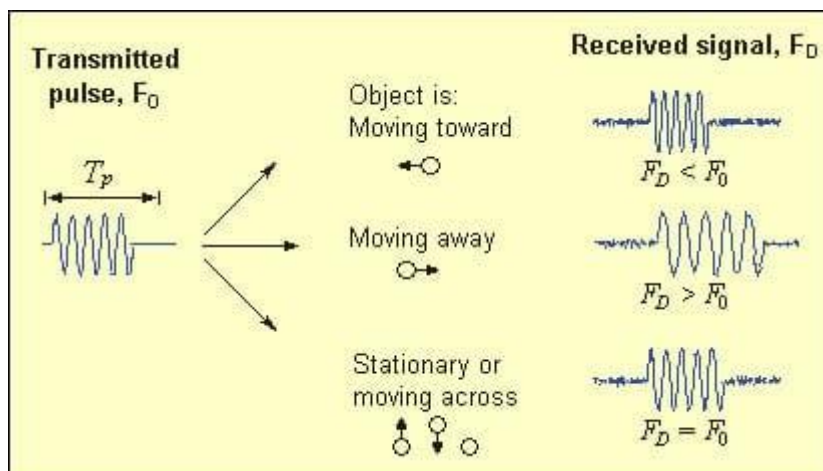
Aangezien door eb en vloed de stroomrichting 180 graden draait zal er voor en achter de waterturbine een flowmeter aangebracht moeten worden.

Voor het meten van de stroomsnelheid zijn verschillende technieken mogelijk. Zo heeft Water2Energy in het verleden gebruik gemaakt van een flowmeter op basis van een waterrad dat in beweging gebracht wordt door de stroming.

Er zijn ook andere technieken mogelijk om de flow te meten. Zo beschrijven Thomas Lake et al. (2021) dat er afhankelijk van de omgeving waar de stroming gemeten wordt verschillende mogelijkheden zijn zoals Laser Doppler Velocimetry (LDV) en Acoustic Doppler Current Profiler (ADP of ADCP). Deze principes worden veel gebruikt voor het meten van stroming in gebruiksomstandigheden van waterturbines.

Voor het meten van de stroomsnelheid van een vorige turbine van Water2Energy in Antwerpen in 2014 en 2015 is ook gebruik gemaakt van ADCP metingen om de stroomsnelheid op verschillende dieptes te meten.

Een ADCP is een instrument om watersnelheid te meten op verschillende niveaus (dieptes). Het maakt gebruik van geluidsgolven met een bepaalde frequentie waarbij het instrument zogeheten pings uitstuurt. Wanneer deze pings tegen deeltjes in het water kaatsen zal aan de hand van het Doppler effect de frequentie van het gereflecteerde geluidssignaal veranderen indien het deeltje waar de ping vanaf reflecteert van of naar het instrument toe beweegt. Een schematische weergave van dit werkingsprincipe is te zien in figuur 21.



Figuur 21: Werkingsprincipe van ADCP (Sontek, z.d.)

Deze verandering in frequentie wordt vervolgens terug gerekend naar de snelheid van het deeltjes in water. Daarnaast meet een ADCP de tijd tussen het uitzenden en ontvangen van het gereflecteerde signaal, hierdoor kan de diepte van het water berekend worden.

3. METHODE

3.1 ONDERZOEKSMETHODE

Voor het onderzoek dat benodigd is om de hoofdvraag en de deelvragen te beantwoorden zal er onderzoek uitgevoerd moeten worden. De voornaamste onderzoeksmethode die toegepast zal worden in dit onderzoek is kwalitatief onderzoek. Het kwalitatieve onderzoek is opgedeeld in twee delen, namelijk deskresearch en fieldresearch.

Als onderdeel van de deskresearch zal onderzoek gedaan worden naar literatuur en onderzoek in de vorm van wetenschappelijke publicaties op bijvoorbeeld Google Scholar, Sciencedirect en Elsevier.

Dit zal gedaan worden door het gebruik van relevante zoektermen die betrekking houden tot (water)-turbines en meettechniek. Fieldresearch zal plaatsvinden door in gesprek te gaan met deskundigen in het vakgebied die actief zijn in de meettechniek en werktuigbouw. De onderzoeksmethode(n) per deelvraag zijn te vinden in tabel 1.

Tabel 1: Beschrijving van de onderzoeksmethode en zoektermen per deelvraag

Deelvraag	Onderzoeksmethode	Beschrijving	Zoektermen
Wat is het systeemontwerp van het meetsysteem van de waterturbine?	Deskresearch Fieldresearch	Online verzamelen van wetenschappelijke artikelen, overleg met vakmensen uit de meettechniek en werktuigbouw, overleg met begeleider, analyseren oude meetkast en documenten van Water2Energy	Darrieus turbine working principle, getijdenenergie, belastingsmeetsysteem, prestatiemeetsysteem, meettechniek, sensortechniek
Wat is het subsysteemontwerp van het meetsysteem van de waterturbine?	Deskresearch Fieldresearch	Online verzamelen van wetenschappelijke artikelen, overleg met vakmensen, overleg met begeleider, analyseren oude meetkast en documenten van Water2Energy	Power measurement, Data acquisition, torque measurement on rotating shaft, strain gauge measurement, Fiber Bragg Grating, Rotating shaft measurement, tachometer, angle measurement, encoders, rpm measurement, flow measurement, wireless power transmission, slipring transmission, proximity sensors
Wat is het resultaat van de integratie en validatietest van het subsysteemontwerp van het meetsysteem van de waterturbine?	Fieldresearch	Bestellen en assembleren van componenten en subsystemen, Testen van componenten en subsystemen	n.v.t.
Wat is het resultaat van de integratie en validatietest van het systeemontwerp van het meetsysteem van de waterturbine?	Fieldresearch	Assembleren van het systeem, koppelen van subsystemen, software instellen, Testen van systeem	n.v.t.

3.2 MOGELIJK ONTWERPMETHODEN

Om een engineering project met succes af te ronden is een systematische methodologie nodig om ervoor te zorgen dat alle aspecten en stappen die nodig zijn voor een ontwerp worden doordacht en gepland om het doel zo goed mogelijk te bereiken.

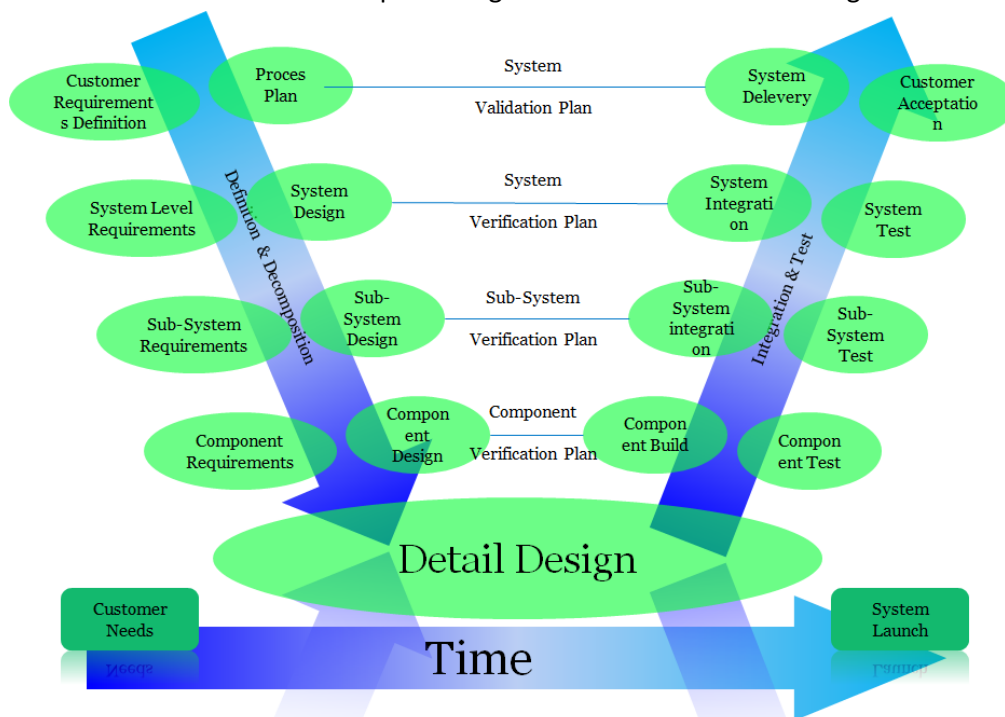
Voor Engineering zijn twee methodologieën veelvuldig gebruikt. De eerste methode is beschreven in het boek "Ontwerpen van technische innovaties door onderzoek, creatief denken en samenwerken" door Inge Oskam et al. De tweede methode heet Systems Engineering en maakt gebruik van het V-model.

De methode van Oskam is goed te gebruiken bij product design projecten met ergonomische aspecten maar kan ook voor mechatronische projecten gebruikt worden. Het bestaat uit vijf fases weergegeven in figuur 21.



Figuur 22: De fasering van de Oskam ontwerpmethodiek

De methode volgens het V-model uit Systems Engineering is een methode waarbij veelvuldig wordt getest om functionaliteit te garanderen. Het werd bedacht als methode voor het ontwerpen van software systemen maar kan ook goed toegepast worden voor andere projecten. Het V-model heeft twee fases met elk drie ontwerp- of integratiefases zoals te zien is in figuur 22.



Figuur 23: Overzicht van het V-model (Haak, 2019)

3.3 ONTWERPMETHODE VOOR HET PROJECT

Voor de uitvoering van dit project is gekozen voor het V-model omdat de focus van het meetsysteem voor de waterturbine van Water2Energy op functionaliteit ligt. Met het V-model wordt door het testen van componenten, subsystemen en het uiteindelijk systeem een werkzaam meetsysteem gegarandeerd terwijl bij de Oskam methode er veel minder nadruk op testen wordt gelegd.

De deliverables vanuit het V-model geven antwoord op de deelvragen van het project. Door het V-model chronologisch af te lopen tijdens de afstudeerperiode zal aan het eind van het project een werkend meetsysteem voor de waterturbine opgeleverd worden. Hierover zal verder een onderzoeksrapport met documentatie van de uitgewerkte deelvragen opgeleverd worden.

De deliverables van het V-model voor dit project zijn:

Systeem ontwerp

- Programma van Eisen
- Functie overzicht
- Analyse van de systeemomgeving
- Systeembeschrijving
- Systeemtestplan

Subsysteem ontwerp

- Systeemverdeling
- Formuleoverzicht
- Subsysteembeschrijving
- Subsysteemtestplan
- Componentenlijst¹

Subsysteem integratie en validatie

- Bestellen van componenten en subsystemen
- Subsysteem assemblage plan
- Geassembleerde subsystemen
- Subsysteem testen

Systeem integratie en validatie

- Systeem assemblage plan
- Geassembleerd systeem
- Systeem testen
- Inbedrijfstellingsplan

¹ Alleen voor componenten die niet inbegrepen zijn in de gekochte subsystemen.

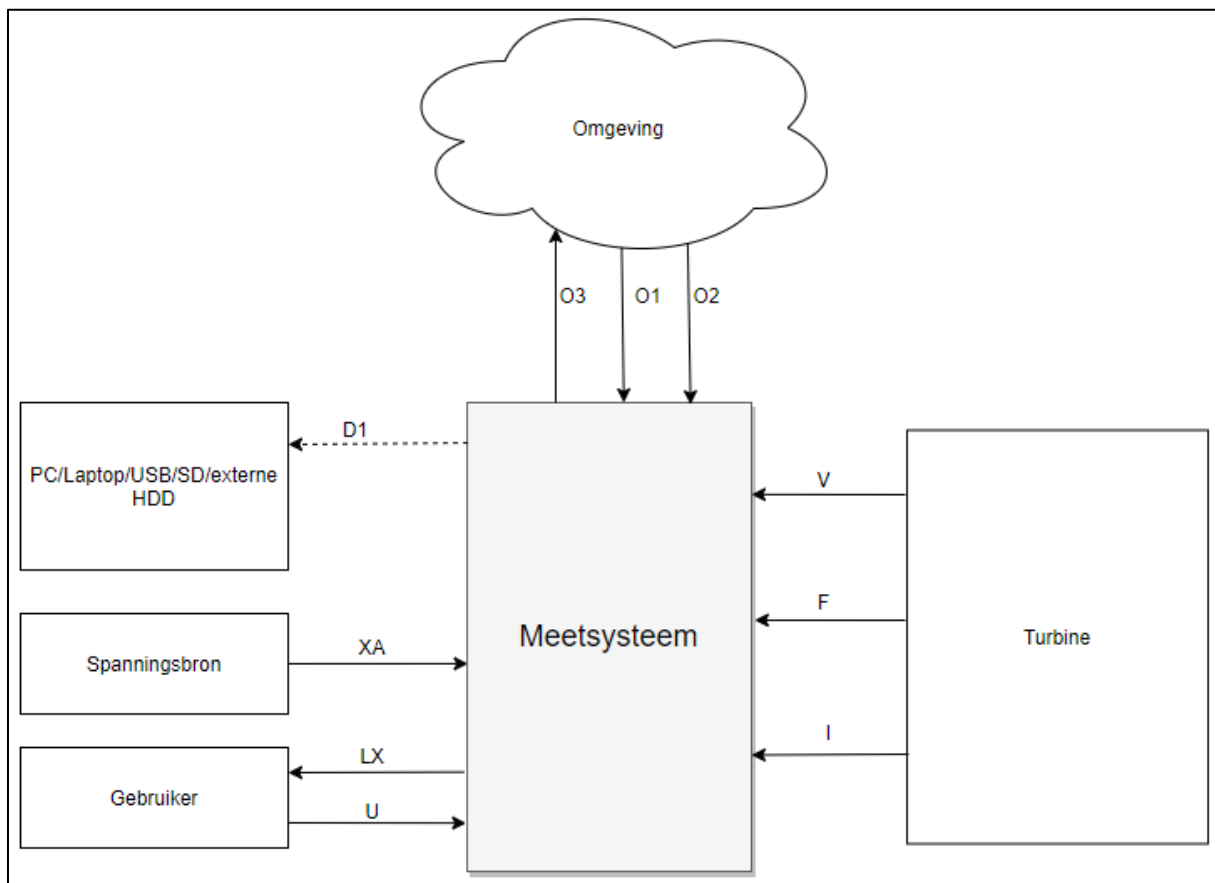
4. RESULTATEN

Vanuit de deliverables van het V-model volgen de resultaten van het ontwerpen van een meetsysteem voor de verticale as waterturbine. Het totaalpakket aan achtergrondinformatie en deliverables met betrekking tot het V-model en het uitwerken van concepten zijn in bijlage 8.1 te vinden. Deze deliverables hebben bijgedragen om tot een fysiek ontwerp van het meetsysteem te komen.

4.1 SYSTEEMONTWERP

Uit de systeemontwerpfase van het V-model volgt de systeembeschrijving van het ontworpen systeem met daarin het systeemoverzicht, weergegeven in figuur 24. In dit figuur zijn de interacties tussen het systeem en de buitenwereld aangegeven.

Alle interacties hebben een unieke aanduiding die in tabel 2 beschreven zijn. De variabelen die via deze interacties worden uitgewisseld tussen het meetsysteem en de buitenwereld zijn vervolgens in tabel 3 beschreven met de bijbehorende limieten van deze variabelen.



Figuur 24: Systeemoverzicht van het meetsysteem

Tabel 2: Aanduidingen van de interacties in het systeemoverzicht

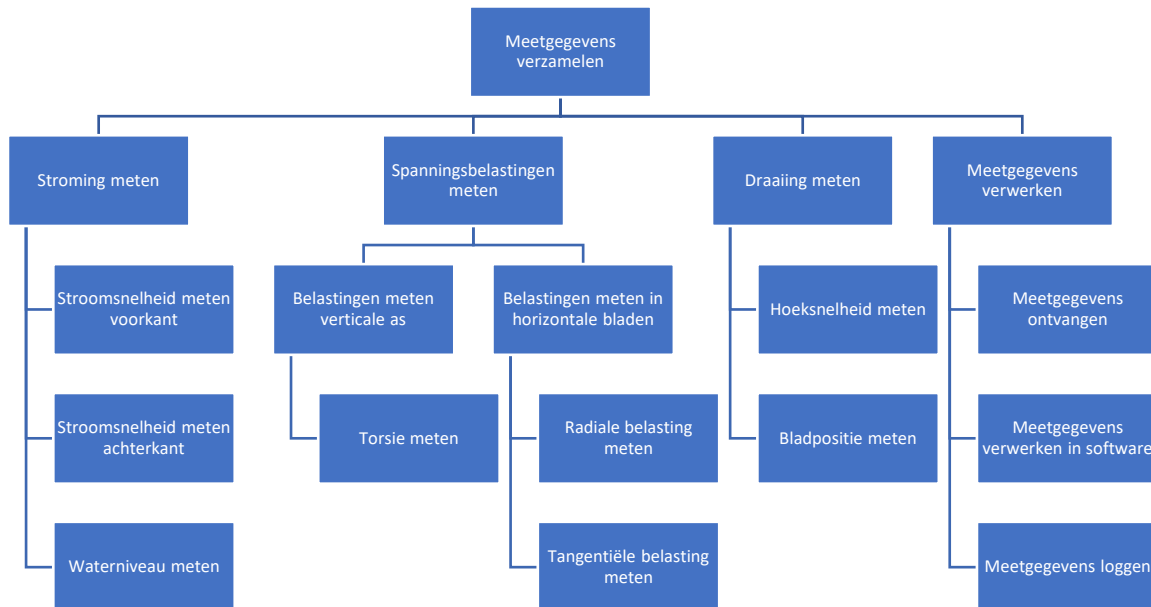
Aanduiding	Beschrijving
D1	Data overdracht vanuit het systeem naar externe locatie (USB)
F	Invloed van de draaiing op het systeem
I	Elektromagnetische interferentie vanuit de turbine
LX	Lichtsignalen vanuit het systeem (Display)
O1	Omgevingsinvloeden op het systeem (onderwater)
O2	Omgevingsinvloeden op het systeem (bovenwater)
O3	Systeeminvloed op de omgeving
U	Gebruikersinteractie op het systeem
V	Vervorming van de turbine
XA	AC voeding voor het meetsysteem

Tabel 3: Tabel van limieten van de systeeminteracties

Interactie	Symbol	Beschrijving	Minimum	Maximum	Eenheid	Bron
D1	VDC	USB Data overdracht	0	5	V	
	I _x	Stroom	0	- ¹	A	
F	F _c	Centrifugaal versnelling	0	54	m/s ²	(Water2Energy, 2021)
	F _w	Relatieve watersnelheid	0	10,3	m/s	(Water2Energy, 2021)
I	EMI	Elektromagnetische interferentie	0	¹	T	(Water2Energy, 2021)
LX	Wordt niet specifiek gemaakt ¹					
O1	T _{zee}	Zeewatertemperatuur	2	23	C	(Seatemperature, 2021)
	D _{zee}	Waterdiepte	0	3	m	(Water2Energy, 2021)
	V _w	Stroomsnelheid	0	3	m/s	(Water2Energy, 2021)
	S _{zee}	Zoutgehalte	8	40	g/L	(Waterinfo, 2021)
O2	V _{lucht}	Windsnelheid	0	100	Km/u	(Seatemperature, 2021)
	T _{lucht}	Luchttemperatuur	-15	37	°C	(Vlissingen.com, 2021)
	H _{lucht}	Luchtvochtigheid	75	85	%	(Vlissingen.com, 2021)
	R _r	Neerslag	0	51	mm/u	Greelane
O3	Wordt niet specifiek gemaakt ¹					
U	Wordt niet specifiek gemaakt ¹					
V	ε		0	2*10 ⁻⁴	mm/mm	(Water2Energy, 2021)
XA	E	Voltage	0	230	VAC	(Water2Energy, 2021)
	I	Stroom	0	16	A	(Water2Energy, 2021)
	f	Netfrequentie	0	50	Hz	(Water2Energy, 2021)

¹ Wordt niet gespecificeerd i.v.m. beperkte invloed van de interactie op het systeemontwerp en/of tijdbepaling.

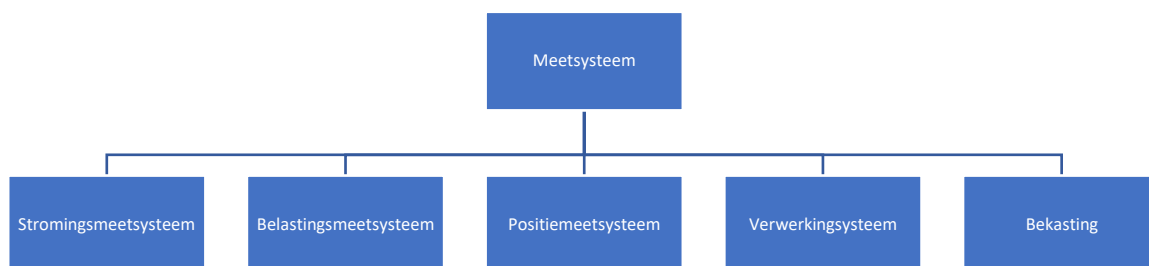
Aan de hand van het programma van eisen is een functieoverzicht (figuur 25) opgesteld waarin is weergegeven welke functies en sub-functies het meetsysteem moest kunnen vervullen. Deze functieboom is leidend geweest voor het maken van de systeemverdeling tijdens de subsysteemontwerpfase.



Figuur 25: Functieoverzicht van het systeem

4.2 SUBSISTEEMONTWERPEN EN COMPONENTONTWERPEN

Nadat de systeemontwerpfase succesvol afgerond was brak de subsysteemontwerpfase aan. Uit het functieoverzicht en de systeembeschrijving kon de systeemverdeling gemaakt worden zoals te zien is in figuur 26.



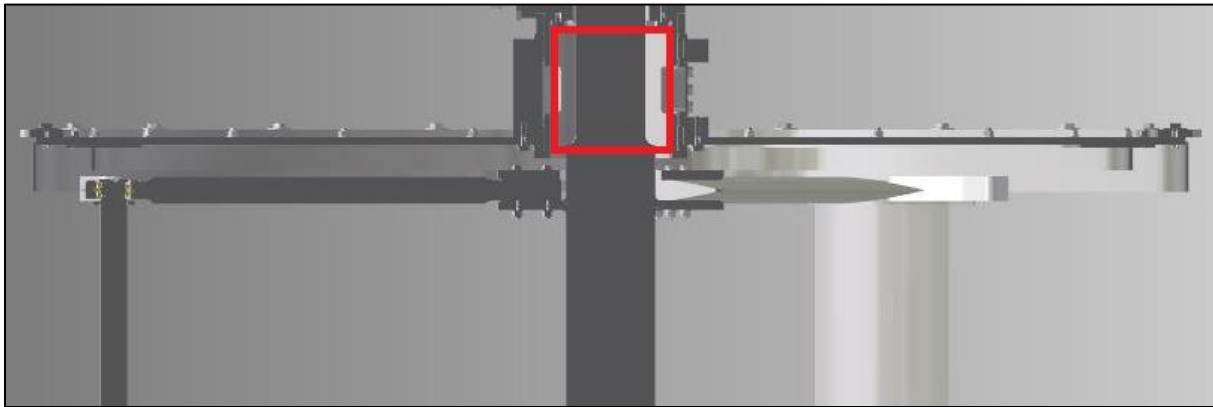
Figuur 26: Systeemverdeling

Vanuit de systeemverdeling is voor elk subsysteem apart onderzocht welke mogelijkheden er toepasbaar zijn voor het meetsysteem van de waterturbine. Vervolgens is op basis van een wegingsmatrix bepaald welke opties het best gebruikt kunnen worden voor elk subsysteem. Het complete overzicht van deze fase is te vinden in bijlagen 8.1.5 - 8.1.9

4.2.1 Belastingsmeetsysteem

Het doel van het belastingsmeetsysteem is het meten van cyclische belastingen op de centrale as en op de bladen van de turbine. Deze metingen kunnen in de toekomst bijdragen bij het optimaliseren van het turbineontwerp. Daarnaast kunnen uit bepaalde belastingen de mechanische prestaties van de turbine gemeten worden.

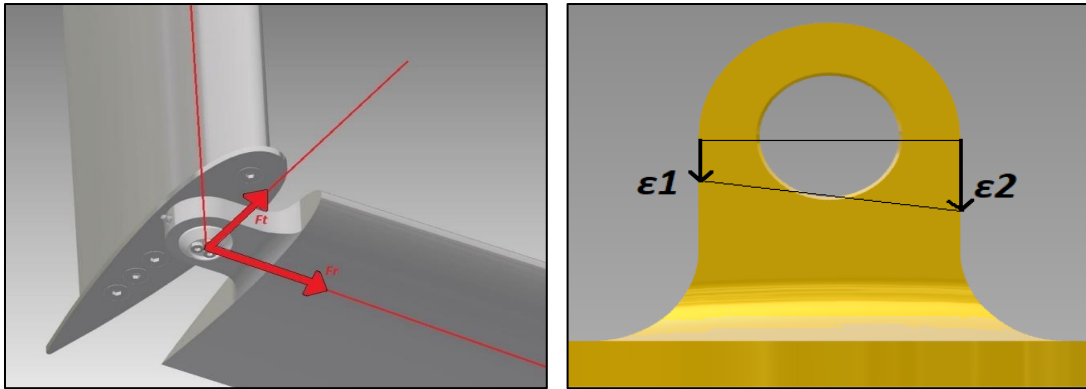
Voor het meten van het totaaloppel wat de turbine opwekt kan tussen de turbine en de generator een meetsysteem aangebracht worden dat de torsie in de centrale as meet. Uit figuur 13 blijkt dat het totaaloppel boven de turbinebladen gemeten kan worden. In dit meetgebied is een speciaal ontworpen ruimte aangebracht (figuur 27) die via een luik toegankelijk is gemaakt.



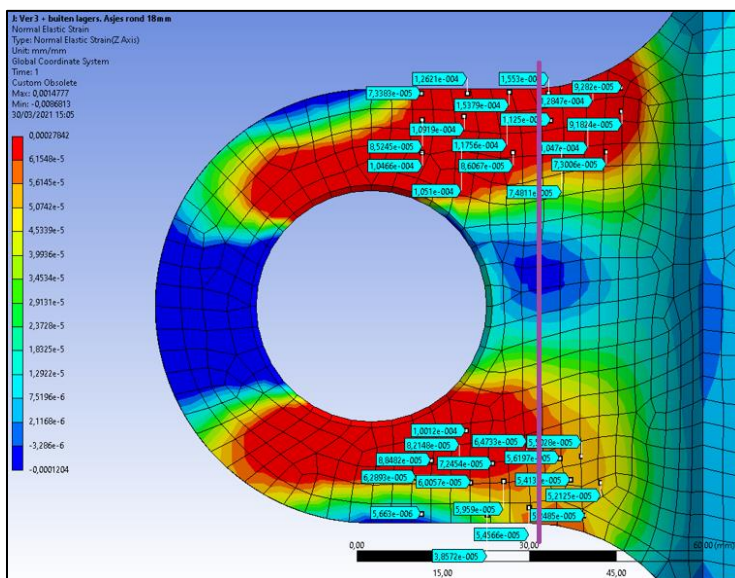
Figuur 27: Locatie van het meetgebied voor het totaaloppel dat via een luikje toegankelijk is

Op de centrale as zal daarom op dit punt het totaaloppel van de centrale as gemeten worden. Verder zal er tussen elke set horizontale turbinebladen een extra meting plaatsvinden om het opgewekte koppel op elk niveau te kunnen meten.

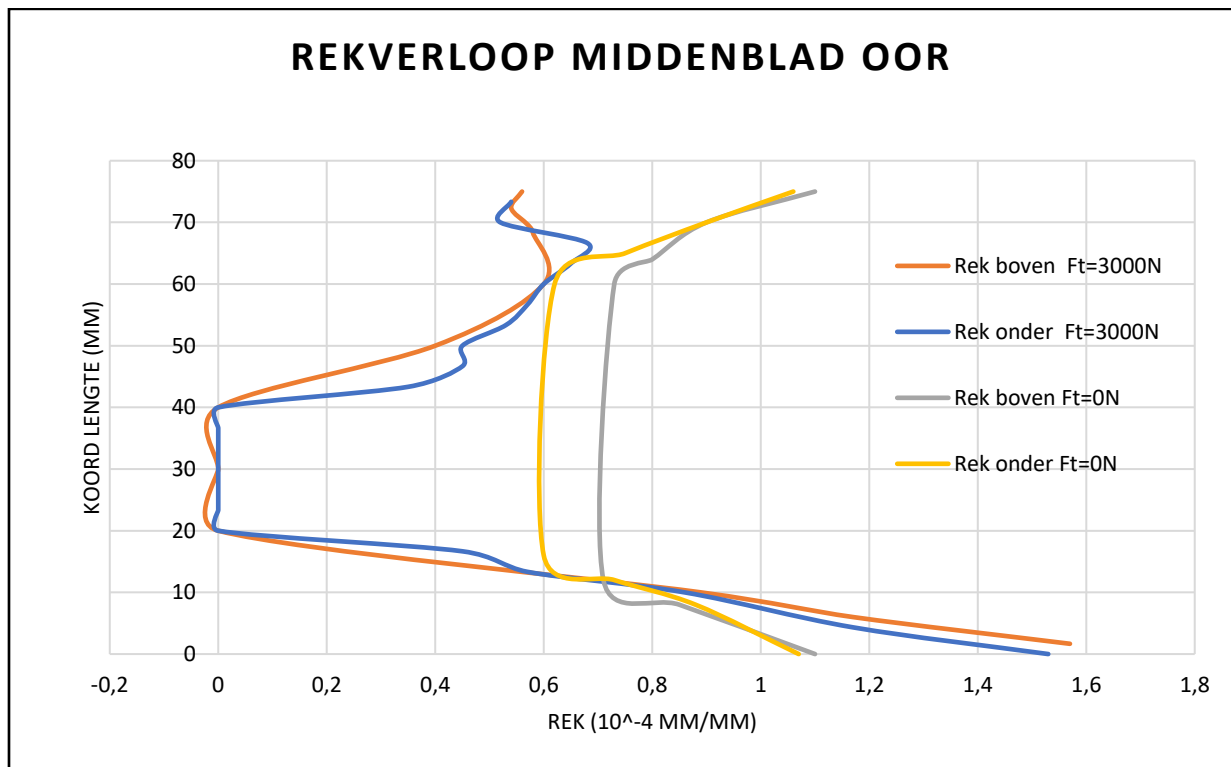
Voor het meten van de belastingen op de horizontale bladen is gekozen voor het aanbrengen van sensoren op de zijkanten van "het oor" van het middelste horizontale blad. Zie figuur 28 voor een weergave van het oor met de krachten die hierop aangebracht zijn en een versimpelde weergave van de rek. De reden voor het kiezen van het oor is de kleine dwarsdoorsnede waardoor er een hoge mate van spanning ontstaat in dit gebied en het symmetrische verloop van de rek door de symmetrie van dit deel van het horizontale blad. Deze is middels FEM-analyse geverifieerd door het vergelijken van een situatie waarbij er alleen een radiale kracht op het oor wordt uitgeoefend met een situatie waarbij er een combinatie van een tangentiële en radiale kracht wordt uitgeoefend. In figuur 29 is een FEM-model te zien van de bovenkant van het oor waarbij beide krachten gesimuleerd zijn. Voor beide gesimuleerde scenario's bleek de grootste mate van rek op te treden aan de zijkanten van het blad ter hoogte van de 30 mm-markering op de schaal aanduiding. Om deze reden is er een grafiek gemaakt over de koordlengte van het oor op deze positie zoals is aangegeven met de paarse lijn. De grafiek die opgesteld kan worden over deze koordlijn is weergegeven in figuur 30.



Figuur 28: Weergave van de krachten F_t en F_r op het oor (links) en een versimpelde weergave van de rek ten gevolge van F_t en F_r (rechts)



Figuur 29: FEM-simulatie van de optredende rek ten gevolge van een situatie met F_t en F_r , de paarse lijn geeft de koordlijn aan waarlangs de grafiek uit figuur 30 is opgesteld



Figuur 30: Rekverloop tegenover de koordlengte van de boven en onderzijde van het oor van het middelste horizontale blad voor een situatie met F_r maar zonder F_t en een situatie waarbij naast F_r een F_t van 3000N op het oor staat¹

¹ Let op: rekverloop voor een koordlengte tussen 10 en 65 mm is niet nauwkeurig weergegeven.

Een op het oor aangebrachte radiale kracht aan de zijkanten van het oor ($y=0$ mm en $y=75$ mm) voor een symmetrische rekgrrootte van $1.1 \cdot 10^{-4}$ mm/mm. Onder invloed van een extra tangentiële kracht van 3000N zal de mate van rek aan beide zijkanten verschuiven evenredig met de aangebrachte tangentiële kracht. Bij $y=0$ mm neemt de rek met een hoeveelheid van ongeveer $0.5 \cdot 10^{-4}$ mm/mm toe en bij $y=75$ mm neemt de rek met ongeveer dezelfde factor af. Hieruit kan geconcludeerd worden dat wanneer aan beide zijden van het oor rekstroken of optische sensoren aangebracht worden de krachten F_t en F_r beide te meten zijn.

In overleg met Reinier Rijke (Water2Energy) is besloten twee extra metingen uit te voeren op één van de verticale bladen om een beeld te krijgen van de doorbuiging in de verticale bladen. Het totaaloverzicht van het aantal meetpunten is te zien in figuur 60 in bijlage 8.1.6.

De sensoren die mogelijk toegepast konden worden zijn fiber bragg sensoren en rekstroken. Alhoewel Fiber Bragg interessant is, is de technologie niet beschikbaar voor het inbouwen op de turbine van Water2Energy, er is contact geweest met een leverancier van systemen op basis van deze optische sensoren maar die zijn nog niet compact genoeg om ingebouwd te worden in het roterende deel van de waterturbine van Water2Energy.

De andere optie is het plaatsen van rekstroken. Hier was meer keus in en er is overlegd met twee bedrijven die een systeem op basis van rekstroken konden leveren.

DB Asset kon een systeem leveren met een accu en een zender die wordt ingebouwd in het roterende deel van de turbine. Daarnaast kon er ook een inductief systeem op basis van inductieve voedingsspanning en data-overdracht geleverd worden.

IMC Test & Measurement kon ook een systeem leveren op basis van inductieve voedingsspanning en data-overdracht. De verschillende opties zijn vervolgens beoordeeld met een wegingsmatrix op verschillende punten. Waarbij vooral de levensduur een cruciaal punt was. Een accu is namelijk nadelig in de zin dat de turbine uit bedrijf gehaald moet worden voor het wisselen van accu's terwijl met inductie het meetsysteem actief kan zijn. Onder andere hierdoor is de beslissing genomen om een belastingsmeetsysteem op basis van inductie te kiezen voor de waterturbine. De beslissing is genomen om het systeem van DB Asset Services te kiezen aangezien Water2Energy eerder heeft samengewerkt met dit bedrijf en in tegenstelling tot IMC Test & Measurement het systeem en de componenten zelf kan aanbrengen zonder tussenkomst van een derde partij.

4.2.2 POSITIEMEETSYSTEEM

Het doel van het positiemeetsysteem is het meten van het toerental (hoeksnelheid) van de turbine en de positie van de bladen om de centrale as. Uit deze metingen kan in combinatie met het koppel het mechanisch vermogen berekend worden. Daarnaast geeft de positie van het blad in combinatie met het meten van de belastingen op het oor en de stroming informatie over de wisseling van belastingen ten gevolge van de positie om de centrale as, de stroomrichting en de stroomsnelheid.

Allereerst is de waterturbine geanalyseerd op mogelijke meetlocaties. Hieruit is gebleken dat het best gemeten kan worden onder de trillingdemper in de turbinekoppeling waarmee de turbine met de generator verbonden wordt aangezien de demper kleine fluctuaties in het toerental opvangt.

Voor het meten van positie en toerental is de buitenzijde van de koppelingshelft onder de trillingdemper uitermate geschikt aangezien de diameter hiervan groter is dan de diameter van de centrale as. Hierdoor is de te meten omtrek groter en daardoor de resolutie die te meten is per rotatie groter dan op de centrale as. Daarnaast is de koppeling makkelijk bereikbaar en altijd boven water. De keuze is dan ook gevallen op het aanbrengen van meetinstrumenten op de buitenzijde van de onderste koppelingshelft.

Voor het meten van positie en toerental zijn verschillende sensoropties bekeken. Er zijn absolute encoders, incrementele encoders en quasi absolute encoders. Alle in verschillende vormen en maten. Voor het positiemeetsysteem zijn vervolgens op basis van deze mogelijkheden concepten opgesteld die vervolgens middels een wegingsmatrix zijn beoordeeld. Hieruit blijkt dat een quasi absolute incrementele meting op basis van een tandkrans met nabijheidssensoren de beste optie is voor de waterturbine.

Elke keer dat een tand voorbij de nabijheidssensor draait zal de sensor een hoge puls afgeven naar het verwerkingssysteem. Uit de tijd tussen de pulsen kan de hoeksnelheid berekend worden. In combinatie met een extra sensor die per rotatie één vast startpunt waarneemt door een missende tand die steeds op dezelfde omwentelingshoek voorbij komt kan de positie van de verticale bladen quasi absoluut gemeten worden. Bij een tandkrans met 50 tanden voor het meten van het toerental zal dan één van deze tanden weggelaten zijn voor het meten van de startpositie. Dit betekent dat wanneer de startpositiesensor langs dit gat komt de software de langere interval tussen de pulsen herkent en de software de positie instelt op 0 graden. Vervolgens zal bij het doordraaien van de turbine de toerenteller-sensor bij elk van de 49 tanden een puls afgeven. De tussenliggende hoek bij 50 tanden bedraagt logischerwijs $360/50 = 7,2$ graden. Elke keer als een tand wordt gemeten zal er

bij de positie 7,2 graden opgeteld worden. Hierdoor kan de positie van de verticale bladen op 50-1 punten gemeten worden per rotatie van de turbine.

Nadat het concept met nabijheidssensoren en een tandkrans gekozen was is dit uitgewerkt tot een gedetailleerd ontwerp in Autodesk Inventor. De tandkrans bestaat uit 50 tanden en is door Meeuwse Trade & Metal Services B.V. geproduceerd. Bij één van de tanden is een deel weggehaald om als startpositie te kunnen gebruiken.

De nabijheidssensoren op basis van inductie zijn besteld bij RS Components en het plaatwerk voor de ophanging is net als de tandkrans besteld bij Meeuwse Trade & Metal Services B.V.

4.2.3 STROMINGSMEETSYSTEEM

Het doel van het stromingsmeetsysteem is het meten van de stroomsnelheid van het water en het meten van het waterniveau aan beide kanten van de turbine zodat voor opkomend en afgaand tij inkomende stroom gemeten kan worden. Met deze meetgegevens kan debiet en het theoretisch maximale vermogen opneembaar uit het water berekend worden. Dit kan vervolgens in verband gebracht worden met de belastingen en het toerental van de andere subsystemen.

Allereerst is de waterturbine geanalyseerd op mogelijke meetlocaties. Hieruit is gebleken dat aan de sluiszijde beperkt ruimte beschikbaar is voor het meten van de stroom doordat de afstand tussen de watergang in de sluis en de turbine bladen op het kortste stuk slechts 0.75m bedraagt. Aan de kanaalzijde was er geen beperking aan ruimte.

Nadat de turbine geanalyseerd was is er onderzoek gedaan naar verschillende soorten sensoren voor het meten van stroomsnelheid en waterniveau. Voor het meten van snelheid kon er gekozen worden uit onderwatermetingen met een mechanische sensor op basis van een propeller of een schoepenrad of een akoestische doppler meting. Voor het contactloos meten van de stroom boven water kon er gekozen worden voor een type sensor dat middels radar signalen de gemiddelde snelheid van een stuk van het oppervlaktewater kan meten.

Voor het meten van het waterniveau waren er opties als het mechanisch met een vlotter op het wateroppervlak meten, een drukmeter onderwater plaatsen waarmee de verandering in druk gemeten kan worden of het aanbrengen van een radarsensor boven het wateroppervlak.

Van deze opties zijn verschillende concepten bedacht die vervolgens met een wegingsmatrix beoordeeld zijn. Hieruit is gebleken dat het meten van de stroming het best kan plaatsvinden door middel van radar sensoren. De twee belangrijkste redenen hiervoor zijn enerzijds de stroom die niet verstoord wordt en anderzijds dat dit type sensor vanwege de analoge signaaluitgang op veel verschillende verwerkingssystemen aan te sluiten is.

Vervolgens is er op de markt gezocht naar verschillende systemen op basis van radar waarna een offerte is aangevraagd bij BAR Instrument en de keuze is gemaakt uit twee compacte niveausensoren en twee compacte snelheidssensoren.

Op basis van deze sensoren zijn ontwerpen gemaakt in Autodesk Inventor voor de ophangingsbeugels voor het bevestigen van de sensoren aan de turbine. De gekozen beugels zijn door Meeuwse Trade & Metal Services B.V. geproduceerd.

4.2.4 VERWERKINGSSYSTEEM

Het doel van het verwerkingssysteem is het ontvangen, verwerken en opslaan van alle meetsignalen uit de andere subsystemen met een bepaalde samplefrequentie.

Besloten is dit verwerkingssysteem, ook wel data acquisitiesysteem genoemd, te bevestigen in een meetkast aan de reling op het platform van de turbine. Dit platform is makkelijk bereikbaar voor het werken aan het verwerkingssysteem.

Er zijn twee opties onderzocht als mogelijk acquisitiesysteem. De eerste was een datalogger van Datatranslation die reeds aanwezig was van een andere turbine. Deze kon 16 analoge kanalen ontvangen en bemonsteren. Het tweede systeem dat onderzocht is, is een data-acquisitiesysteem van IMC Test & Measurement B.V. bestaande uit een module, waarmee 8 kanalen ontvangen kunnen worden, dat is uitgebreid met een via CANBUS verbonden module om 8 extra kanalen te kunnen ontvangen zodat er genoeg ingangskanalen beschikbaar zijn voor alle sensoren.

Na het onderzoeken van deze opties is besloten het Datatranslation systeem te hergebruiken aangezien dat genoeg ingangskanalen heeft voor alle meetsignalen en hierdoor een groot deel van de componenten in de meetkast opnieuw gebruikt kunnen worden waardoor er geen extra kosten voor een nieuw acquisitiesysteem gemaakt hoeven te worden.

4.2.5 BEKASTING

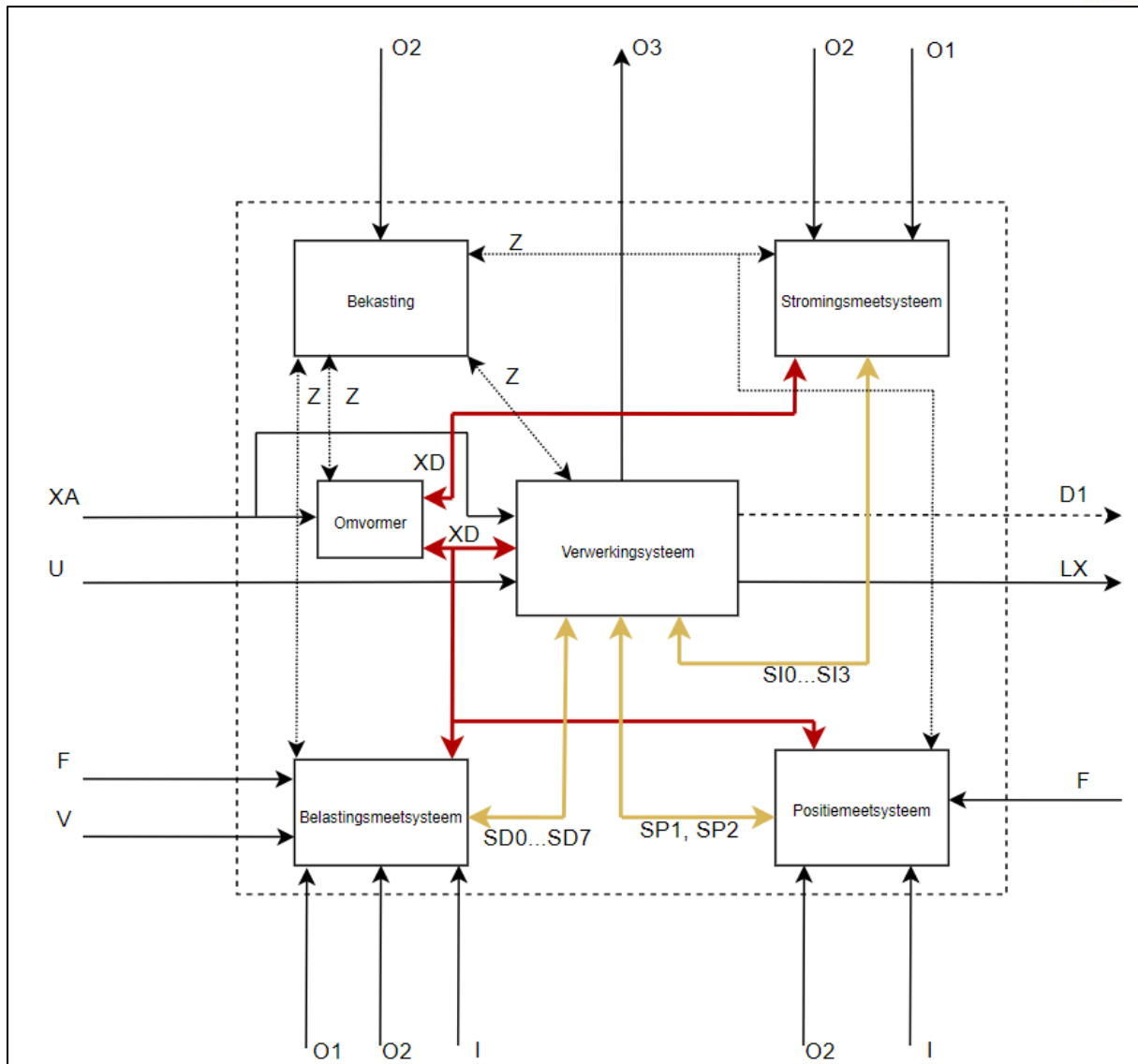
Om de elektrische componenten te beschermen tegen weersinvloeden en op een centrale plek toegankelijk te maken moest er een bekasting komen. Aangezien een groot deel van het hergebruikte verwerkingssysteem reeds ingebouwd was in een eerder gebruikte meetkast is besloten deze meetkast opnieuw te gebruiken en waar nodig aan te passen om de nieuwe subsystemen te kunnen herbergen.

De herindeling is uitgevoerd in samenwerkingsverband met DB Asset Services. De meetkast zal op het platform van de waterturbine bevestigd worden zodat deze makkelijk toegankelijk is voor het werken in de software en het uitvoeren van metingen.

4.2.6 SUBSISTEEMBESCHRIJVING

Parallel met het uitwerken van de (sub)systeemconceptontwerpen tot een gedetailleerd ontwerp is de subsysteembeschrijving met daarin het subsysteemoverzicht, weergegeven in figuur 31, opgesteld. In het subsysteemoverzicht zijn de interacties tussen de verschillende subsystemen en de systeemomgeving overzichtelijk weergegeven.

Alle interacties hebben een unieke aanduiding die in tabel 4 beschreven zijn. Meer informatie over deze interacties en de bijbehorende limietentabel zijn te vinden in bijlage 8.1.8.



Figuur 31: Subsystemoverzicht

Tabel 4: Aanduiding van de interacties in het subsystemoverzicht

Aanduiding	Beschrijving
SYSTEEMNIVEAU	
D1	Data overdracht vanuit het systeem naar externe locatie (USB)
F	Invloed van de draaiing op het systeem
I	Elektromagnetische interferentie vanuit de turbine
LX	Lichtsignalen vanuit het systeem (Display)
O1	Omgevingsinvloeden op het system (onderwater)
O2	Omgevingsinvloeden op het system (bovenwater)
O3	Systeeminvloed op de omgeving
U	Gebruikersinteractie op het systeem
V	Vervorming van de turbine
XA	AC voeding voor het meetsysteem
SUBSYSTEEMNIVEAU	

SD0	Analoog 0-10V DC signaal, Koppel 1 (Totaalkoppel)
SD1	Analoog 0-10V DC signaal, Koppel 2
SD2	Analoog 0-10V DC signaal, Koppel 3
SD3	Analoog 0-10V DC signaal, Spanning voorzijde oor
SD4	Analoog 0-10V DC signaal, Spanning achterzijde oor
SD5	Analoog 0-10V DC signaal, Doorbuiging verticaal blad
SD6	Analoog 0-10V DC signaal, Doorbuiging verticaal blad
SD7	Analoog 0-10V DC signaal, Reserve
SI0	Analoog 4-20mA I signaal, Waterniveau 1
SI1	Analoog 4-20mA I signaal, Waterniveau 2
SI2	Analoog 4-20mA I signaal, Stroomsnelheid 1
SI3	Analoog 4-20mA I signaal, Stroomsnelheid 2
SP1	Puls signaal PNP/NPN/TTL/HTL, Incrementele teller
SP2	Puls signaal PNP/NPN/TTL/HTL, Incrementele teller
XD	Voeding 24V DC
Z	Bevestiging componenten/subsystemen aan meetkast

4.3 COMPONENTINTEGRATIE EN SUBSYSTEEMINTEGRATIE

Nadat de subsystemenontwerpen uitgedetailleerd waren tot koopdelen en maaddelen en hiervoor testplannen waren opgesteld om de functionaliteit te kunnen waarborgen is begonnen met de integratiefase van het project. In deze fase worden de subsystemen besteld, geassembleerd en getest. Zie voor de uitgebreide resultaten hiervan de bijlagen 8.1.11 en 8.1.12.

4.3.1 Belastingsmeetsysteem

Voor het belastingsmeetsysteem zijn allereerst door DB Asset Services de rekstroken aangebracht op de centrale as voor het meten van koppel. Vervolgens zijn op een onderste verticale blad en op het oor van het middelste horizontale blad rekstroken aangebracht voor het meten van doorbuiging en spanning waarna gestart kon worden met het uitvoeren van testen.

Voor het uitvoeren van de testen is DB Asset Services langs geweest met een telemetriesysteem op basis van accu's en radiozender omdat de levering van het Manner Telemetrie systeem op basis van inductie een te lange levertijd nodig had om tijdens de afstudeerperiode de rekstroken te kunnen testen.

Voor het nauwkeurig nabootsen van de belastingen op de verticale turbinebladen is daarnaast gebruik gemaakt van twee loadcells (een soort digitale veerunsters) die van Metesco zijn gehuurd. Hiermee kon gemeten worden welke belasting tijdens de test aangebracht werd op de verticale bladen.

Vervolgens zijn twee soorten tests uitgevoerd. De eerste test had betrekking tot het nabootsen van een radiale kracht op de verticale turbinebladen waarbij de signalen van de rekstroken voor doorbuiging op het verticale blad en de rekstroken op het oor getest zijn. Hieruit kwamen resultaten die een lineair verband vertoonden met de aangebracht belasting zoals vooraf verwacht was.

Daarnaast was de spanning gemeten aan beide zijden van het oor redelijk gelijk.

De tweede test bestond uit het nabootsen van een tangentiële kracht op de verticale turbinebladen waarbij de signalen van de rekstroken aan de voor- en achterzijde van het oor wederom gemeten

werden en ook de signalen van de rekstrook die het totaaloppel op de as meet. Net als bij de eerste test lieten de resultaten een redelijk duidelijk lineair verband zien tussen de aangebrachte belasting en de meetwaarden uit de rekstroken. Toch was er een afwijking tussen de voorspelde meetresultaten en de resultaten van de test met betrekking tot de rekstroken op het oor. De verwachting was dat de gemeten waarde aan de voorzijde van het oor gelijk zou zijn aan de achterzijde, zij het negatief, bij een aangebrachte tangentiële belasting. Bij de test is echter gemeten dat er verschil zit in de gemeten spanning aan beide zijden van het oor. Dit kan deels komen doordat de testopstelling naast de gewenste tangentiële kracht ook een kleine radiaalkracht veroorzaakt. Echter is na analyse van de resultaten niet uit te sluiten dat dit een andere oorzaak had, daarom kon uit de meetwaarden van de rekstroken op het oor op dat moment nog niet accuraat de waarden van de tangentiële en de radiale belasting berekend worden maar konden deze berekende waarden slechts dienen als een benadering van deze twee belastingscomponenten.

4.3.2 POSITIEMEETSYSTEEM

Nadat de tandkrans en de inductiesensoren geleverd waren zijn als eerst testen uitgevoerd op de sensoren. Hierbij is de detectieafstand getest en het voltage dat de sensoren doorgeven. De resultaten van deze test waren positief, de sensoren voldeden aan de eisen van het positiemeetsysteem waarna subsysteemtesten met de sensoren en de tandkrans uitgevoerd konden worden.

De eerste van deze tests was gericht op het verifiëren van het meetprincipe voor de bladpositie. Hiervoor is een sensorbeugel vervaardigd uit foamboard en is de tandkrans gemonteerd op de turbinekoppeling. De sensorbeugel is vervolgens zo geplaatst dat deze de tanden en het stuk met de missende tand op de krans kon waarnemen. De sensor werd daarna aangesloten op het verwerkingssysteem met de juiste instellingen in DEWESoft 7 software. Om de werking te testen is een meting gestart waarna de turbine met de hand in beweging gebracht werd voor een periode van ongeveer 20 seconden. De meetresultaten van deze test lieten zoals verwacht de bladpositie zien. Daarnaast kon uit de resultaten duidelijk waargenomen worden dat op het moment dat de missende tand gedetecteerd werd de bladpositie weer vanaf 0 graden begon met optellen.

De tweede test was gericht op het verifiëren van het meetprincipe van de toerenteller. Hierbij werd de sensor aangesloten op de toerentalbewaker module. Deze module werd ingesteld zodat deze een 4 mA signaal doorstuurde bij een draaisnelheid van 0 rpm en een signaal van 20mA bij 70 rpm. Deze stroom werd door een weerstand van 50 ohm geleid waarna 4 mA overeenkomt met 0.2 V en 20mA overeenkomt met 1V. Dit is vervolgens aangeboden aan het verwerkingssysteem.

Op dezelfde wijze als bij de bladpositietest is een meting gestart waarna de turbine handmatig in beweging werd gebracht. De resultaten van deze meting waren zoals verwacht. Het toerental werd tussen elke tand correct gemeten. Echter was er wel een afwijkende piek te zien bij elke omwenteling doordat de sensor door een foutieve opstelling ook de missende tand waarnam. Dit is echter snel verholpen door de sensorbeugel op de goede positie te plaatsen.

Uit de subsysteemtesten kan daarom geconcludeerd worden dat het systeem naar behoren functioneert.

Naast het uitvoeren van deze testen is ook een assemblageplan opgesteld met de montage instructies van dit subsysteem op de waterturbine voor wanneer de metalen beugels arriveren.

4.3.3 STROMINGSMEETSYSTEEM

Door de lange levertijd was het niet mogelijk de subsysteemtesten van de niveau- en stroomsensoren te testen en de resultaten te documenteren in dit rapport. Wel is een assemblageplan opgesteld met de montage instructies van dit subsysteem op de waterturbine.

4.3.4 VERWERKINGSSYSTEEM

Om de werking van het verwerkingssysteem te verifiëren is een test uitgevoerd waarbij alle analoge kanalen getest zijn doormiddel van een accu. Uit deze test bleek dat het Datatranslation systeem naar behoren functioneert. Daarnaast is in DEWESoft 7 getest of de meetgegevens correct verwerkt worden in wiskundige formules en of deze correct opgeslagen worden tijdens het uitvoeren van een meting. De resultaten van deze testen waren correct zoals verwacht waaruit geconcludeerd kan worden dat het verwerkingssysteem naar behoren functioneert.

Voor dit subsysteem is in tegenstelling tot de eerder genoemde subsystemen geen assemblageplan opgesteld aangezien het verwerkingssysteem al gemonteerd was in de meetkast.

4.3.5 BEKASTING

Wegens tijdgebrek en de insignificante rol van dit subsysteem in het systeemontwerp is besloten het assemblageplan van de bekasting en de bijbehorende bevestigingsmaterialen aan het turbineplatform niet mee te nemen in dit rapport.

4.4 SYSTEEMINTEGRATIE

Zie voor de uitgebreide resultaten van deze fase bijlage 8.1.13.

Door vertraging in de levertermijn van de generator van de waterturbine en van andere subsysteemcomponenten is de systeemintegratiefase niet volledig uitgevoerd. Wel is een assemblageplan gemaakt in de vorm van een elektrisch schema voor de aansluiting van de subsystemen op het verwerkingssysteem en zijn de beoogde kabelroutes bepaald tussen de sensoren en de meetkast.

Vervolgens is een setup en lay-out gemaakt in de DEWESoft software voor het ontvangen, verwerken en weergeven van de meetdata van alle subsystemen. Tot slot is een inbedrijfstellingsplan opgesteld met een stappenplan voor het uitvoeren van metingen met deze setup voor de waterturbine.

5. DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN

5.1 DISCUSSIE

In dit rapport is getracht de deelvragen en de hoofdvraag zo goed mogelijk te beantwoorden. Door systematisch te werken volgens het V-model van Systems Engineering en door het toepassen van desk- en fieldresearch waarbij wetenschappelijke bronnen zijn gebruikt voor het onderzoek is het gelukt om met de resultaten de deelvragen te beantwoorden op een herhaalbare manier.

Toch zijn niet alle resultaten zoals verwacht, met name de resultaten van de subsysteemtesten van de rekstroken van het belastingsmeetsysteem hebben geleid tot vragen die wellicht in vervolgonderzoek beter onderzocht kunnen worden.

Uit de testresultaten blijkt namelijk dat het meten van spanning in het oor op de middelste horizontale turbinebladen niet precies te herleiden valt tot de tangentiële en radiale belastingcomponenten bij een tangentiële (of samengestelde belasting) op de verticale turbinebladen zoals wel de verwachting was aangezien theoretisch gezien het spanningsverloop aan beide zijden van het oor symmetrisch verloopt bij een tangentiële belasting en gelijk oploopt bij enkel een radiale belasting.

Aangezien de tangentiële spanningscomponent rechtstreeks in verband staat met het opgewekte koppel en daarmee met de turbineprestaties zoals te lezen valt in het theoretisch kader is het aan te raden vervolgonderzoek te doen naar de oorzaak van de afwijkende resultaten door de test te herhalen en te optimaliseren door minimaal de spanbanden te vervangen voor een spanmethode waarbij nauwkeuriger een gewenste belasting aangebracht kan worden. Daarnaast is het van belang om de rekstroken precies symmetrisch aan te brengen bij een volgend project. Een afwijking van enkele graden en/of millimeters aan beide zijden kan namelijk invloed hebben op de gemeten spanningswaarde en daardoor het nut van de sensoren te niet doen.

5.2 AANBEVELINGEN

Uit het onderzoek naar de verschillende mogelijkheden voor het meten van belastingen en spanningen in de turbine in het theoretisch kader blijkt dat naast het uitvoeren van metingen met rekstroken het gebruik van optische Fiber Bragg sensoren interessant kan zijn. Doordat met deze meetmethode in een enkele optische vezel op tientallen punten rek gemeten kan worden en dit minder ruimte in beslag neemt dan rekstroken door het ontbreken van onder meer bedrading is het aan te raden in de toekomst onderzoek te doen naar implementatiemogelijkheden voor dit meetprincipe. Ten tijde van dit onderzoek was de techniek nog niet ver genoeg gevorderd voor toepasbaarheid op de turbine. Hier kan in de toekomst verandering in komen door bijvoorbeeld het op de markt komen van Fiber Bragg systemen ter grootte van een usb-stick.

Verder is het aan te raden om ten tijde van de ontwerpfase van de waterturbine al rekening te houden met een meetsysteem voor het meten van de prestaties van de turbine. Ten tijde van dit project was het ontwerp van de turbine al gereed voor productie waardoor het inbouwen van componenten voor een meetsysteem bemoeilijkt werd aangezien er te weinig tijd was om aanpassingen uit te voeren en door te rekenen. Indien er reeds tijdens de ontwerpfase van de waterturbine gestart was met het uitwerken van een meetsysteem waren er wellicht andere deeloplossingen gekozen.

6. CONCLUSIE

In dit onderzoeksrapport is getracht antwoord te geven op de hoofdvraag: “Wat is het ontwerp van het meetsysteem in het prototype waterturbine van Water2Energy dat het mogelijk maakt de interne belastingen en de mechanisch vermogensprestatie uit te lezen om bij te dragen aan het analyseren en optimaliseren van het ontwerp van de waterturbine?”. Op basis hiervan zijn deelvragen opgesteld en beantwoord door het toepassen van kwalitatief onderzoek en systematisch ontwerpen volgens het V-model van Systems Engineering.

Uit de resultaten blijkt dat het meetsysteem de stroming, het waterniveau, de spanningsbelastingen op de centrale turbine-as en bladen, het toerental en de bladpositie in de omwenteling moet meten en al deze meetgegevens moet kunnen verwerken.

Uit onderzoek naar sensortechnieken voor het meten van spanningsbelastingen op de waterturbine blijkt dat rekstroken zich hier het best voor lenen omdat rek in een constructie element in lineair verband staat met de hierop aangebrachte belasting.

Naar aanleiding van berekeningen en FEM-analyses zijn rekstroken geplaatst op de centrale as voor het meten van koppel en op beide kanten van “het oor”, waarmee de middelste horizontale bladen aan de verticale bladen bevestigd zijn, waaruit de aandrijvende tangentiële kracht berekend kan worden die rechte reeks in relatie staat tot de turbineprestaties. Ook zijn op een verticaal blad rekstroken geplaatst voor het meten van de doorbuiging.

Na het aanbrengen van de rekstroken zijn deze getest en de resultaten hebben aangetoond dat er een lineair verband is tussen de aangebrachte belasting op de verticale bladen en de gemeten spanning in de rekstroken. Toch blijkt dat de tangentiële kracht niet exact berekend kan worden uit de spanningswaarden op het oor door een afwijking tussen de FEM-analyse en de testresultaten.

Om spannings- en dataoverdracht tussen het stationaire turbineplatform aan de ene zijde en de rekstroken en bijbehorende componenten op de roterende turbine aan de andere zijde mogelijk te maken is onderzoek gedaan naar verschillende mogelijkheden. Hieruit is gekozen voor inductieve spannings- en dataoverdracht omdat dit in tegenstelling tot het gebruik van accu's geen verwisseling vereist na enkele dagen.

Voor het meten van toerental en bladpositie is een ontwerp uitgewerkt op basis van twee inductieve sensoren in combinatie met een op de centrale as gemonteerde tandkrans met 50 tanden aangezien dit in vergelijking tot de andere concepten de beste optie bleek wegens de nauwkeurigheid, de ruime beschikbaarheid van sensoren en de compatibiliteit met de beschikbare verwerkingssystemen in tegenstelling tot bijvoorbeeld encoders die via een netwerkprotocol communiceren. Uit de uitgevoerde testen blijkt het ontwerp volledig functioneel te zijn.

Om stroming en waterniveau te meten is gekozen voor contactloze radarsensoren aan beide kanten van de turbine vanwege het feit dat deze de stroom niet verstoren in tegenstelling tot andere onderzochte sensoren die in de stroom geplaatst worden. De functionaliteit van de gekozen sensoren is niet getest door de lange levertermijn ervan.

Uit de verschillende mogelijke verwerkingssystemen blijkt dat de Datatranslation datalogger met de bijbehorende DEWESoft 7 software de beste optie is doordat deze voldoende ingangskanalen en bruikbare software heeft. Daarnaast is deze reeds aanwezig waardoor kosten voor een nieuw systeem bespaard blijven. Het resultaat van de subsysteemtest van het verwerkingssysteem heeft aangetoond dat het verwerkingssysteem naar behoren functioneert. Ook is deze reeds ingebouwd in een bekasting met genoeg ruimte voor het aanbrengen van de andere subsysteemcomponenten.

De vervolgtask hierop is het verenigen van subsystemen tot het samengestelde meetsysteem. Dit betekent het aansluiten van alle sensoren op het verwerkingssysteem waardoor een volledig meetsysteem ontstaat waarmee de interne belastingen en de mechanische vermogensprestaties in het prototype waterturbine van Water2Energy uitgelezen en opgeslagen kunnen worden voor het optimaliseringsproces van de waterturbine in de toekomst. Dit zal na de afstudeerperiode plaatsvinden.

7. REFERENTIES

- Barbosa, C. (z.d.). [Weergave van een Fiber Bragg Grating sensor]. Geraadpleegd van [https://www.hbm.com/en/6827/article-how-does-an-optical-strain-gauge-actually-work/#:~:text=Optical%20strain%20gauges%20\(also%20called,in%20temperature%2C%20acceleration%20or%20displacement](https://www.hbm.com/en/6827/article-how-does-an-optical-strain-gauge-actually-work/#:~:text=Optical%20strain%20gauges%20(also%20called,in%20temperature%2C%20acceleration%20or%20displacement)
- Claessens, M. C. (2006). *The design and testing of airfoils for application in small vertical axis wind turbines*. [afbeelding]. Geraadpleegd van https://www.researchgate.net/publication/319678764_Review_Paper_Overview_of_the_Vertical_Axis_Wind_Turbines
- Haak, W. (2019). Engineering Design of Details. Geraadpleegd van ENG-MET-Syst-meth-B-2019-09-04-WHK
- Hibbeler, R. C., & Hibbeler, R. C. (2012). *Sterkteleer* (8th editie). Amsterdam, Nederland: Pearson Education Limited.
- Iriarte, X., Aginaga, J., Gainza, G., Ros, J., & Bacaicoa, J. (2021). Optimal strain-gauge placement for mechanical load estimation in circular cross-section shafts. *Measurement*, 174, 108938. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108938>
- Iriarte, X., Aginaga, J., Ros, J., & Bacaicoa, J. (2021). *Typical gauge configurations to measure specific loads*. [illustratie]. Elsevier (174ste editie).
- KMT Telemetry. (z.d.). *Telemetrie Aufbau* [illustratie]. Geraadpleegd van <https://www.kmt-telemetry.com/telemetry/modular-telemetry/mtp-nt/#&gid=lightbox-group-1040&pid=0>
- Kumara, E. A. D., Hettiarachchi, N. K., & Jayathilake, K. G. R. M. (2017). Review Paper: Overview of the Vertical Axis Wind Turbines. *International Journal of Scientific Research and Innovative Technology*, 2017(4), 58. Geraadpleegd van https://www.researchgate.net/publication/319678764_Review_Paper_Overview_of_the_Vertical_Axis_Wind_Turbines
- Kwekkeboom, G. (2019). *The engineers guide to the V-Model* (4th ed.). Driewegen, the Netherlands: Pumbo
- Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie. (2020, 22 januari). *Wat is het Klimaatakkoord?* Geraadpleegd op 15 februari 2021, van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatakkoord/wat-is-het-klimaatakkoord>
- Mohamed, O. S., Ibrahim, A. A., Etman, A. K., Abdelfatah, A. A., & Elbaz, A. M. R. (2020). Numerical investigation of Darrieus wind turbine with slotted airfoil blades. *Energy Conversion and Management: X*, 5, 18. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2019.100026>
- Nachazel, T. (2020). *What is a Strain Gauge and How Does it Work?* [illustratie]. Geraadpleegd van <https://www.michsci.com/what-is-a-strain-gauge/#:~:text=A%20strain%20gauge%20is%20a,varies%20with%20changes%20in%20strain.&text=Strain%20gauges%20convert%20the%20applied,a%20change%20in%20electrical%20resistance>

- Oskam, I., Souren, P., Berg, I., Cowan, K., & Hoiting, L. (2017). *Ontwerpen van technische innovaties*. Noordhoff.
- Romboud, B., Rentier, G., HZ Delta Power Afstudeeropdracht Water2Energy (2020)
- Rosly, M. A. (2016). *Deflection of a cantilever beam*. [afbeelding]. Geraadpleegd van https://www.researchgate.net/figure/Figure-1-Deflection-of-a-cantilever-beam_fig1_304887625
- Spijkers, A. D. (2020). *Wat is een encoder en welke soorten zijn er?* Geraadpleegd op 8 februari 2021, van <https://products4engineers.nl/blog/wat-is-een-encoder-en-welke-soorten-zijn-er>
- Stephenson, I. (2019, 29 mei). *Aerodynamics vs. Hydrodynamics -- Behind the Design with Ken Winner*. Geraadpleegd op 15 februari 2021, van <https://www.thekiteboarder.com/2019/05/aerodynamics-vs-hydrodynamics-behind-the-design-with-ken-winner/>
- Technobis, Bruco Integrated Circuits, & Photonfirst. (2020, 22 mei). *Reducing an optical sensor interrogator to the size of a memory stick*. Geraadpleegd op 5 maart 2021, van <https://www.bruco-ic.com/local/bc02-20-THEME-Technobis-Bruco.pdf>
- Templeman, J. O., Sheil, B. B., & Sun, T. (2020). Multi-axis force sensors: A state-of-the-art review. *Sensors and Actuators A: Physical*, 304, 2-3. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2019.111772>
- Winter, B. W. & Nidec Avtron Automation. (z.d.). *Eliminating Magnetic Encoder Interference from Brakes & Motors*. Geraadpleegd op 8 februari 2021, van http://www.nidec-avtron.com/encoders/_CE/Documents/Eliminating%20Magnetic%20Encoder%20Interference%20from%20Brakes.pdf
- Lake, T., Hughes, J., Togneri, M., Williams, A. J., Jeffcoate, P., Starzmann, R., ... Masters, I. (2021). Strain gauge measurements on a full scale tidal turbine blade. *Renewable Energy*, 170, 985–996. Geraadpleegd van <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148121001506>
- Woods Hole Oceanographic Institution. (z.d.). *Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)*. Geraadpleegd op 19 maart 2021, van <https://www.whoi.edu/what-we-do/explore/instruments/instruments-sensors-samplers/acoustic-doppler-current-profiler-adcp/#:%7E:text=How%20does%20it%20work%3F,than%20when%20it%20moves%20away>.
- Sontek. (z.d.). *Working Principle of ADCP* [illustratie]. Geraadpleegd van <https://www.sontek.com/>

8. BIJLAGEN

8.1 V-MODEL DELIVERABLES EN CONCEPTEN

8.1.1 PROGRAMMA VAN EISEN

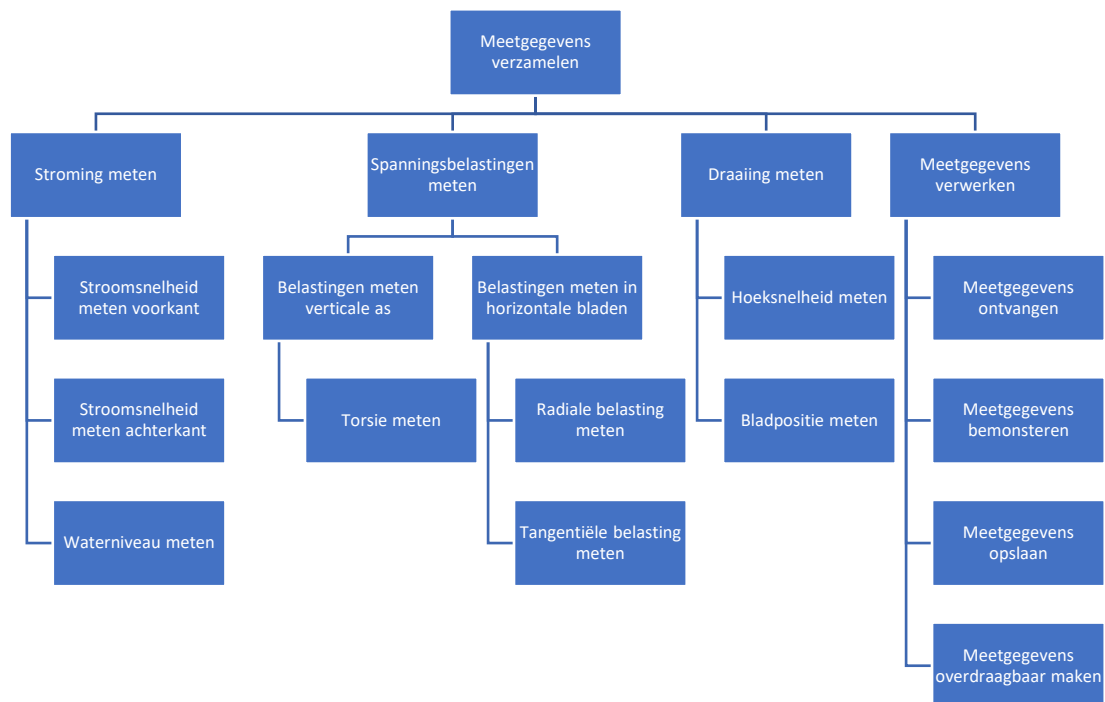
De eerste deliverable van het V-model is het programma van eisen. Hierin staan alle eisen die samen met de opdrachtgever zijn opgesteld. Het overzicht, te zien in tabel 5, is daarnaast aangevuld met eisen uit de Technische Norm TS 62600 – 200.

Tabel 5: Programma van Eisen

Eisen Opdrachtgever		
1	De sensoren van het meetsysteem moet integreerbaar zijn in het huidige prototype waterturbine en geen of minimale invloed hebben op de functionaliteit van de turbine	
2	Relevante hardware moet in een makkelijk bereikbare, waterdichte en afgesloten kast opgeborgen zijn.	
3	Het meetsysteem wordt gevoed door het reguliere elektriciteitsnet/stopcontact.	
4	De sensoren en bedrading moeten indien uitwendig geplaatst IP68 en zoutwaterbestendig zijn of gemaakt worden.	
5	De totale prijs van het meetsysteem mag niet meer bedragen dan ruwweg 50.000€	
6	Het meetsysteem moet het mechanische vermogen kunnen meten.	
7	Het meetsysteem moet interne belastingen kunnen meten.	
8	Meetgegevens moeten continu verzameld en opgeslagen worden.	
9	Samplefrequentie moet voldoende hoog zijn (minstens 420 Hz)	
Eisen IEC Norm TS 62600 - 200		
10	Metten van tangentiële en radiale kracht op horizontale bladen van één verticaal blad in de buurt van de centrale as.	
11	Metten van koppel in de centrale as.	
12	Metten van stroomsnelheid.	
13	Metten van stroomrichting.	
14	Metten van waterniveau.	
Eisen voor meetlocatie t.b.v. eisen 10 en 11		
18	Meetpunt met grote mate van rek.	
19	Meetpunt met lineair verband tussen aangebrachte belasting en mate van rek.	
20	Genoeg ruimte voor het aanbrengen van de sensor.	
21	Mogelijkheid om temperatuurcompensatie toe te passen.	
22	Meetpunt op isotropisch materiaal.	

8.1.2 FUNCTIE OVERZICHT

In het functieoverzicht staan alle functies en sub-functies die het systeem zal hebben. Het overzicht is te zien in figuur 32.

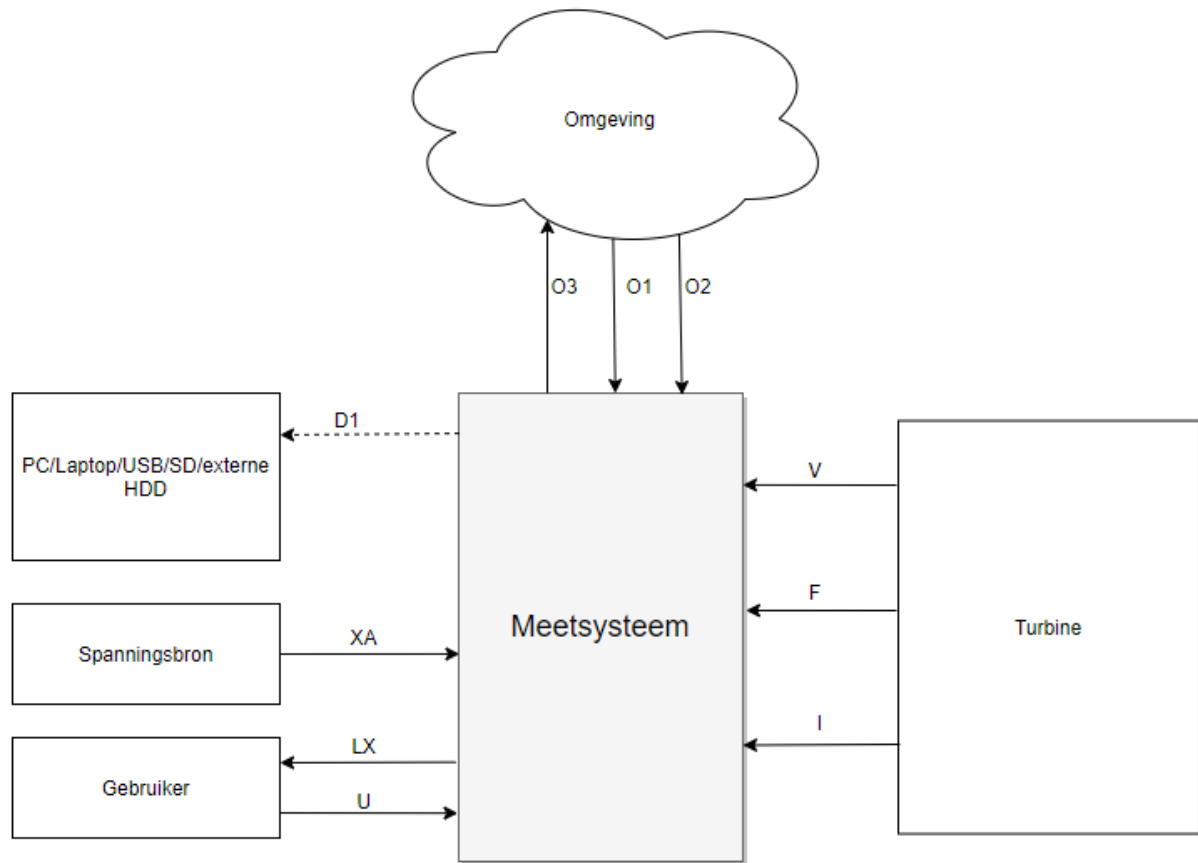


Figuur 32: Functie overzicht

8.1.3 SYSTEEMBESCHRIJVING

Uit de systeemontwerpfase van het V-model volgt de systeembeschrijving van het ontworpen systeem met daarin het systeemoverzicht, weergegeven in figuur 33. In dit figuur zijn de interacties tussen het systeem en de buitenwereld aangegeven.

Alle interacties hebben een unieke aanduiding die in tabel 6 beschreven zijn. De variabelen die via deze interacties worden uitgewisseld tussen het meetsysteem en de buitenwereld zijn vervolgens in tabel 7 beschreven met de bijbehorende limieten van deze variabelen. Daarnaast zijn de belangrijkste eigenschappen van het systeem beschreven in tabel 8



Figuur 33: Systeemoverzicht

Tabel 6: Aanduiding van de interacties tussen het systeem en de omgeving

Aanduiding	Beschrijving
D1	Data overdracht vanuit het systeem naar externe locatie (USB)
F	Invloed van de draaiing op het systeem
I	Elektromagnetische interferentie vanuit de turbine
LX	Lichtsignalen vanuit het systeem (Display)
O1	Omgevingsinvloeden op het systeem (onderwater)
O2	Omgevingsinvloeden op het systeem (bovenwater)
O3	Systeeminvloed op de omgeving
U	Gebruikersinteractie op het systeem
V	Vervorming van de turbine
XA	AC voeding voor het meetsysteem

Tabel 7: Limietentabel van de interacties op systeemniveau

Interactie	Symbool	Beschrijving	Minimum	Maximum	Eenheid	Bron
D1	VDC	USB Data overdracht	0	5	V	
	I _x	Stroom	0	1	A	
F	F _c	Centrifugaal versnelling	0	54	m/s ²	(Water2Energy, 2021)
	F _w	Relatieve watersnelheid	0	10,3	m/s	(Water2Energy, 2021)
I	EMI	Elektromagnetische interferentie	0	1	T	(Water2Energy, 2021)
LX	Wordt niet specifiek gemaakt ¹					
O1	T _{zee}	Zeewatertemperatuur	2	23	C	(Seatemperature, 2021)
	D _{zee}	Waterdiepte	0	3	m	(Water2Energy, 2021)
	V _w	Stroomsnelheid	0	3	m/s	(Water2Energy, 2021)
	S _{zee}	Zoutgehalte	8	40	g/L	(Waterinfo, 2021)
O2	V _{lucht}	Windsnelheid	0	100	Km/u	(Seatemperature, 2021)
	T _{lucht}	Luchttemperatuur	-15	37	°C	(Vlissingen.com, 2021)
	H _{lucht}	Luchtvochtigheid	75	85	%	(Vlissingen.com, 2021)
	R _r	Neerslag	0	51	mm/u	Greelane
O3	Wordt niet specifiek gemaakt ¹					
U	Wordt niet specifiek gemaakt ¹					
V	ε		0	2*10 ⁻⁴	mm/mm	(Water2Energy, 2021)
XA	E	Voltage	0	230	VAC	(Water2Energy, 2021)
	I	Stroom	0	16	A	(Water2Energy, 2021)
	f	Netfrequentie	0	50	Hz	(Water2Energy, 2021)

¹ Wordt niet gespecificeerd i.v.m. beperkte invloed van de interactie op het systeemontwerp en/of tijdbepijking.

Tabel 8: Eigenschappentabel van het systeem

Systeem	Symbool	Beschrijving eigenschap	Minimum	Maximum	Eenheid	Bron
Meetsysteem	L _{systeem}	lengte	Wordt niet specifiek gemaakt ¹		mm	
	B _{systeem}	breedte	Wordt niet specifiek gemaakt ¹		mm	
	H _{systeem}	hoogte	Wordt niet specifiek gemaakt ¹		mm	
	f _{sample}	Samplefrequentie	100	-	Hz	(Water2Energy, 2021)
	T _{sample}	Meettijd	0	48	Uur	(Water2Energy, 2021)
Turbine	n	Draaisnelheid	0	70	Rpm	(Water2Energy, 2021)
	P _{generator}	Vermogen	0	100	KW	(Water2Energy, 2021)
	V _{generator}	Spanning generator	0	400	KV	(Water2Energy, 2021)
	Y _{bladen}	Materiaal bladen	St 355			(Water2Energy, 2021)
	Y _{as}	Materiaal centrale as	St 355			(Water2Energy, 2021)
	O _{bladen}	Oppervlaktebehandeling bladen	Verzinken+Ecoshield			(Water2Energy, 2021)
	O _{as}	Oppervlaktebehandeling centrale as	Verzinken+Ecoshield			(Water2Energy, 2021)

Extern device	N.v.t. ²
Spanningsbron	N.v.t. ³
Gebruiker	N.v.t. ³

¹ Wordt niet gespecificeerd i.v.m. verdeling van subsystemen over verschillende plekken in/op de turbine.

² Wordt niet gespecificeerd aangezien meerdere devices mogelijk zijn.

³ Wordt niet gespecificeerd i.v.m. beperkte betekenis voor het project

8.1.4 SYSTEEMTESTPLAN

Doel

Het doel van deze test is het aantonen dat het meetsysteem over een periode van 24 uur vermogen, belastingen, toerental, stroomsnelheid en waterhoogte kan meten.

Hypothese

Als het meetsysteem 24 uur lang vermogen, belastingen, toerental, stroomsnelheid en waterhoogte meet en opslaat dan functioneert het ontwerp van het meetsysteem van de waterturbine correct.

Variabelen

Limiet	Constant houden op
Samplefrequentie	Minimaal 420 Hz (meting bij elke graden omwentellingshoek bij 70 rpm)
Voedingsspanning	230 V
Netfrequentie	50 Hz

Eigenschap	Variëren/Meten
Koppel centrale as	meten
Tangentiële kracht horizontale bladen	meten
Radiale kracht horizontale bladen	meten
Toerental	meten
Bladpositie	meten
Stroomsnelheid	meten

Waterniveau**meten**

Materialen

- Gemonteerd meetsysteem van de waterturbine
- Operator
- Device om meetgegevens op over te zetten en te kunnen weergeven

Meetgereedschap

- Klok/Telefoon met alarm

Methode

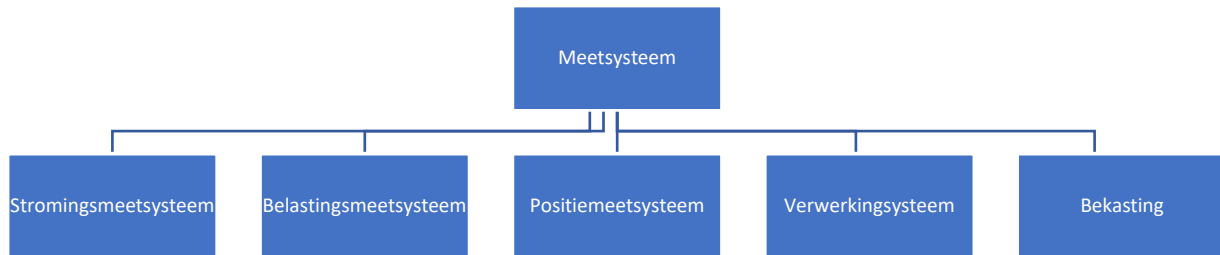
1. Stel van tevoren een alarm in voor 24 uur na de start van het meten.
2. Start het meetsysteem op het start tijdstip.
3. Start de waterturbine en verifieer de werking.
4. Het is niet nodig in de tussentijd aanwezig te zijn bij de turbine.
5. Kom 30 minuten voor het afgaan van het alarm terug bij de turbine.
6. Schakel na het afgaan van het alarm de turbine uit indien nodig.
7. Stop het meetsysteem.
8. Sla de meetgegevens op.
9. Open de meetgegevens.
10. Controleer dat het aantal samples overeenkomt met 24 uur aan meten op de ingestelde sample frequentie.
11. Controleer de data van alle sensoren en verifieer de functionaliteit van de sensoren.
12. Exporteer de meetgegevens naar een externe opslagplaats.
13. Sluit de externe opslag aan op een ander device en open en controleer de meetgegevens volgens stap 10 en 11.

Verwachte resultaten

Het verwachte resultaat van de test is het verkrijgen van 24 uur aan correcte meetgegevens van alle sensoren met het verwachte aantal gemeten samples.

8.1.5 SYSTEEMVERDELING

Na de systeemontwerpfase volgt de systeemverdeling in de subsysteemontwerpfase. Hierin wordt het systeem opgedeeld in subsystemen die in deze fase beschreven, ontworpen en gedetailleerd worden. In figuur 34 is de systeemverdeling te zien met de bijbehorende subsystemen.



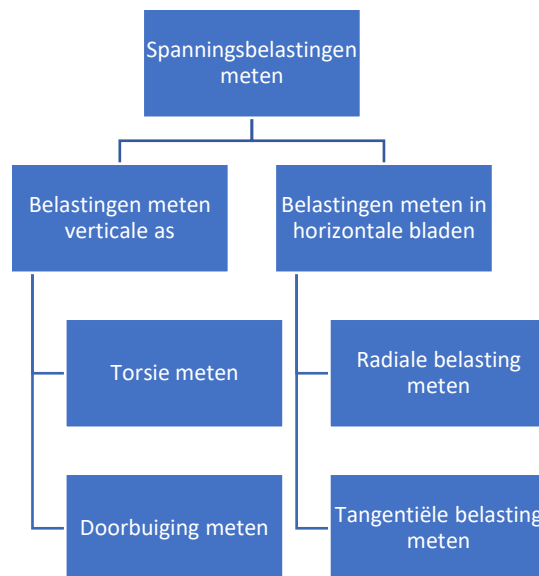
Figuur 34: Systeemverdeling van het meetsysteem

8.1.6 CONCEPTONTWIKKELING

Belastingsmeetsysteem

Functie overzicht

De functies die het belastingsmeetsysteem moet kunnen uitvoeren zijn weergegeven in figuur 35.



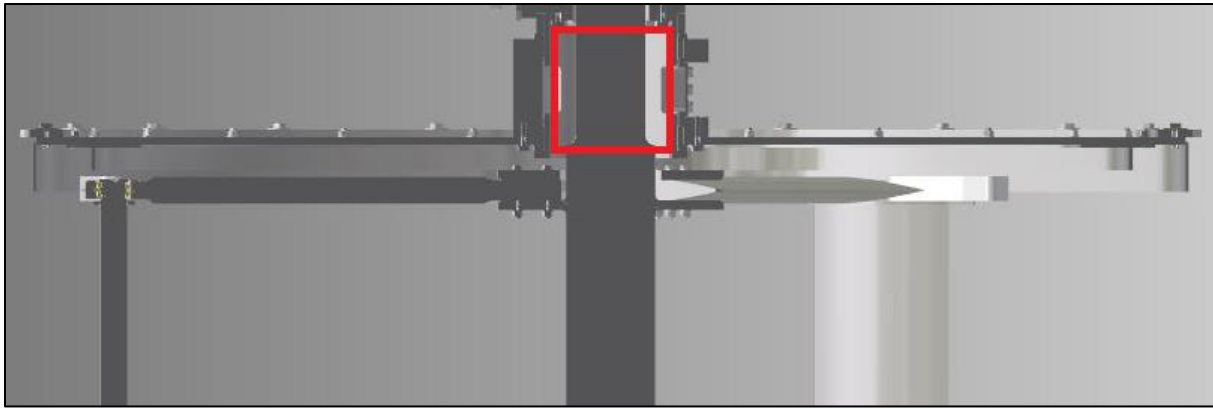
Figuur 35: Functieoverzicht van het belastingsmeetsysteem

Mogelijke metingen en meetlocaties

Om aan deze functies te kunnen voldoen zal eerst onderzocht moeten worden welke metingen op welke plek op de verticale as waterturbine mogelijk zijn.

Torsiemeting verticale as

Boven de draaischijf van het pitch systeem is om de verticale as een behuizing met een afneembaar luik ontworpen zoals rood gemarkeerd in figuur 36. Op deze locatie is het koppel van de verticale as het best meetbaar omdat de turbinebladen zich onder dit gebied bevinden. Dit betekent dat de belasting van alle drie de bladen hier via de horizontale bladen terecht komt op de verticale as. Daarnaast bevindt zich boven dit gebied de overbrenging en de generator. Dit betekent dat boven dit gebied het koppel wordt opgeheven door de tegenkoppel van de generator (en overbrenging en lagering).

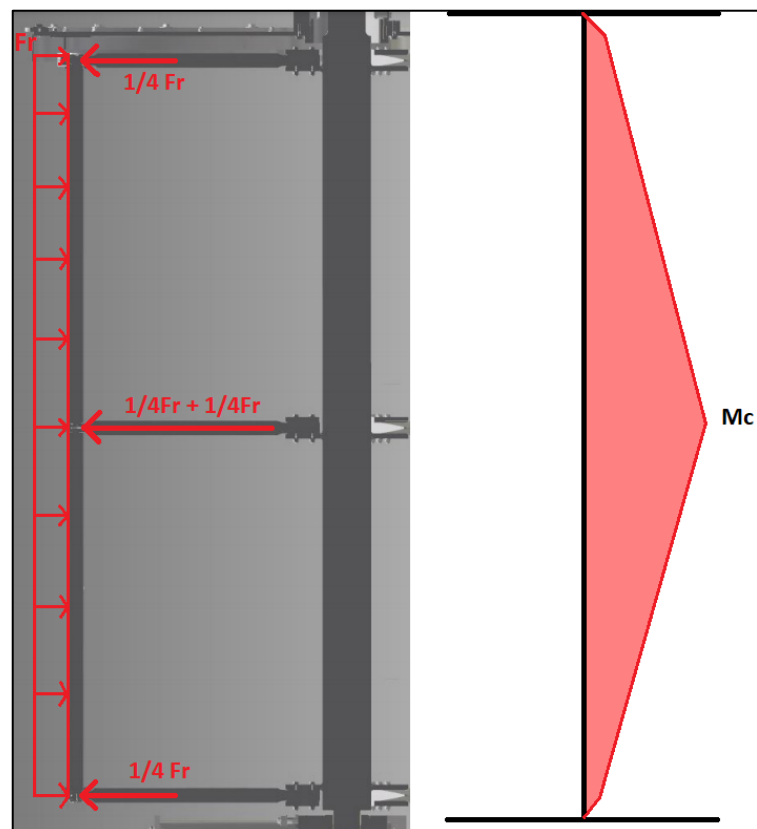


Figuur 36: Locatie van het meetgebied voor het totaal­koppel dat via een luikje toegankelijk is

Een voor­stel­ling van het koppel dat optreed ten ge­vol­ge van de tan­gen­tiële krach­ten op de ver­ti­cale bladen is te zien figuur 13. De onder­ste en bo­ven­ste hori­zon­ta­le bladeren ge­ven elk on­ge­veer een kwart van het koppel door aan de cen­tra­le as en de mid­del­ste bladen de helft van het to­ta­le koppel (Ama­ri­nus Schou­ten SED). Met deze ge­ge­vens zal de mo­men­ten­lijn er uit­zien als rechts is af­ge­beeld in figuur 13. Hierin is te zien dat in het ge­bied met het luikje de hoog­ste mate van wri­ging optreed. Dit is het to­ta­le koppel wat naar de ge­ne­ra­tor gaat als de ver­lie­zen in de over­brenging en la­gers bui­ten be­schou­wing ge­la­ten wor­den. Dit is de re­den dat dit het be­ste ge­bied is voor een het me­ten van het to­ta­al­koppel. Ver­der kan een nauw­keu­ri­ger beeld van de ver­de­ling van de koppel­op­brengst ge­maakt wor­den door tus­sen de an­dere hori­zon­ta­le bladen ook het koppel te me­ten.

Doorbuiging verticale as

Naast het koppel dat door tan­gen­tiële krach­ten ont­staat is er ook be­las­ting ten ge­vol­ge van de ra­dia­le krach­ten. Deze wordt net als de tan­gen­tiële krach­ten door­ge­ge­ven via de hori­zon­ta­le bladen zo­als te zien is in figuur 37. Deze ra­dia­al­krach­ten la­ten de cen­tra­le as door­buigen en zorgt voor een buig­mo­men­ten­lijn zo­als rechts te zien is in figuur 37. Het buig­mo­ment is het grootst bij het mid­del­ste hori­zon­ta­le blad. Hier zou in de buurt een sen­sor ge­plaatst kun­nen wor­den om de mate van door­buiging te me­ten.

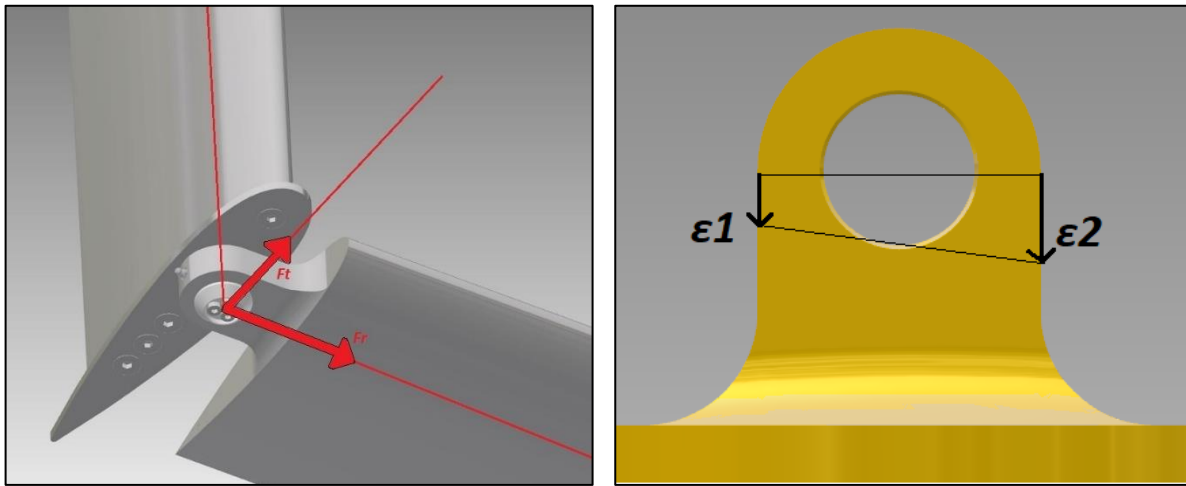


Figuur 37: Belasting op de cen­tra­le as veroor­zaakt door de via de hori­zon­ta­le bladen door­ge­ge­ven ra­dia­le krach­ten (links) en de buig­mo­men­ten­lijn ten ge­vol­ge hiervan (rechts)

Belastingen horizontale turbinebladen

Naast het meten van het koppel en belastingen via de verticale as is het ook gewenst om de belastingen van een afzonderlijk blad te kunnen meten. Met de meetgegevens per blad kan een beter beeld geschetst worden van de prestaties van de turbine bladen ten opzichte van de invalhoek van de stroming.

Om de belasting en het koppel te kunnen meten kunnen op verschillende plekken op de horizontale bladen sensoren aangebracht worden. Zo is het mogelijk om de tangentiële en de radiale belasting veroorzaakt door het verticale blad te meten in het 'oor' van de horizontale bladen zoals te zien is in figuur 38. De krachten die werken op het verticale blad worden via deze verbinding doorgegeven aan het horizontale blad dat de krachten op zijn beurt aan de verticale as overbrengt.

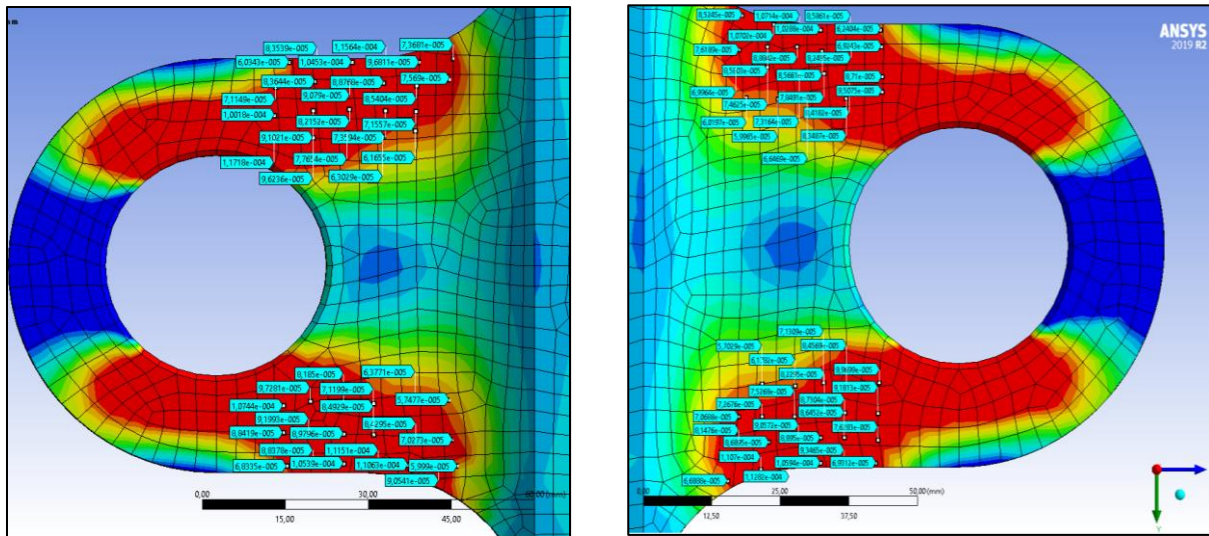


Figuur 38: Weergave van de krachten F_t en F_r op het oor (links), een versimpelde weergave van de rek ten gevolge van F_t en F_r (rechts)

De interne spanning en daaruit voortkomende rek die hierdoor veroorzaakt wordt zal er ongeveer zoals rechts in figuur 38 is afgebeeld uit komen te zien. De axiale kracht zorgt voor een evenredige samendrukking naar beneden. De tangentiële kracht zorgt voor het verschil tussen rek ϵ_2 en rek ϵ_1 .

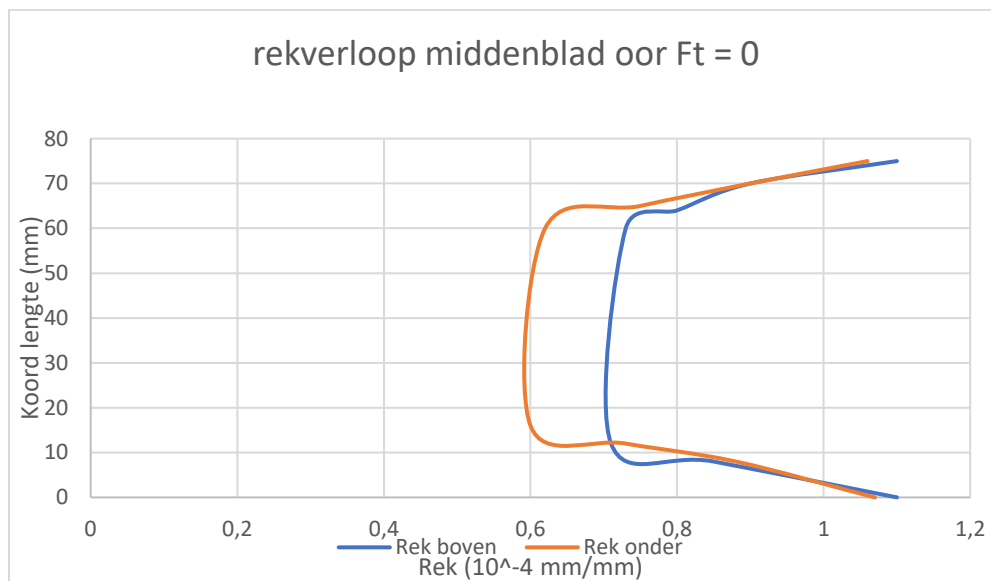
Om een realistischer beeld te schetsen van het rekverloop is met behulp van FEM-software een aantal belasting situaties gesimuleerd op de bladen waarbij het verschil tussen een combinatie van de tangentiële kracht en radiaalkracht vergeleken is met een situatie met alleen radiaalkracht.

Hiervoor is allereerst de grootste radiale belasting gesimuleerd. Hieruit kwamen de resultaten met betrekking tot rek zoals in figuur 39 te zien is.



Figuur 39: Mate van rek op de bovenzijde van het oor van een middelste horizontale blad (links) en de mate van rek op de onderzijde van het oor (rechts) waar bij rood een hoge mate van rek is en blauw een lage mate van rek

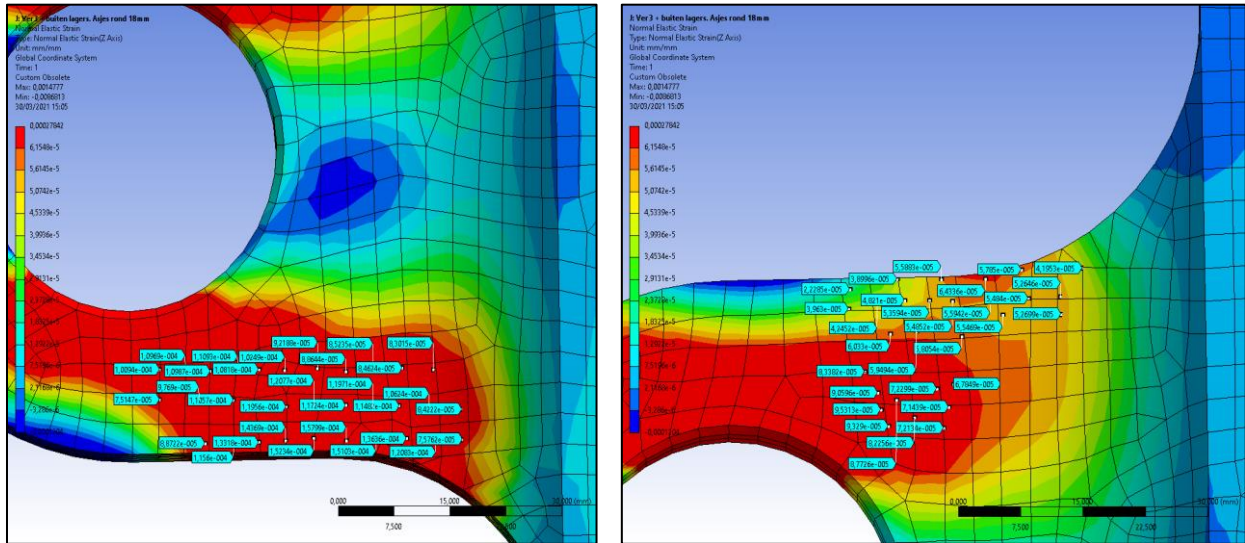
Zoals te zien is de rek aan voor en achterkant van het oor vergelijkbaar. In grafiekvorm is dit verloop ter hoogte van ongeveer 30mm op de maatstaaf afgebeeld in figuur 40. Hierdoor blijkt dat de rek in het oor van het middelste horizontale blad symmetrisch verloopt ten gevolge van een radiaalkracht.



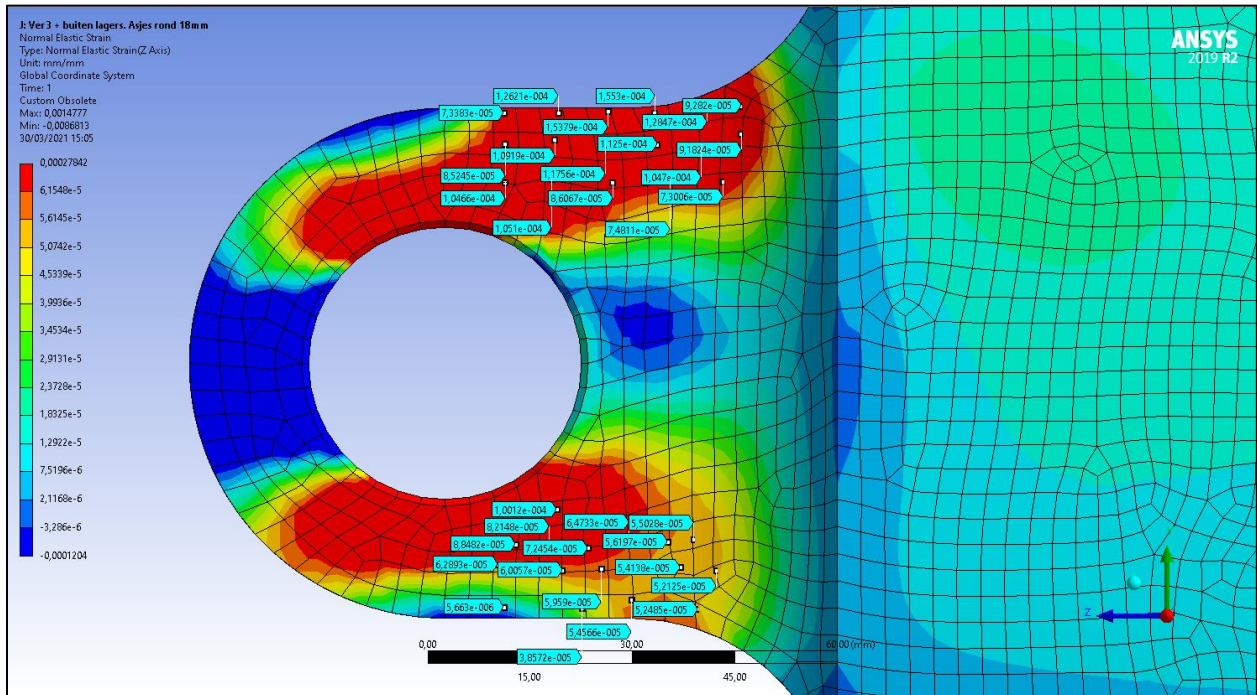
Figuur 40: Rekverloop uit figuur 39 ter hoogte van 30mm op de maatstaaf (let op: rek tussen koordlengte 25 en 55 mm niet accuraat weergegeven)

Op dezelfde wijze is een situatie gesimuleerd waarbij de grootste combinatie van krachten tangentieel en radiaal uit de CFD berekeningen (figuur 3) gesimuleerd zijn. De waarde voor F_t was hierbij 3000N/m en de waarde van F_r ongeveer 1800N/m. Hieruit kwamen de resultaten met

betrekking tot rek zoals in figuur 41 en 42 te zien is.



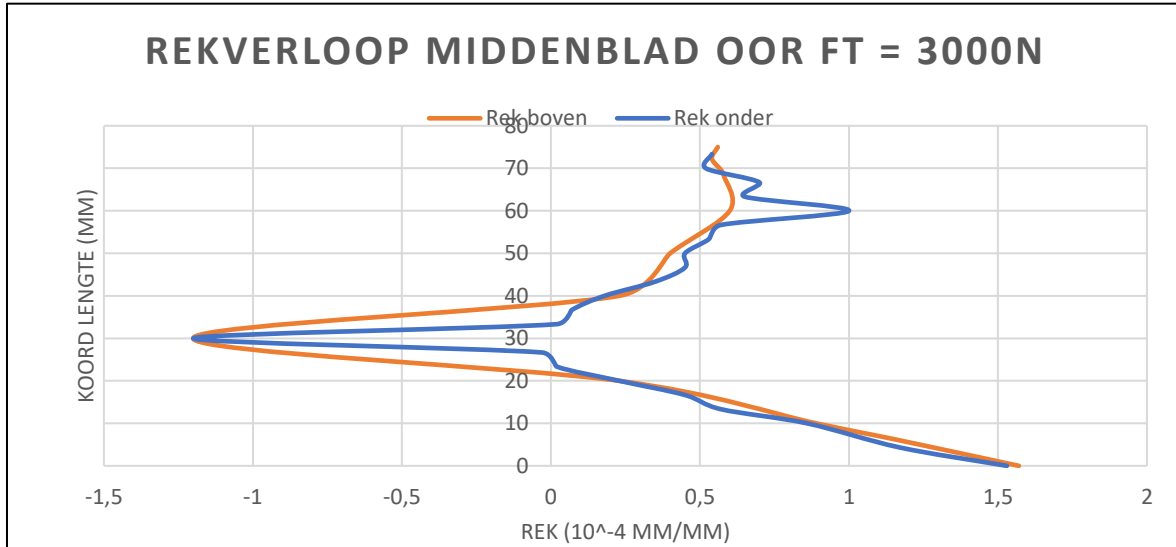
Figuur 41: Mate van rek op de voorkant van de bovenzijde van het oor van een middelste horizontale blad bij een combinatie van F_t en F_r (links) en de mate van rek aan de achterkant van dit oor (rechts)



Figuur 42: Mate van rek op de onderzijde van het oor van een middelste horizontale blad bij een combinatie van F_t en F_r

Zoals te zien is de rek aan voor en achterkant van het oor niet meer vergelijkbaar ten gevolge van de tangentiële kracht. Dit verloop is ter hoogte van ongeveer 30mm op de maataanduiding uit figuur 42 in grafiekvorm afgebeeld in figuur 43. Hierin is duidelijk een verschil tussen de voor- en achterkant van het oor te zien in de mate van rek in vergelijking met de situatie waarbij alleen een radiale kracht

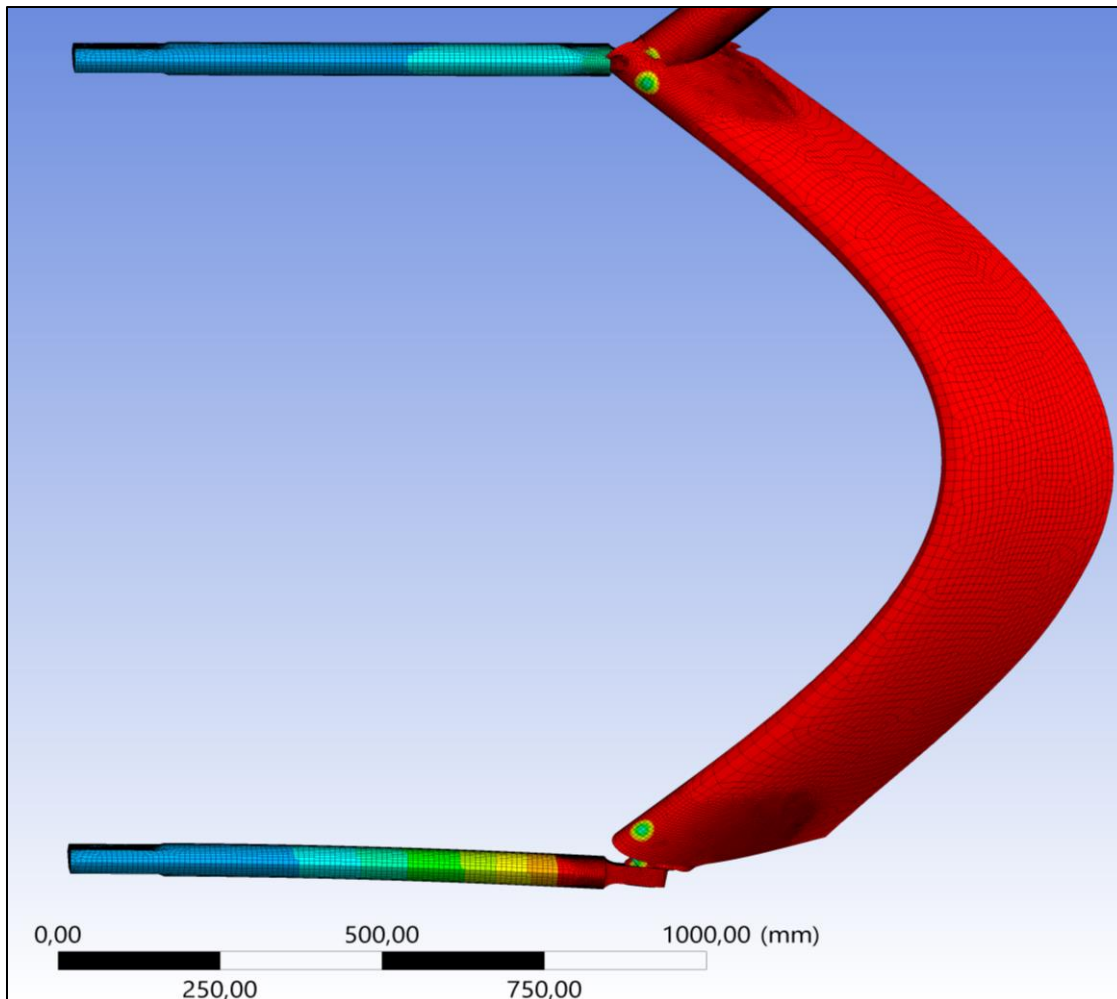
werkzaam was.



Figuur 43: Rekverloop van het oor bij een combinatie van F_t en F_r ter hoogte van de 30mm aanduiding uit figuur 42 (let op: rekverloop niet accuraat tussen 20 en 60 mm)

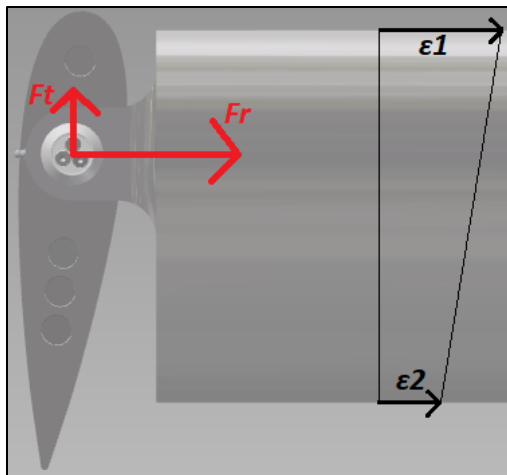
Als op het oor sensoren vastgemaakt worden kan uit de rek de belasting F_t en F_r afgeleid worden. Aangezien elk verticale blad met drie horizontale bladen vastzit aan de centrale is de meting van de krachten het nauwkeurigst als op alle drie de oren van de horizontale bladen deze metingen verricht worden. Door het optellen van de krachten kan de totale tangentiële kracht van het verticale blad berekend worden. Vervolgens kan het koppel op de verticale as berekend worden door deze kracht te vermenigvuldigen met de afstand tot het draaipunt.

Echter blijkt uit FEM analyse dat door belastingen op het verticale blad de onderste en bovenste horizontale bladen ook een doorbuiging ondervinden door een moment in de oren. Dit treed niet op bij het middelste blad aangezien hier het moment van het bovenliggende verticale blad wordt opgeheven door het tegenwerkende moment uit het onderste verticale blad zoals blijkt uit figuur 44. Hierdoor geeft het middelste blad het duidelijkste beeld van de radiaalkracht en tangentiële kracht aangezien hier geen significante verstoring van het rekverloop is door de doorbuiging in het verticale blad.



Figuur 44: Overdreven weergave van de vervorming van de verticale bladen waarbij de doorbuiging een moment creëert op het onderste horizontale blad waardoor deze ook doorbuigt. Neem waar dat dit bij het middelste blad veel minder of bijna niet het geval is.

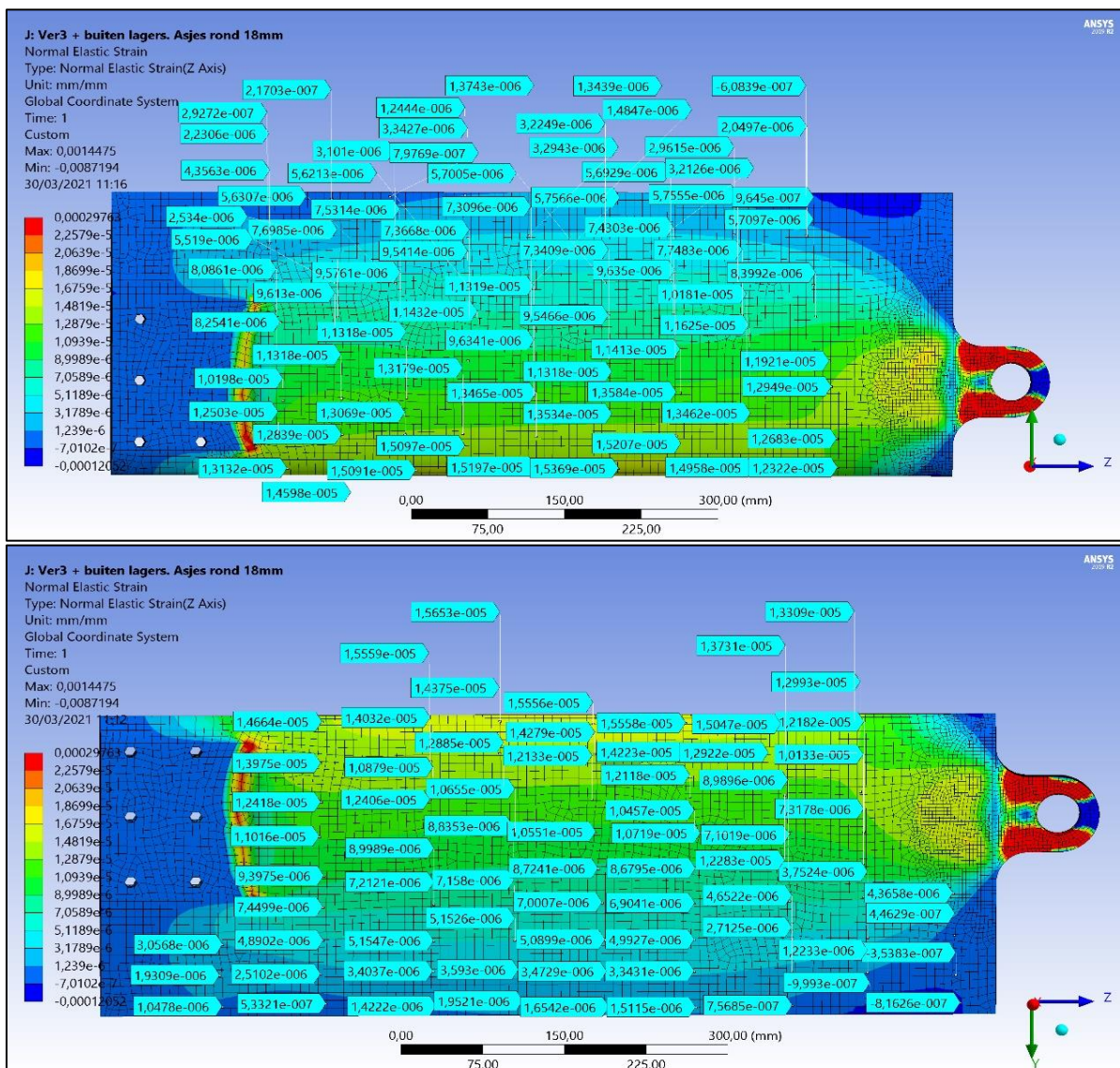
De tangentiële kracht en radiale kracht kan ook op andere plekken op de horizontale bladen gemeten worden. Zo kunnen op de boven- en onderkant van de bladen sensoren aangebracht worden om de door de krachten veroorzaakte rek te meten. In figuur 45 is een versimpelde weergave te zien van de door de tangentiële en radiale kracht veroorzaakte rek. Echter is de rek hier vele malen kleiner dan in het oor doordat de dwarsdoorsnede van het blad groter is dan de dwarsdoorsnede van het oor en de belastingen daardoor beter verdeeld worden. Hier is wel het voordeel dat de spanningsverdeling niet zo snel uitvloeit en hierdoor makkelijker een sensor aangebracht kan worden op een homogeen belast oppervlak.



Figuur 45: Een versimpelde weergave van de door de tangentiële en radiale kracht veroorzaakte rek in een horizontaal blad

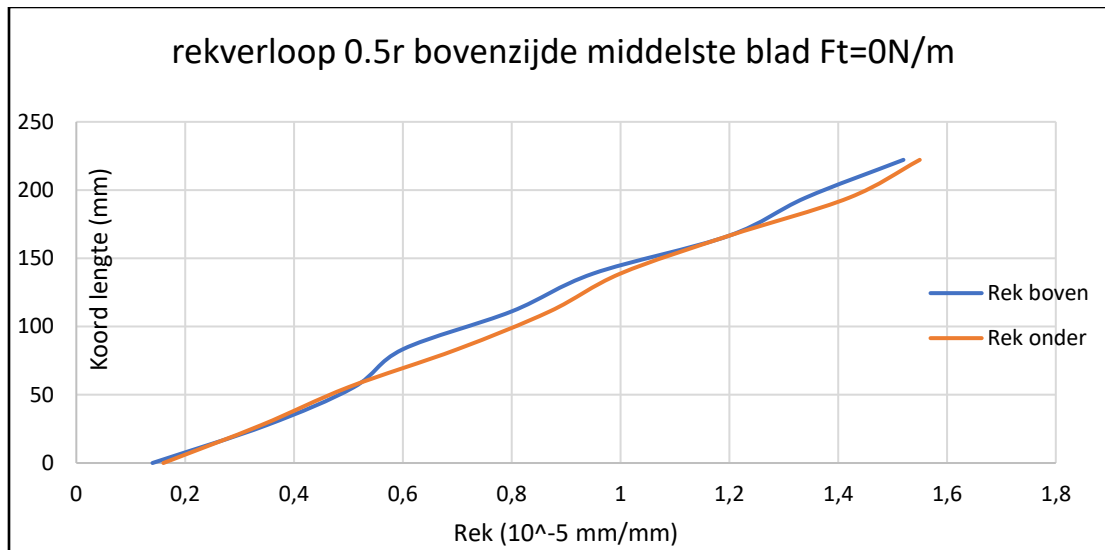
Om een realistischer beeld te schetsen van het rekverloop is met behulp van FEM-software een aantal belastingsituaties gesimuleerd op de bladen waarbij het verschil tussen een combinatie van de tangentiële kracht en radiaalkracht vergeleken is met een situatie met alleen radiaalkracht.

Hiervoor is allereerst de grootste radiale belasting gesimuleerd. Hieruit kwamen de resultaten met betrekking tot rek zoals in figuur 46 te zien is.



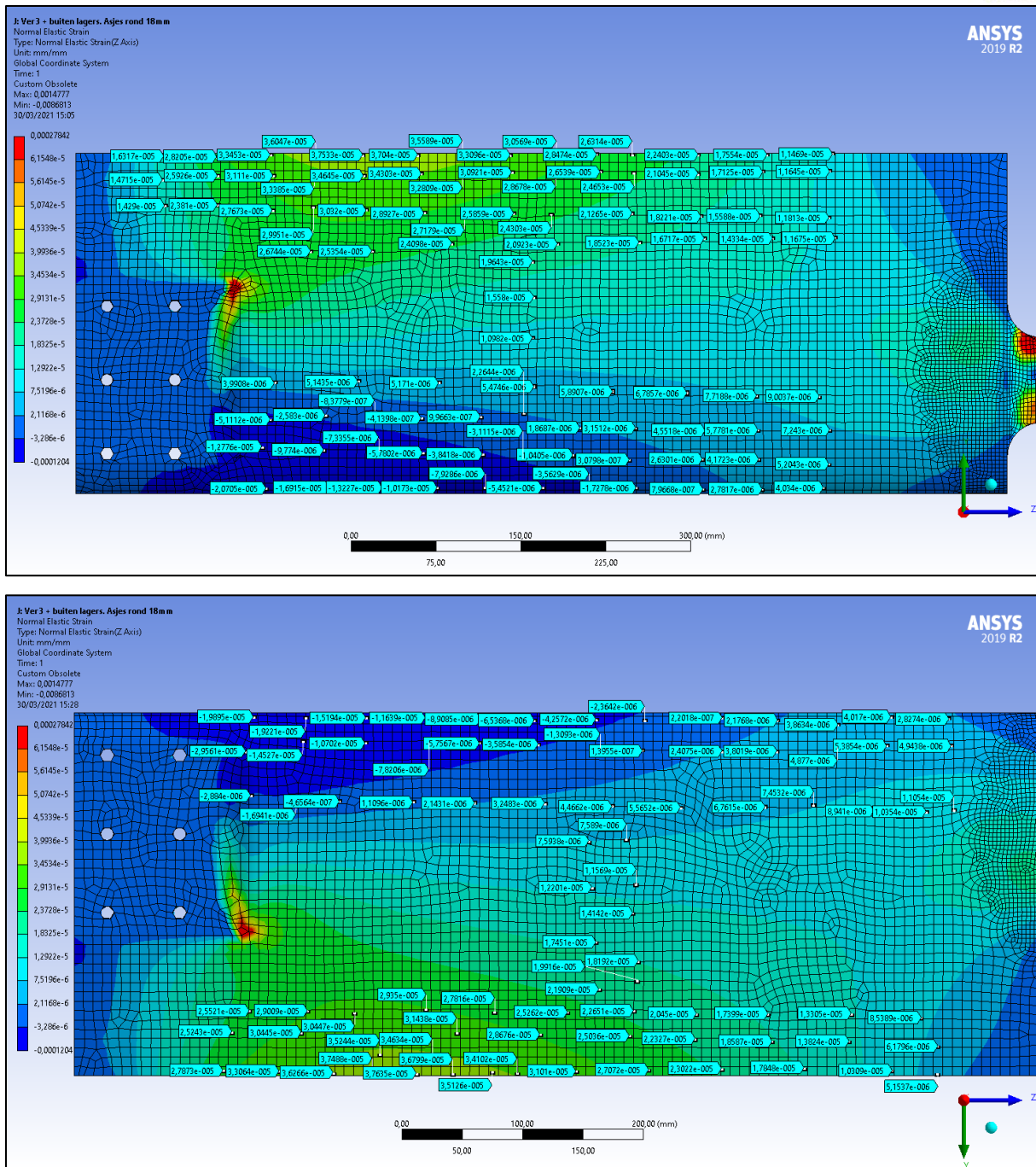
Figuur 46: Rekverloop bovenzijde middelste horizontale blad ten gevolge van een radiaalkracht (boven) en het rekverloop aan de onderzijde van dit blad (beneden)

Zoals te zien is de rek aan voor en achterkant van het blad verschillend. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de doorsnede van het blad gevormd is als een vleugel waarbij de achterkant (trailing edge) dunner is dan de voorkant (leading edge). Hierdoor is het rekverloop kleinere in het dikkere deel van het blad. Daarnaast grijpen de krachten niet in het midden van het blad aan aangezien het oor dicht bij de voorkant van het blad zit. In grafiekvorm is dit verloop ter hoogte van de helft van de bladlengte (0.5 keer de straal van de turbine) afgebeeld in figuur 47. Hierdoor blijkt dat de rek niet symmetrisch verloopt.



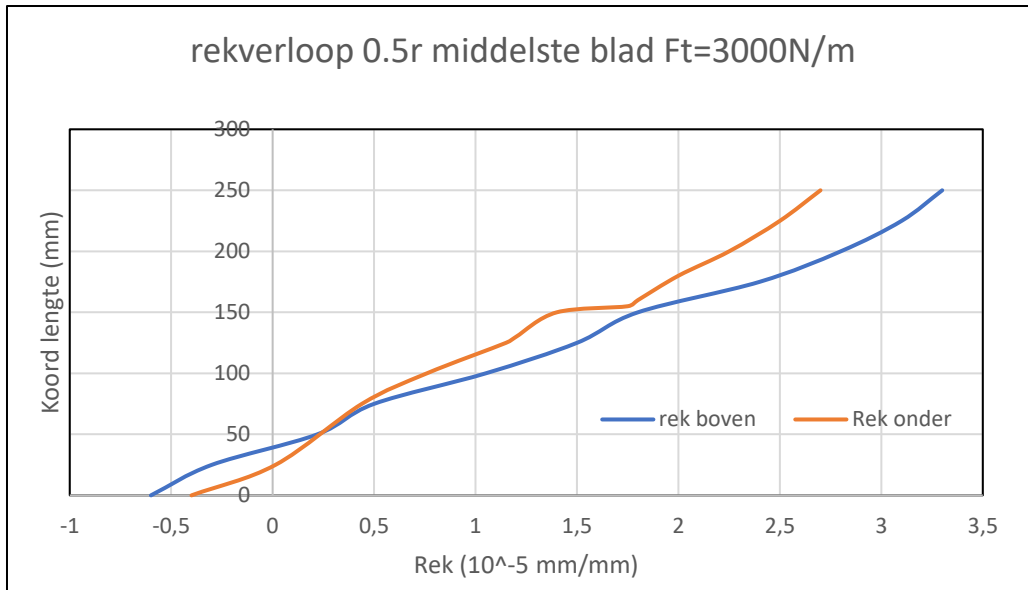
Figuur 47: Rekverloop halverwege het middelste horizontale blad ten gevolge van een radiaalkracht

Op dezelfde wijze is een situatie gesimuleerd waarbij de grootste combinatie van krachten tangentieel en radiaal uit de CFD berekeningen gesimuleerd zijn. Hieruit kwamen de resultaten met betrekking tot rek zoals in figuur 48 te zien is.



Figuur 48: Rekverloop bovenzijde middelste horizontale blad ten gevolge van een radiaalkracht en een tangentiële kracht (boven) en het rekverloop aan de onderzijde van dit blad (beneden)

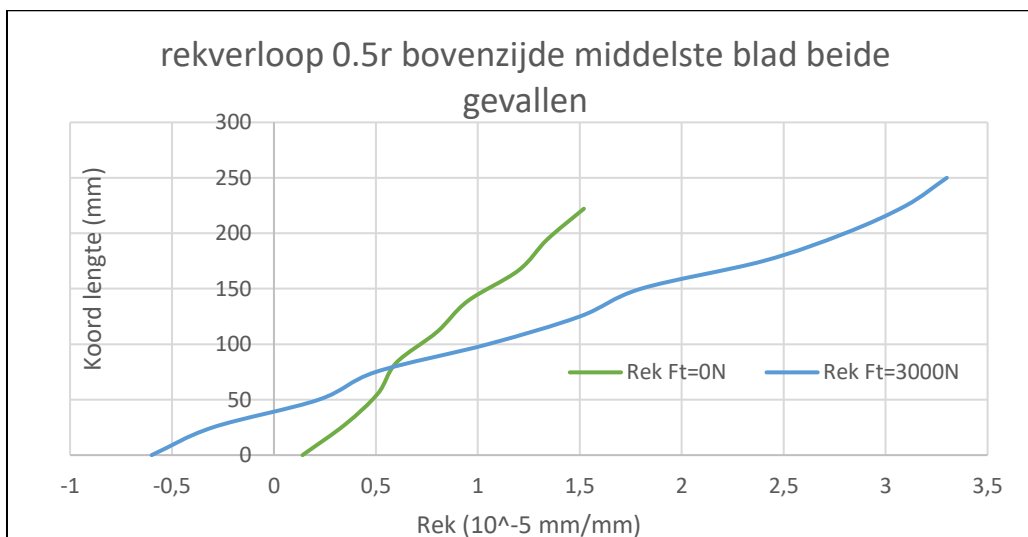
Zoals te zien is de rek aan de voor- en achterkant van het oor niet meer vergelijkbaar met de situatie waarbij alleen radiaalkracht is aangebracht. In grafiekvorm is dit verloop ter hoogte van de helft van de bladlengte (0.5 keer de straal van de turbine) afgebeeld in figuur 49. Hierin is duidelijk een verschil tussen de voor- en achterkant van het oor te zien in de mate van rek in vergelijking met de situatie waarbij alleen een radiale kracht werkzaam was. In vergelijking hiermee is het rekverloop groter en deels negatief. Dit betekent dat een deel van het blad samengedrukt zal worden in plaats van uitgerekt.



Figuur 49: Rekverloop halverwege het middelste horizontale blad ten gevolge van een radiaalkracht en een tangentiële kracht

Als beide gevallen samen worden afgebeeld in een grafiek (figuur 50) zijn de verschillen duidelijk. De rek wordt aan één zijde ruim twee keer zo groot en aan de andere zijde neemt deze zover af dat er compressie optreedt.

Uit figuur 47 van het rekverloop in het horizontale blad bij uitsluitend een radiaalkracht blijkt dat er geen symmetrie is en de verandering van het rekverloop ten gevolge van een tangentiële kracht levert daarnaast geen evenredige toename en afname in rek op aan respectievelijk de leading edge zijde en de trailing edge zijde. Hierdoor is het afleiden van de krachten F_t en F_r uit metingen op het horizontale blad niet zo goed mogelijk als bij het meten op het oor van het blad.



Figuur 50: Rekverloop halverwege het middelste horizontale blad bij beide belasting gevallen

Mogelijke sensor-technieken

Om op de meetlocaties te kunnen meten moet onderzocht worden welke technieken zich hiervoor uitlenen.

Fiber Bragg Grating

Een optie voor het meten van de belastingen op de waterturbine is optisch meten doormiddel van Fiber Bragg Grating sensoren. De werkwijze van dergelijke sensoren berust op de verandering van de golflengte van weerkaatst licht in een glasvezel door een verandering van de tussenafstand tussen de microstructuur (grating) in de vezel onder invloed van rek.

De voordelen van dit type sensor is de resistentie tegen water en chemische stoffen en de immuniteit tegen elektromagnetische interferentie. Daarnaast kunnen er meerdere sensoren in een enkele vezel zitten waardoor er dus maar weinig vezels nodig zijn.

De nadelen van dit type sensor zijn de hoge kosten van het totale systeem. Er is namelijk een interrogator (acquisitie systeem) nodig. Dit is het deel van het systeem dat het lichtsignaal verzend, ontvangt en verwerkt. Interrogators die compact genoeg zijn om in te bouwen in de turbine zijn nog schaars op de markt. De meeste van deze acquisitie systemen zijn groot en daardoor niet geschikt om in te bouwen in de turbine.

Het is wel een optie om de interrogator op het platform te plaatsen en de optische bekabeling via een optische sleepring over te brengen naar de roterende turbine. Hiervoor moet aan de onderkant van de turbine een sleepring aangebouwd worden en daarnaast moeten er aanpassingen aan de turbine gedaan worden om de draden te kunnen herbergen.

Mocht dit niet mogelijk zijn dan moet er een compacte interrogator met accu ingebouwd worden in de ruimte achter het luik en een zender aangebracht worden.

Rekstroken

De andere optie voor het meten van belastingen op de waterturbine is het meten met rekstroken. De werkwijze hiervan berust op een weerstand die onder invloed van rek een weerstandsverandering ondergaat.

De voordelen van dit type sensor is de grote beschikbaarheid op de markt en de lage kosten ervan.

De nadelen van dit type sensor is gevoeligheid van de sensoren voor water en chemische stoffen. Daarnaast kan er elektromagnetische interferentie optreden door de generator. Hier moet de hardware dus tegen beschermd worden.

Het inbouwen van rekstroken is een optie voor de waterturbine. Het acquisitie systeem van de sensoren kan echter alleen achter het luikje ingebouwd worden aangezien analoge signalen uit de sensoren verstoord kunnen worden als deze via een sleepring verstuurd worden. Een kwikring zou hier een oplossing voor kunnen zijn maar het aanbrengen van kwikhoudende componenten in zeewater is een risico. Het kan echter wel mogelijk zijn om een traditionele slinging te gebruiken voor het versturen van digitale signalen en een voedingsspanning.

Indien het niet mogelijk is om een sleepring in te bouwen dan zal er een accu en zender ingebouwd moeten worden achter het luikje of inductieve spanning en datatransmissie kunnen plaatsvinden.

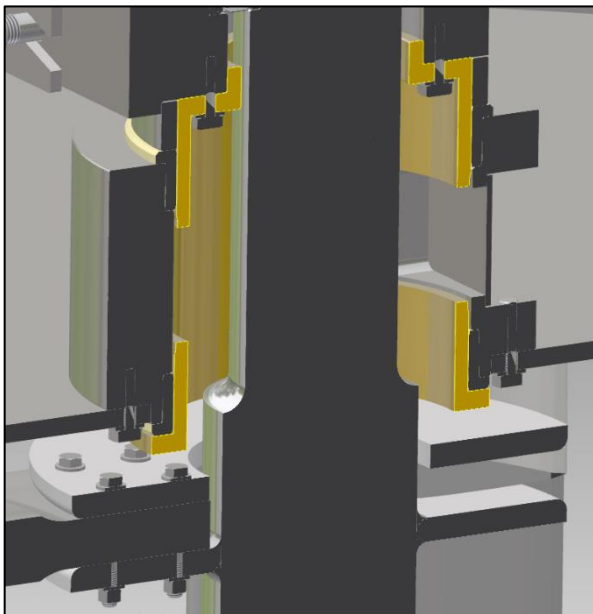
Mogelijke inbouwlocaties belastingsmeetsysteem

Om een meetsysteem te kunnen plaatsen moet hiervoor ruimte aanwezig zijn of gemaakt worden. Om deze reden zal onderzocht moeten worden welke opties hiervoor zijn in de huidige waterturbine.

Bovenkant van de verticale as

Op de plek waar het totale koppel op de verticale as gemeten kan worden is een luikje ingebouwd. De ruimte achter het luik is weergegeven als het gebied tussen het geel gemarkeerde component en de verticale as in de afgebeelde dwarsdoorsnede in figuur 51.

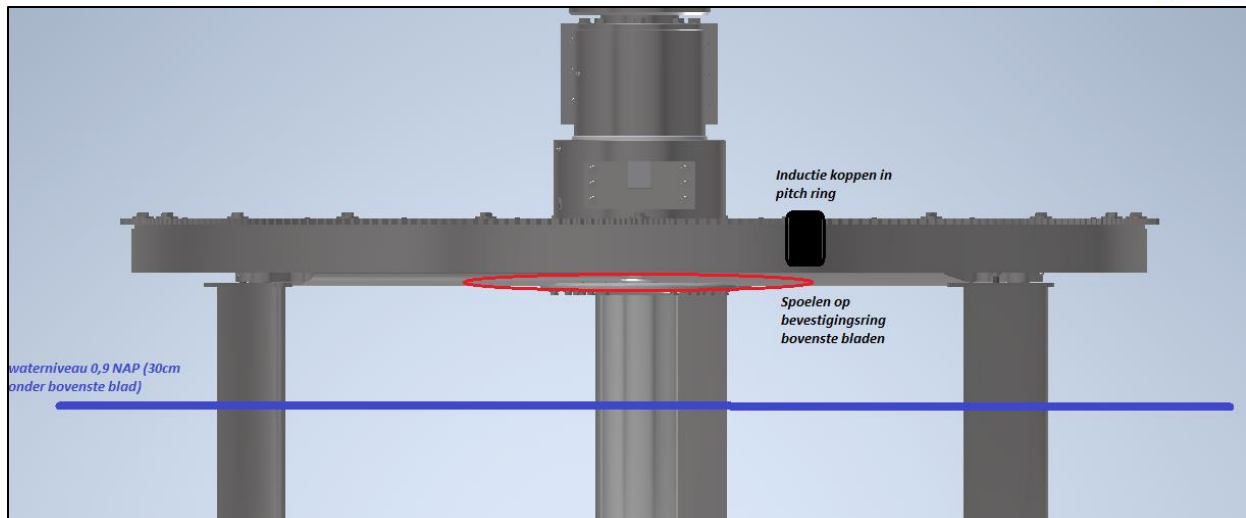
Deze via het luik bereikbare ‘kamer’ met binnendiameter van 14 cm en buitendiameter 25 cm bevindt zich normaliter boven het wateroppervlak en is daardoor meestal droog en makkelijk bereikbaar. Hierdoor is er ook de optie om de componenten van het subsysteem voor het meten van de belastingen hier in te bouwen. Hierbij moet gedacht worden aan een data acquisitie systeem voor het meten en verwerken van belastingen en het koppel.



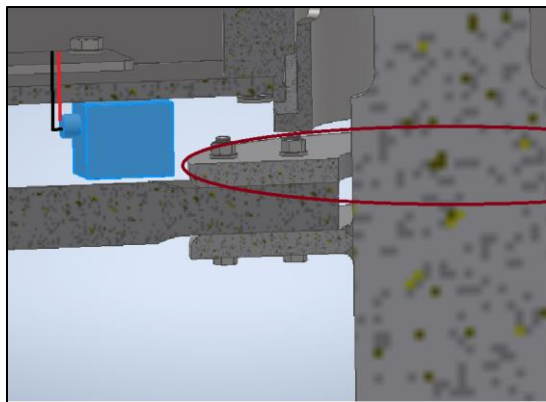
Figuur 51: Doorsnede van de turbine waarbij de via het luikje bereikbare ruimte in geel is weergegeven

Echter is het hier moeilijk om een permanente voedingsbron aan te leggen aangezien de as roteert en de pitch schijf, met daarop het luik, ook 180 graden draaibaar is om de efficiëntie van de turbine te verhogen. Als er een sleefring ingebouwd moet worden op deze locatie betekent dit dat er een groot deel van de omliggende constructie herontworpen moet worden. Dit is niet wenselijk. Een optie om dit op te lossen is het inbouwen van een accu. Dit betekent wel dat de turbine periodiek uit operatie genomen moet worden om de accu op te laden via het luik.

Een andere optie is om inductief een spanning te leveren aan componenten op de roterende as via het aanbrengen van koperwindingen zoals in figuur 52 en 53 is weergegeven.



Figuur 52: Weergave van het inductief overbrengen van spanning naar de roterende turbine via een inductieve kop en koperspoelen



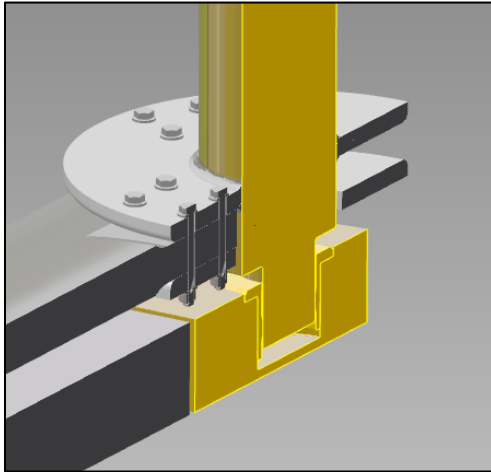
Figuur 53: Dwarsdoorsnede van de turbine waarbij een mogelijk opstelling van de inductiekop en koperwindingen te zien is

Naast het voorzien van spanning naar de roterende turbine moet een manier uitgewerkt worden voor het overdragen van data naar een device in de buurt van de turbine voor het uitlezen van de meetgegevens. Indien dit niet mogelijk is zal dit door het openen van het luikje en het koppelen of wisselen van een opslagmedium moeten gebeuren. Hierdoor neemt downtime van de waterturbine toe aangezien de turbine hiervoor stil moet staan en het luik bereikbaar moet zijn voor personeel. De dataoverdracht zou eventueel ook inductief of met radiosignalen kunnen gebeuren. Hierdoor kan op afstand de data uitgelezen worden.

Onderkant turbine

Een andere optie voor het inbouwen van componenten en het voorzien van deze componenten van een verbinding met het deel van het meetsysteem op het platform is het aan de onderkant van de turbine aanbrengen van een sleepring. Deze sleepring moet wel een dermate hoge nauwkeurigheid of ruisresistentie hebben om de signalen van en naar de sensoren zo min mogelijk te verstoren tijdens het roteren van de turbine en de slijping.

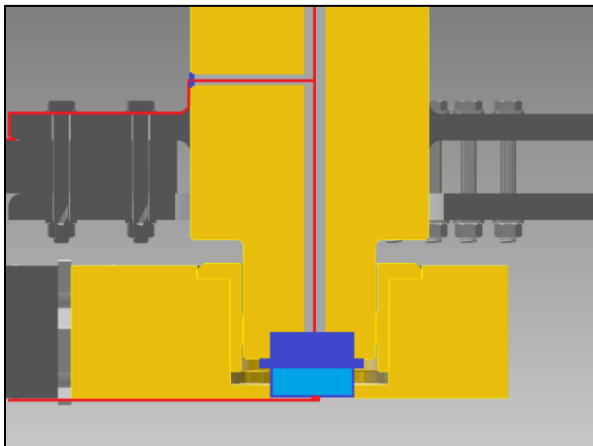
De onderdelen die aangepast moeten worden om een sleepring te kunnen plaatsen zijn de verticale as, de as-houder en lager zoals geel gemarkeerd in figuur 54.



Figuur 54: Dwarsdoorsnede van de onderkant van de turbine waarbij de delen in geel aangepast moeten worden indien een sleepring ingebouwd zal worden

Een optie hiervoor is om in de as-houder een gat uit te draaien voor een slirring en van de verticale as een buis te maken door een centraal kanaal te boren met aftakkingen naar de horizontale bladen. Hier kan de bekabeling doorlopen. De gaten waar de kabels bij de horizontale bladen uitkomen moet waterdicht afgedicht worden om het van binnenuit eroderen van de verticale as tegen te gaan. Een weergave van deze optie is links te zien in figuur 55.

Mocht het een groot obstakel blijken om de kanalen voor de bekabeling aan te leggen dan kan het ook een optie zijn om een sleepring te kiezen die om een as heen gemonteerd kan worden. In combinatie hiermee kan een geul uitgefreesd worden in de zijkant van de verticale as waar de bekabeling in verwerkt kan worden. De verticale as moet wel verlengd worden aan het uiteinde met een as waar de sleepring om past. Dit kan opgelast worden of de verticale as kan verlengd worden waarna een deel van de diameter aan het uiteinde afgedraaid wordt. Een weergave van deze optie is rechts te zien in figuur 55.



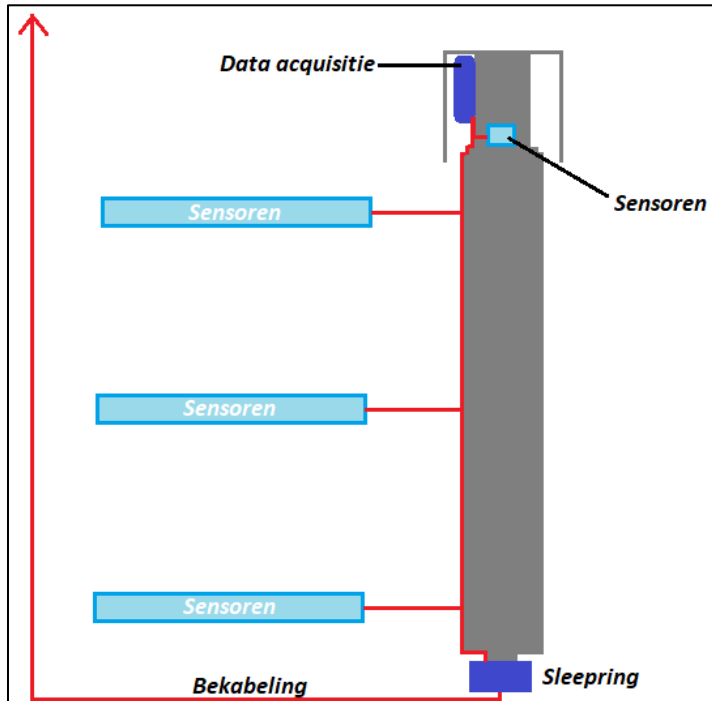
Figuur 55: Voorstelling van een ingebouwde sleepring met de bijbehorende kabelroutes door de kern van de centrale as (links) en een alternatief waar de sleepring op de centrale as bevestigd wordt en de kabels in een geul komen te liggen aan de buitenzijde (rechts)

Combinatie van luik en onderkant

Indien het niet mogelijk is om de sensorwaarden via een sleepring nauwkeurig door te kunnen sturen maar er wel behoefte is aan een permanente spanningsbron via een sleepring voor het belastingsmeetsysteem kan het een optie zijn om een combinatie van de ruimte bij het luik te gebruiken met de sleepring aan de onderkant. Hierdoor zou het mogelijk zijn om indien er een acquisitiesysteem ingebouwd wordt binnen het luik deze te voeden met een externe voedingsspanning die geleverd wordt door deze sleepring aan de onderzijde van de turbine. Hierdoor is de meting niet langer beperkt door een accu.

Daarnaast is het eventueel wel mogelijk een digitaal signaal via een minder nauwkeurige sleepkring te sturen die gebruik maakt van bijvoorbeeld goud-op-goud technologie. Dit maakt het mogelijk de digitale waarden uit het acquisitie systeem via de sleepkring naar het platform te sturen om via een ander device uitgelezen te worden.

Een versimpelde weergave van deze opstelling van componenten op de turbine is weergegeven in figuur 56.



Figuur 56: Weergave van een concept waarbij de data acquisitie in de roterende turbine plaatsvindt en de digitale signalen en voedingsspanning via een sleepkring worden doorgegeven

Systemen op de markt

Om de belastingen te kunnen meten van de waterturbine zal een systeem ingekocht moeten worden wat toepasbaar is op de waterturbine van Water2Energy. Hiervoor zal bij verschillende leveranciers onderzocht worden of er een systeem geleverd kan worden wat aan de eisen van het project voldoet.

Photonfirst

Een leverancier van Fiber Bragg Grating meetsystemen die mogelijk compact genoeg voor de waterturbine zijn is Photonfirst. Dit bedrijf werkt aan een interrogator (meetsysteem) met de maten van een usb-stick genaamd de Monadgator zoals te zien is in figuur 57.



Figuur 57: Monadgator interrogator in vergelijking met een 2 euro munt (Technobis-Bruco, 2020)

Volgens Photonfirst is een optisch meetsysteem toepasbaar op de waterturbine maar het inbouwen van een compacte interrogator is op dit moment niet mogelijk is omdat deze producten nog in ontwikkeling zijn. Indien dit toegepast zal worden moet gedacht worden aan een langer traject en kosten ver boven het budget van Water2Energy. Een andere optie om via een sleepring de optische sensoren te kunnen gebruiken met een al leverbaar systeem wat op het platform boven het water bleek ook niet mogelijk.

DB Asset Services optie accusysteem

Een leverancier van meetsystemen op basis van rekstroken is DB Asset Services.

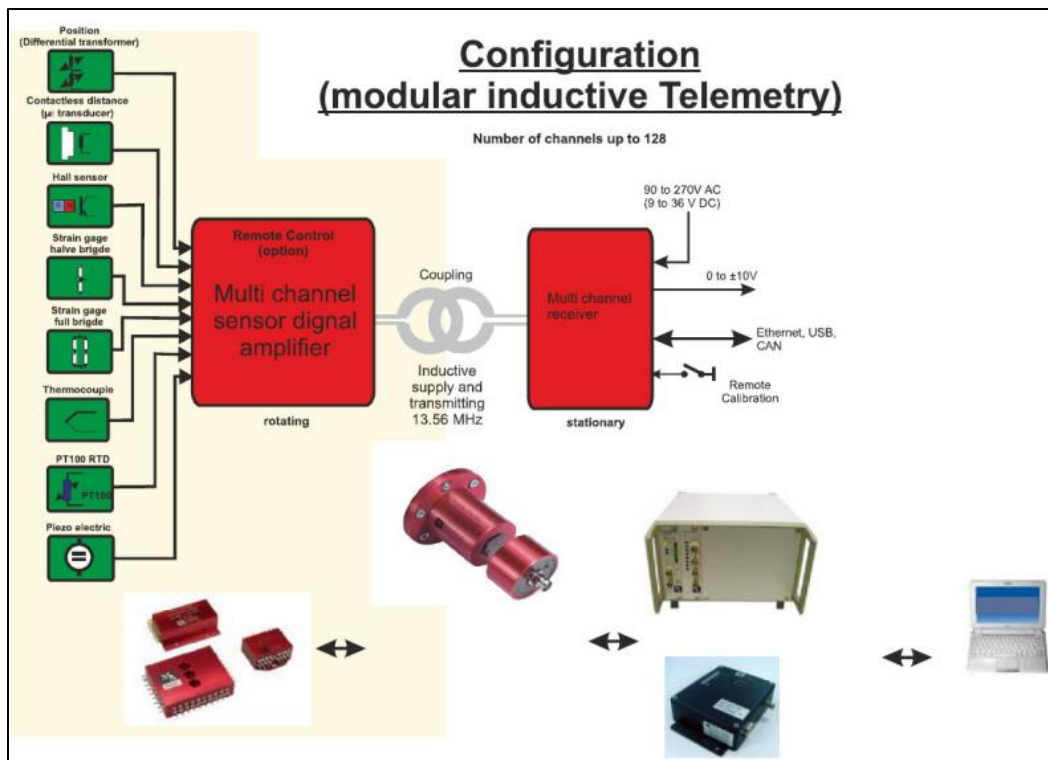
DB Asset Services heeft eerder samengewerkt met Water2Energy en kan een tijdelijk meetsysteem leveren waarbij één subsysteem op de centrale as wordt aangebracht voor koppelmetingen en een ander subsysteem op de horizontale bladen wordt aangebracht voor het meten van tangentiële en radiale krachten in de horizontale bladen en eventueel doorbuiging van de verticale bladen.

Elk van deze subsystemen zal gebruik maken van een telemetrie systeem van het merk Binsfeld dat bestaat uit een accu en een zender om de meetgegevens te sturen naar een ontvanger boven water. De totaalprijs van dit belastingsmeetsysteem bedraagt €19.496,-.

DB Asset Services inductie-systeem

Een ander mogelijk systeem dat DB Asset Services kan leveren is een inductief telemetrie systeem van het merk Manner. Dit systeem bestaat uit modules die op het roterende deel van de turbine worden aangebracht waarmee de rekstroken worden verbonden. Deze modules worden voorzien van voedingsspanning en dataoverdracht middels een inductieve koppeling tussen het statische deel van de turbine en het roterende deel. Via de koppeling wordt de data naar een 8-kanaals ontvanger verstuurd die deze signalen omzet naar een 0-10V signaal wat door een verwerkingssysteem ontvangen kan worden. Een totaaloverzicht van de systeem is te zien in figuur 58.

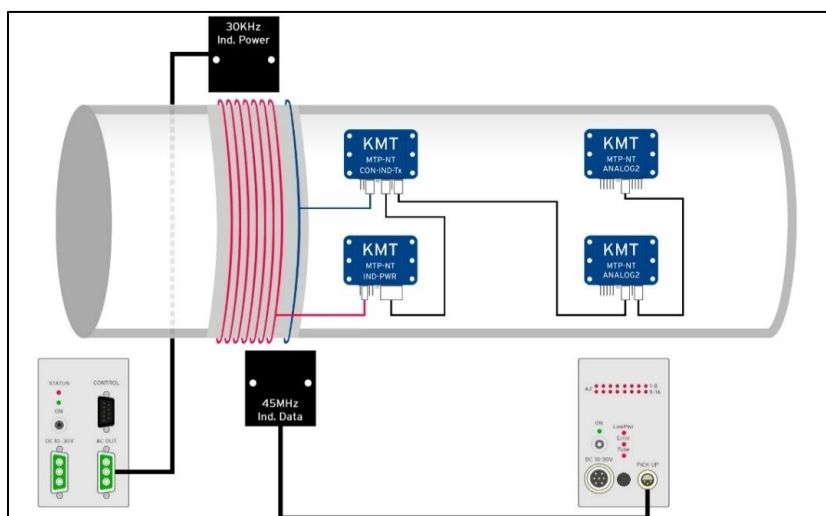
De totaalprijs van dit systeem inclusief instellen van de meetapparatuur, het plakken van de rekstroken, uitvoeren en rapporteren van de metingen bedraagt €37.786,-



Figuur 58: Aanbieding voor een inductief telemetriesysteem van Manner (DB Asset Services)

IMC Test & Measurement

Een andere leverancier van meetsystemen op basis van rekstroken is IMC Test & Measurement B.V. te Gorinchem. IMC kan een meetsysteem leveren wat gebruik maakt van modulaire telemetrie voor het meten van rek. Deze KMT MTP-NT modules kunnen onderling verbonden worden en digitale signalen aan elkaar doorsturen waarmee een groot aantal sensoren uitgelezen kan worden met één compact systeem. Deze modules kunnen middels inductie voorzien worden van spanning en ook uitgelezen worden middels inductie zoals te zien is in figuur 59. De totaalprijs voor de hardware van dit belastingsysteem op basis van inductie bedraagt ongeveer €26.000,-. Dit is exclusief plaatsing en instellen.



Figuur 59: Weergave van inductieve telemetrie opstelling met KMT modules (KMT, z.d.)

Wegingsmatrix aanbiedingen leveranciers

Elke aanbieding is beoordeeld op vijf aspecten zoals te zien is in tabel 9. Hieruit blijkt dat het inductiesysteem van DB Asset het best uit de test komt doordat het hoger scoort op punt 2, inbouwmogelijkheid componenten, doordat DB Asset de componenten zelf zal inbouwen en hierdoor beter inzicht heeft hoe en waar dit het beste mogelijk is in tegenstelling tot IMC die hiervoor een derde partij moeten inhuren.

Tabel 9: Wegingsmatrix Belastingsmeetsysteem aanbiedingen

Belastingsmeetsysteem					
Nr	Beschrijving	Weging (1-5)	DB Asset Services accusysteem	DB Asset Services inductie-systeem	IMC Test & Measurement
1	Toepasbaarheid Sensoren	5	5	5	5
2	Inbouwmogelijkheid Componenten	5	4	4	3
3	Levensduur	4	1	5	5
4	Nauwkeurigheid	5	4	5	5
5	Kosten	3	4	2	3
		Totaalscore	81	96	94

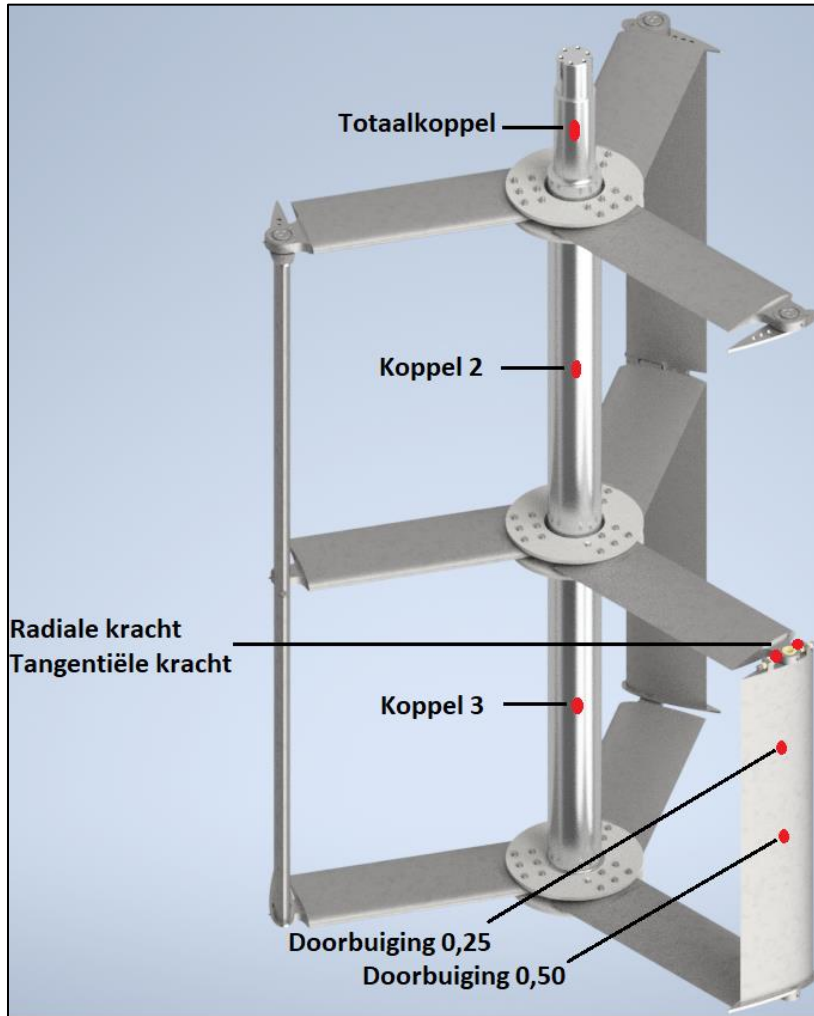
Gedetailleerd ontwerp

Het uitwerken van dit subsysteem is grotendeels door DB Asset Services uitgevoerd. De rekstroken zullen door DB Asset Services worden aangebracht op aanwijzing van de onderzoeksresultaten en FEM-analyses.

Meetpunten

Op basis van de FEM-analyses is besloten twee sets rekstroken te plaatsen op de zijkant van het oor van één van de middelste horizontale bladen om de tangentiële kracht en radiale kracht te meten. Daarnaast zal op drie niveaus op de centrale as koppel gemeten worden om het totaal-koppel en het koppel op elk niveau te kunnen meten. Verder is in overleg met Reinier Rijke (W2E) besloten om twee extra meetpunten aan te brengen op een onderste verticale blad om de doorbuiging te meten.

In totaal zullen er zeven meetpunten zijn zoals in figuur 60 is weergegeven.



Figuur 60: Overzicht van alle locaties waar rekstroken aangebracht worden

Bevestiging inductieve koppen

Voor het plaatsen van de inductiedelen zal door Water2Energy in samenwerking met DB Asset Services een aanpassing ontworpen moeten worden in de pitchverstelschijf voor het herbergen van de inductiekoppen. Dit zal plaatsvinden na de afstudeerperiode.

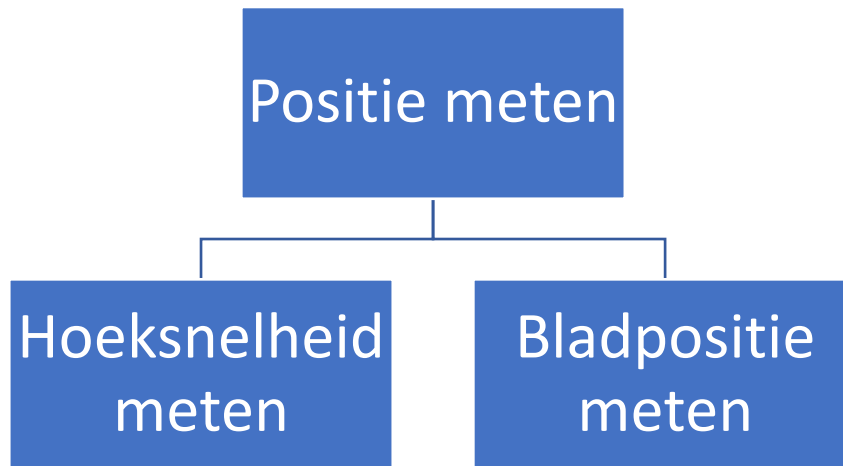
BOM

Zie bijlage 8.2.10 componentenlijst

Positiemeetsysteem

Functie overzicht

De functies die het positiemeetsysteem moet kunnen uitvoeren zijn weergegeven in figuur 61.



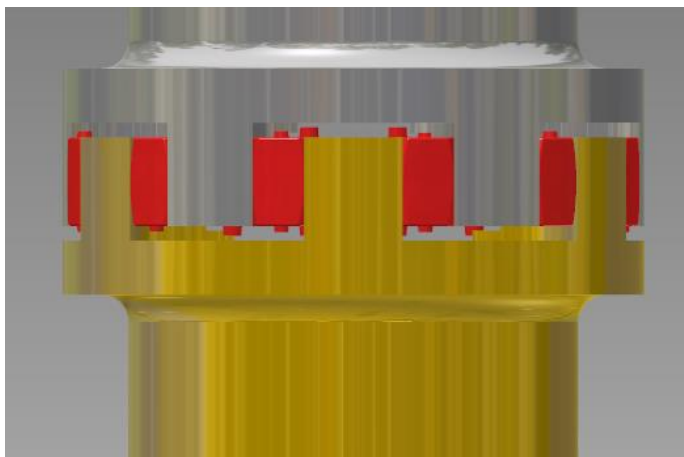
Figuur 61: Functieoverzicht van het positiemeetsysteem

Mogelijke meetlocaties

Om aan deze functies te kunnen voldoen zal eerst onderzocht moeten worden op welke plekken op de waterturbine de bijbehorende metingen verricht kunnen worden.

Turbinekoppeling

Er zijn verschillende locaties voor het meten van toerental en bladpositie. Er kan boven en onder de generator gemeten worden. Echter is het voordeliger om onder de as-koppeling van de generator te meten aangezien de centrale as van de waterturbine met een ROTEX koppeling met schok- en



Figuur 62: Rotex koppeling tussen de turbine en de generator met in rood de trillingdemper en in geel de onderzijde van koppeling die bevestigd is op de centrale as van de turbine

trillingsdempers aan de generator-as gemonteerd zit zoals te zien is in figuur 62.

Aangezien dit schokdempende materiaal fluctuaties in toerental opvangt zal dit invloed hebben op de metingen. Hierdoor zijn metingen van de draaisnelheid en de positie van de bladen nauwkeuriger te meten voordat deze fluctuaties uit de centrale as worden gefilterd.

De onderkant van de koppeling is bijvoorbeeld geschikt voor het meten van

het toerental en de bladpositie aangezien de koppeling roteert en niet omsloten is door een behuizing. Dit deel van de koppeling is in figuur 62 geel gemarkeerd.

Boven de pitchring achter het luikje

In het luikje boven de pitch ring waar het totaal­koppel door het belastings­meetsysteem gemeten zal worden kan ook toerental en bladpositie gemeten worden. De binnenkant van dit luik kan wel nat worden en indien het belasting­meetsysteem hier geplaatst gaat worden zal er weinig plek over zijn voor een toerenmeting.

Mogelijke sensor-technieken

Absolute encoders

Een absolute encoder meet de positie van de as met een unieke binaire code. Hierdoor kan bij het opstarten van de sensor altijd bepaald worden in welke stand de as staat. Hierdoor kan precies gemeten worden bij welke omwentelingshoek welke spanningen op de waterturbine werken.

Absolute sensoren zijn vaak optische of magnetische sensoren waarbij een as uitsteekt waar de te meten as aan vast gemaakt moet worden. Daarnaast zijn er holle as varianten waarbij de te bemeten as door deze holte geplaatst wordt en vervolgens word vastgezet.

Incrementele encoders

Een incrementele encoder meet stappen waaruit de draaisnelheid berekend kan worden. Elke omwenteling van de as heeft een aantal stappen waarbij een puls afgegeven wordt, dit betekent dat de snelheid bepaald kan worden maar niet de beginpositie van de as tijdens het opstarten.

Incrementele encoders kunnen net als absolute encoders gebruik maken van optische of magnetische sensoren voor het meten van pulsen. Er zijn varianten die net als absolute encoders op een as gemonteerd moeten worden.

Daarnaast is het mogelijk om contactloos te meten door bijvoorbeeld het aanbrengen van magneten of metalen schijfjes op de as en deze te meten met een nabijheidssensor op basis van magnetisme of inductie. Op deze manier kan incrementeel het toerental gemeten worden en in combinatie met een tweede sensor ook de startpositie bepaald worden indien per omwenteling maar één meetpunt een puls afgeeft aan deze sensor. Dit wordt ook wel quasi absoluut genoemd.

In plaats van magneten of schijfjes kunnen inductiesensoren ook in combinatie met een tandwiel waarbij de opstekende tanden worden waargenomen door de nabijheidssensoren.

Mogelijke concepten

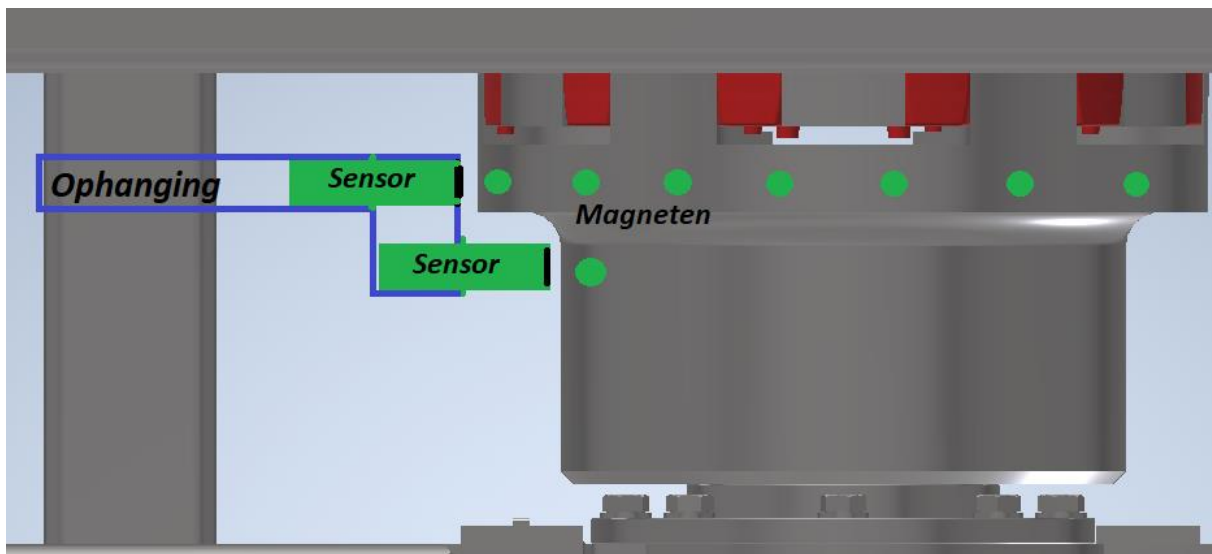
Concept 1: Nabijheidssensoren met magneten of schijfjes

In figuur 63 is een weergave van dit concept te zien waarbij op de onderzijde van turbinekoppeling magneten of metalen schijfjes worden aangebracht die door nabijheidssensoren waargenomen kunnen worden. Deze sensoren kunnen met een ophangingsbeugel aan het frame van de waterturbine bevestigd worden.

De bovenste sensor meet de bovenste rij van incrementele meetpunten en geeft pulsen door aan het verwerkingssysteem dat de verstreken tijd tussen de pulsen zal meten waar het toerental en de hoeksnelheid uit berekent kan worden.

De onderste sensor zal per rotatie slechts eenmaal een puls meten. Indien deze puls gegeven wordt door een magneet of schijfje dat exact op dezelfde omwentelingshoek van één van de verticale

turbine bladen staat kan de startpositie van dit blad bepaald worden. In combinatie met de hoeksnelheid gemeten door de andere sensor kan hierdoor de positie van dit blad over de totale rotatie afgeleid worden. De voordelen en nadelen van dit concept zijn te lezen in tabel 10



Figuur 63: Concept op basis van nabijheidssensoren en opgeplakte magneten of schijfjes op de turbinekoppeling

Tabel 10: Eigenschappen positiemeetsysteem concept 1

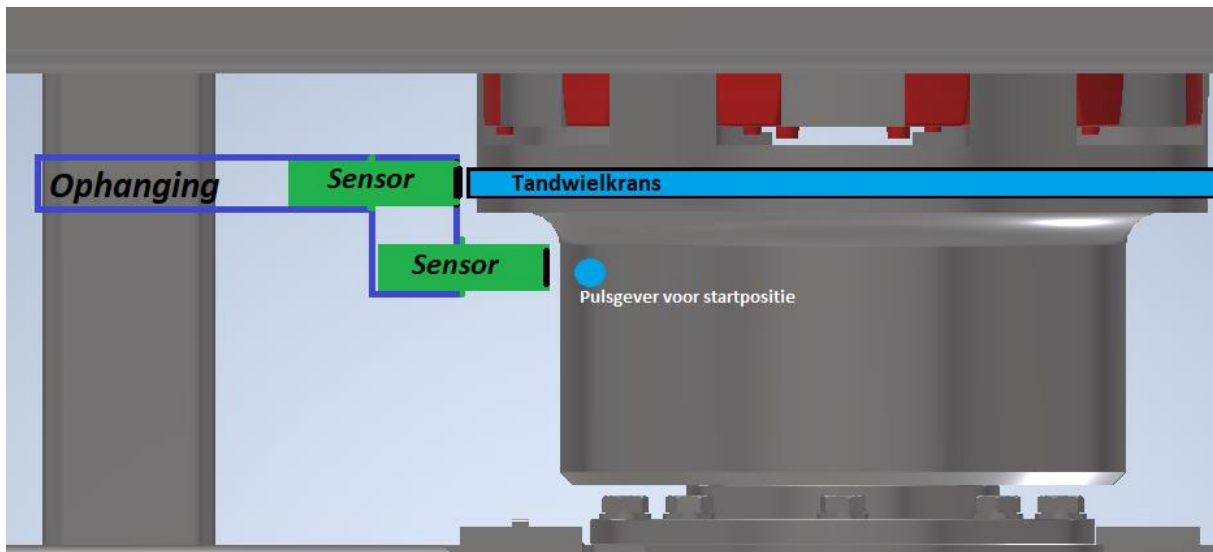
Eigenschappen concept 1	
Voordelen	Nadelen
Sensoren op basis van pulsen aansluitbaar op de meeste verwerkingssystemen	Meetpunten nauwkeurig plaatsen is lastig en afwijking leid tot verminderde nauwkeurigheid
Makkelijk in te bouwen	Lage resolutie door beperkt aantal meetpunten
Geen slijtage door afwezigheid bewegende delen	
Veel verschillende sensoren verkrijgbaar op de markt	
Sensoren zijn goedkoop (minder dan 100€)	

Concept 2: Nabijheidssensoren met tandwielkrans en schijfje

In figuur 64 is een weergave van dit concept te zien waarbij op de onderzijde van turbinekoppeling een tandwielkrans wordt aangebracht. De opstaande tanden zullen door de bovenste nabijheidssensor waargenomen worden. Dit zal pulsen veroorzaken die aan het verwerkingssysteem doorgegeven zullen worden. Het verwerkingssysteem zal de verstreken tijd tussen de pulsen meten en daaruit het toerental en de hoeksnelheid berekenen.

De onderste sensor zal per rotatie slechts eenmaal een puls meten. Indien deze puls gegeven wordt door een magneet of schijfje dat exact op dezelfde omwentelingshoek van één van de verticale turbine bladen staat kan de startpositie van dit blad bepaald worden. In combinatie met de

hoeksnelheid gemeten door de andere sensor kan hierdoor de positie van dit blad over de totale rotatie afgeleid worden. De voordelen en nadelen van dit concept zijn te lezen in tabel 11



Figuur 64: Concept met nabijheidssensoren in combinatie met een tandkrans voor het meten van toerental en een pulsgever voor het meten van de startpositie

Tabel 11: Eigenschappen positiemeetsysteem concept 2

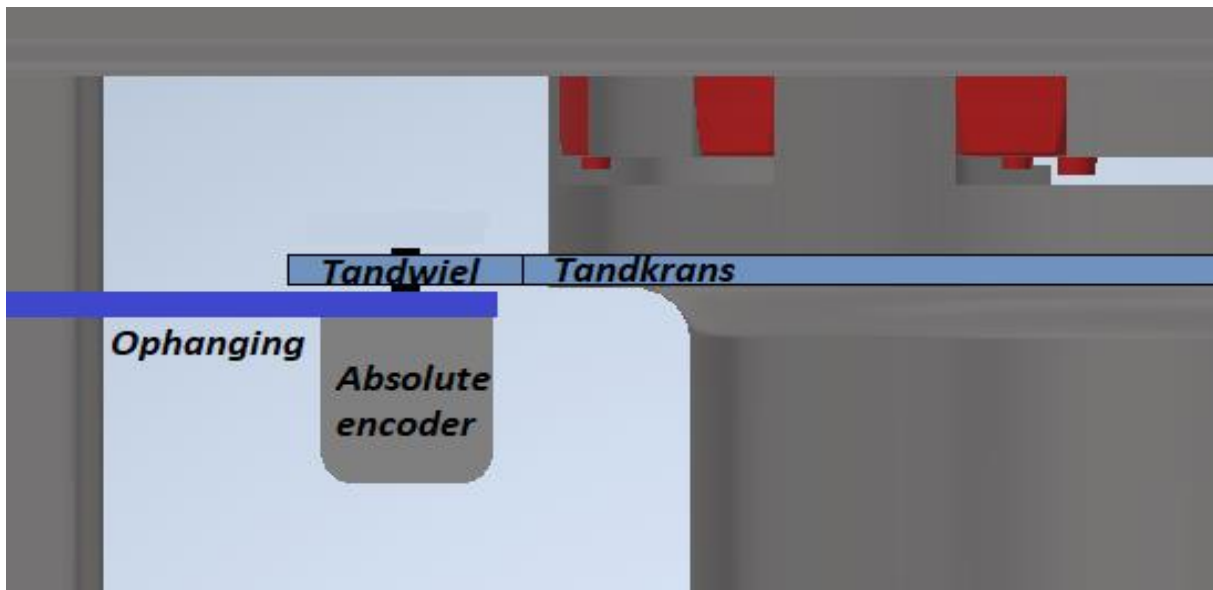
Eigenschappen concept 2	
Voordelen	Nadelen
Sensoren op basis van pulsen aansluitbaar op de meeste verwerkingssystemen	Tandkrans moet ontworpen en geproduceerd worden. Hier is geen standaardproduct voor beschikbaar.
Sensoren makkelijk in te bouwen	Kosten tandwielkrans kan oplopen tot een paar honderd euro
Geen slijtage door afwezigheid bewegende delen	
Veel verschillende sensoren verkrijgbaar op de markt	
Sensoren zijn goedkoop (minder dan 100€)	
Relatief hoge nauwkeurigheid (bepaald door aantal tanden)	

Concept 3: Absolute encoder met tandwiel en tandkrans

In figuur 65 is een weergave van dit concept te zien waarbij op de onderzijde van turbinekoppeling een tandwielkrans wordt aangebracht. Deze tandwielkrans wordt aangesloten op een tandwiel dat op een absolute encoder gemonteerd zit.

De encoder zal de omwentellingspositie van het tandwiel doorgeven aan het verwerkingssysteem middels een binaire code. Het verwerkingssysteem kan in combinatie met de overbrengingsverhouding de hoekpositie terug berekenen naar de positie van de bladen en de

rotatiesnelheid van de waterturbine berekenen door de mate van hoekverdraaiing in de tijd te bepalen. De voordelen en nadelen van dit concept zijn te lezen in tabel 12



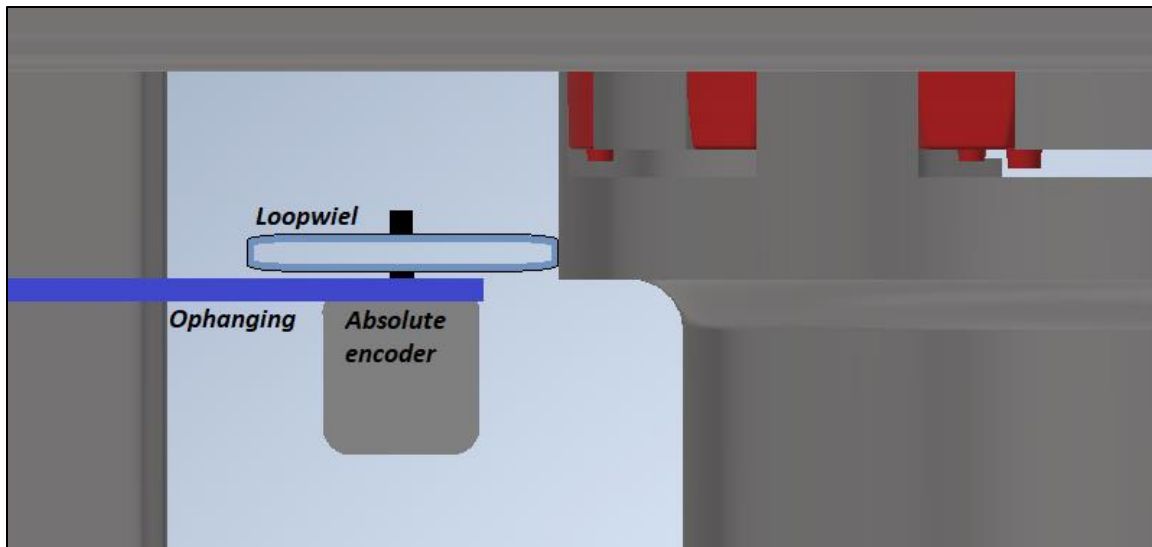
Figuur 65: Positiemeetsysteem concept met tandwielkrans en absolute encoder

Tabel 12: Eigenschappen positiemeetsysteem concept 3

Eigenschappen concept 3	
Voordelen	Nadelen
Hoge nauwkeurigheid	Tandkrans moet ontworpen en geproduceerd worden. Hier is geen standaardproduct voor beschikbaar.
Sensor makkelijk in te bouwen	Kosten tandwielkrans kan oplopen tot een paar honderd euro
	Absolute encoders zijn niet aansluitbaar op de meeste data-acquisitiesystemen
	Absolute encoders zijn duur (€500+)
	Tandwieloverbrenging is slijtagegevoelig

Concept 4: Absolute encoder met loopwiel

In figuur 66 is een weergave van dit concept te zien waarbij een absolute encoder voorzien van een loopwiel contact maakt met onderzijde van turbinekoppeling. De encoder zal de omwentellingspositie doorgeven aan het verwerkingssysteem middels een binaire code. Het verwerkingssysteem kan dit in combinatie met de overbrengingsverhouding terug berekenen naar de positie van de bladen en daarnaast de rotatiesnelheid van de waterturbine berekenen door de mate van hoekverdraaiing in de tijd te bepalen. De voordelen en nadelen van dit concept zijn te lezen in tabel 13



Figuur 66: Positiemeetsysteem concept op basis van absolute encoder en loopwiel

Tabel 13: Eigenschappen positiemeetsysteem concept 4

Eigenschappen concept 4	
Voordelen	Nadelen
Relatief hoge nauwkeurigheid	Loopwiel is slijtagegevoelig
	Loopwiel is gevoelig voor slip
	Speciale ophanging benodigd om contact en grip te kunnen waarborgen op de turbinekoppeling
	Absolute encoders zijn niet aansluitbaar op de meeste data-acquisitiesystemen
	Absolute encoders zijn duur (€500+)

Wegingsmatrix concepten

Elk concept is beoordeeld op vijf aspecten zoals te zien is in tabel 14. Hieruit blijkt dat concept twee op basis van inductiesensoren en een tandkrans de beste optie is. Op alle punten scoort dit concept hoog omdat het makkelijk toepasbaar is op de meeste verwerkingssystemen en makkelijk in te bouwen is op de turbine. Daarnaast zorgt de nauwkeurig geproduceerde tandkrans voor een goede nauwkeurigheid.

Tabel 14: Wegingsmatrix voor de concepten van het positiemeetsysteem

		Positiemeetsysteem				
Nr	Beschrijving	Weging (1-5)	Concept 1	Concept 2	Concept 3	Concept 4
1	Toepasbaarheid Sensoren	5	5	5	2	2
2	Inbouwmogelijkheid Componenten	5	5	4	3	4
3	Levensduur	4	5	5	2	3
4	Nauwkeurigheid	5	2	4	5	4
5	Kosten	4	5	4	2	3
	Totaalscore		100	101	66	74

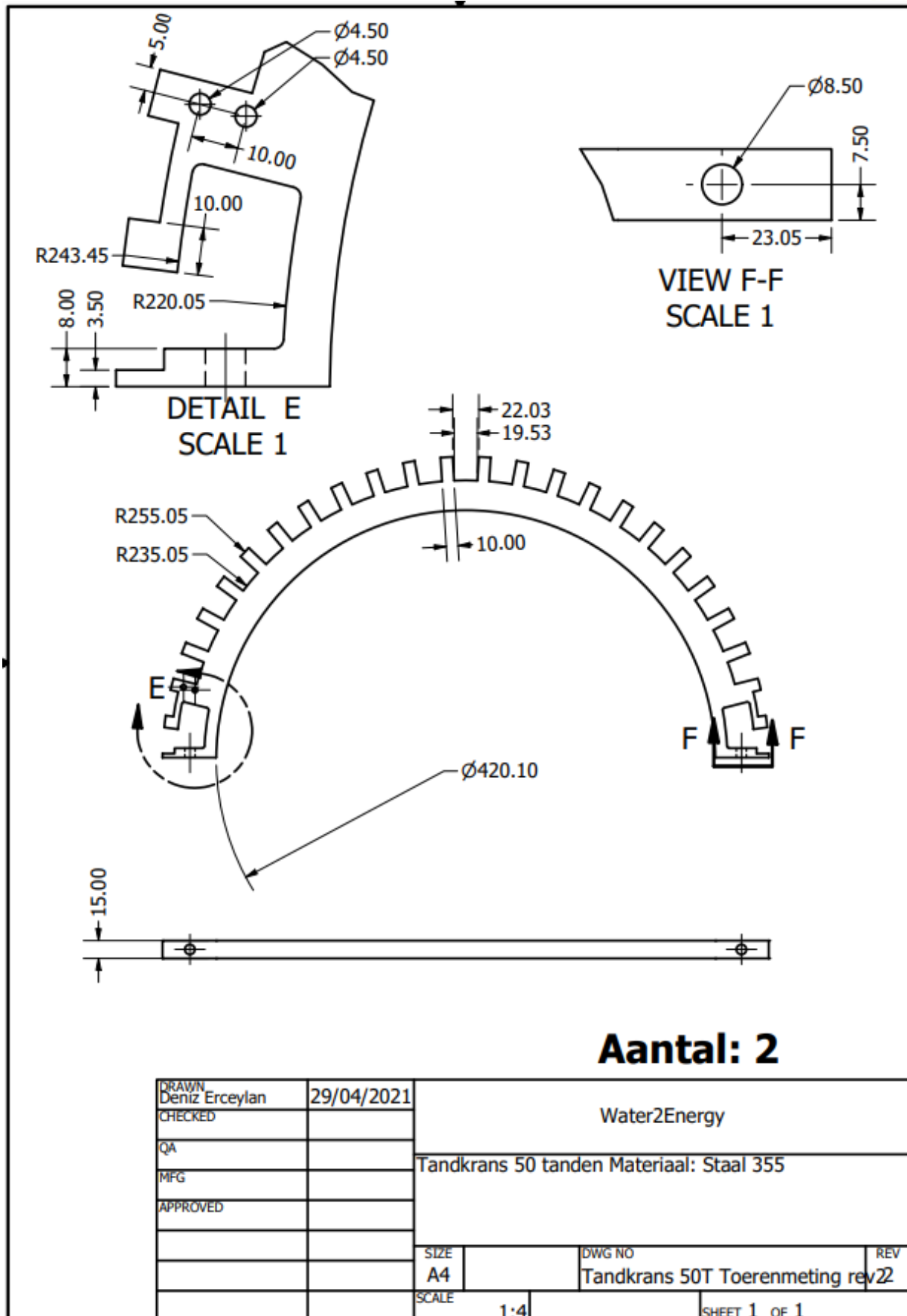
Gedetailleerd ontwerp

Tandkrans

De tandkrans is ontworpen met een binnendiameter van 420.1 mm aangezien de buitendiameter van de koppeling 420mm bedraagt. Hierdoor kan een afwijking tijdens het plaatsnijden worden opgevangen. De tandkrans zal daarnaast uit twee halve delen bestaand die aan beide zijden met bouten aan elkaar bevestigd worden waardoor het geheel om de turbinekoppeling geklemd kan worden.

De afmetingen van en tussen de tanden wordt deels bepaald door de maat en detectieafstand van de inductieve nabijheidssensor. Het is een vuistregel dat breedte van de tand minimaal net zo groot dient te zijn als de diameter van de sensor. De afstand tussen de tanden moet daarnaast minimaal twee maal zo groot zijn als diameter van de sensor. De diepte tussen de tanden moet logischerwijs groter zijn dan de detectieafstand van de sensor. Deze regels in acht nemend is besloten voor een sensor met een diameter van 8mm en een detectieafstand van 6 mm. Voor de afmeting van de tanden is gekozen voor een breedte van 10 mm, tussenafstand van ongeveer 20 mm en diepte van 20mm. Hiermee is een veiligheidsfactor in acht genomen om er zeker van te zijn dat alleen de tanden gedetecteerd worden. Met deze tandafmeting passen er 50 tanden op de complete tandkrans. Hierdoor bedraagt de meetresolutie tussen de tanden 7.2 graden. Dit is ruim voldoende voor het verkrijgen van een duidelijke resolutie van de rotatiesnelheid.

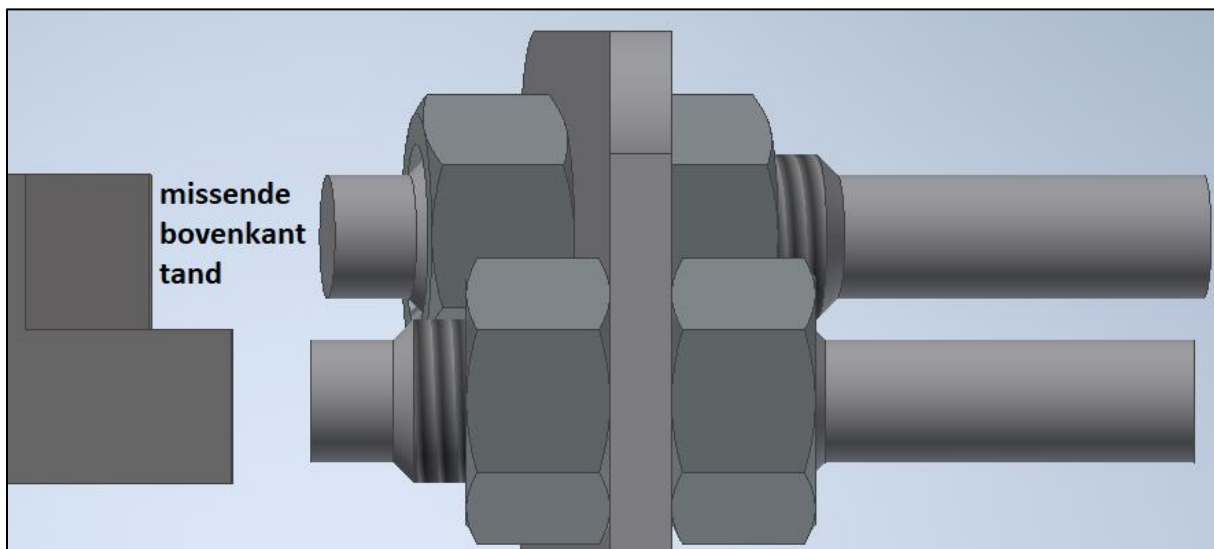
De tandkrans is verder nog aangepast zodat er genoeg ruimte is voor aanbrengen van bouten en moeren. Daarnaast zijn in één van de tanden gaten aangebracht waar een plaatje aan bevestigd kan worden voor het meten van de startpositie door de tweede nabijheidssensor. De complete werktekening met afmetingen is te zien in figuur 67.



Figuur 67: Werktekening van de tandkrans

Nadat de tandwielkrans besteld en gemaakt was is er een probleem aan het licht gekomen betreffende het meetprincipe voor 0-puntpositie via het opstaande plaatje. Aangezien het verwerkingssysteem waar de sensoren op aangesloten moeten worden pas in een laat stadium is gekozen en hierbij de keuze is gevallen op een systeem waarin een code voor deze functie niet via een script in te programmeren is moest het ontwerp van het positiesysteem aangepast worden. Besloten is om een in de verwerkingssoftware aanwezige functie voor het meten van hoeksensor signalen te kiezen. Hierbij wordt de positie gemeten doormiddel van een tandwiel met een bekend aantal tanden waarbij één van de tanden mist. Wanneer de sensor langs de missende tand komt zal er logischerwijs geen hoog signaal gemeten worden. Doordat per revolutie éénmaal een dubbele tijd zonder puls aanwezig is herkent de software dit als startpunt en begint vanaf hier met het tellen van de omwentellingshoek.

Hiertoe zou één van de tanden van de tandkrans weggezaagd moeten worden zodat de positiesensor een tand minder waarneemt. Voor het meten van toerental moeten echter alle tanden aanwezig blijven. Daarom is besloten de bovenste helft van een tand af te zagen en de positiesensor alleen het bovenste deel van de tandkrans te laten meten voor het bepalen van de omwentellingshoek. Voor het meten van toerental is de tweede nabijheidssensor aan de onderzijde van de tandkrans geplaatst zodat deze alle tanden kan meten. Zie figuur 68 voor een weergave hiervan.



Figuur 68: Aanpassing aan positiemeetsysteem met deels missend tand

Sensoren

De sensormaat die gebruikt zal worden voor het positiemeetsysteem bedraagt 8 mm en de detectieafstand 6mm. Hierbij zijn vele opties. Besloten is om een sensor te nemen met PNP signaal. Dit type sensor geeft een hoog signaal (puls) wanneer metaal gedetecteerd wordt en een laag signaal wanneer dit niet het geval is. De minimaal benodigde schakelfrequentie van de sensor moet hoog genoeg zijn om te pulseren bij het hoogste toerental van de turbine. Dit is 70 rpm. De minimaal benodigde schakelfrequentie bedraagt:

$$f = 1 / (b_t / (2\pi r * (n/60)))$$

waarbij r de buitendiameter van de tanden is, n het maximale toerental en b_t de breedte van de tanden.

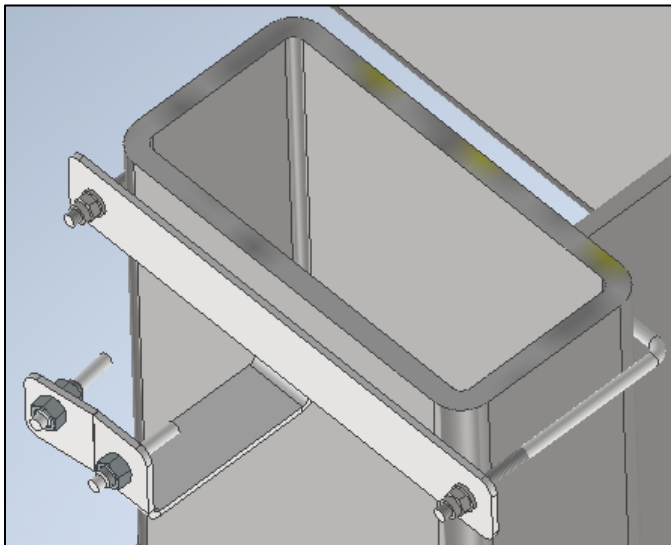
Aangezien $r = 0,25505$, $b_t = 0,010$, $n = 70$ rpm : $f = 187$ Hz.

Daarnaast zal er een veiligheidsfactor gebruikt worden van 2 waardoor de minimale schakelfrequentie 400Hz bedraagt.

Uiteindelijk is de keuze gevallen op een Sick M8x1 inductiesensor bij RS-Components met schakelfrequentie van 500Hz. Dit is meer dan genoeg voor de toerentalmeting.

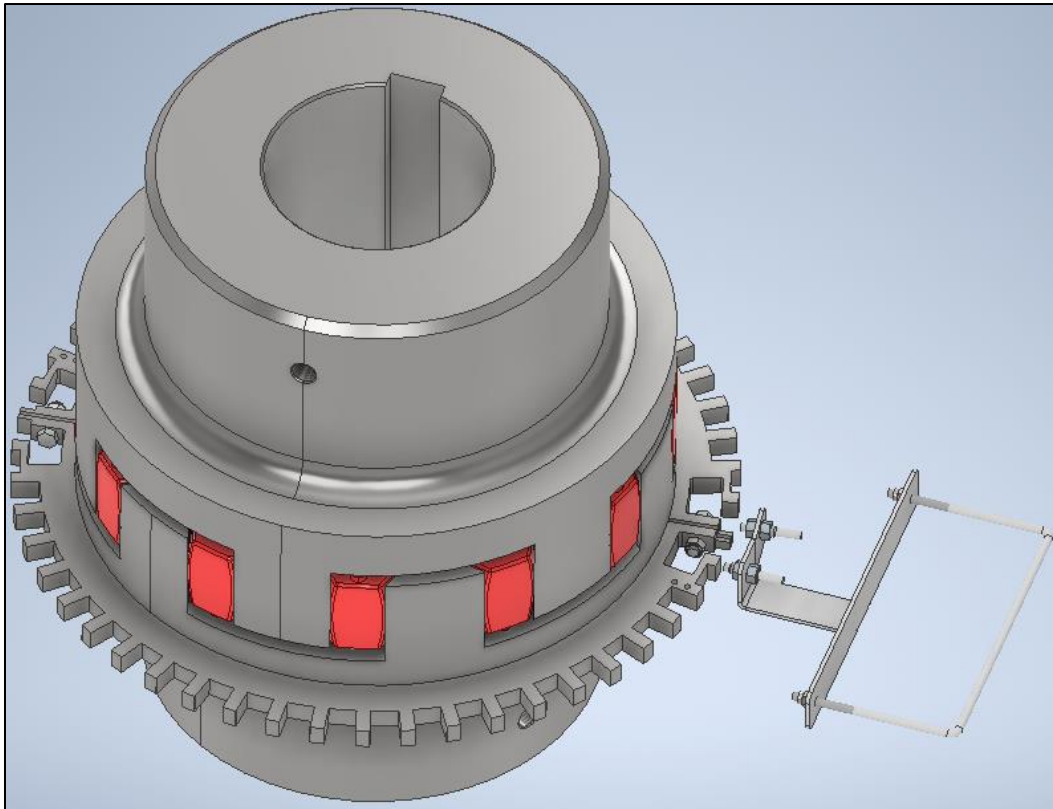
Ophanging sensoren

Voor het inbouwen van de twee nabijheidssensoren zijn de bouw instructies en afmetingen van de sensoren geraadpleegd waarna op basis hiervan een ontwerp van een bevestiging is ontworpen waarbij een uit plaatwerk gemaakte plaat middels draadeind en moeren rond een metalen koker van de turbine geklemd zal worden. Het ontwerp van de beugels met de twee gemonteerde sensoren is te zien in figuur 69.



Figuur 69: Ophangingsbeugels inductiesensoren

Een totaaloverzicht van het positiemeetsysteem is te zien in figuur 70 waarbij de tandkrans is geklemd om de turbinekoppeling en de sensoren op circa 2 mm van de tanden staan gemonteerd.



Figuur 70: Totaaloverzicht van het positiemeetsysteem met de geklemde tandkrans om de koppeling en de sensorophanging met de gemonteerde sensoren

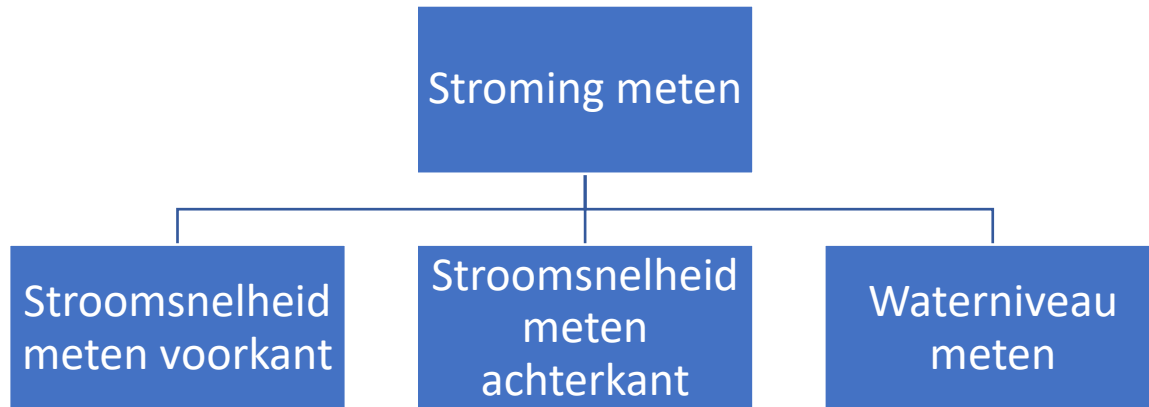
BOM

Zie bijlage 8.1.10 componentenlijst

Stromingsmeetsysteem

Functie overzicht

De functies die het stromingsmeetsysteem moet kunnen uitvoeren zijn weergegeven in figuur 71.



Figuur 71: Functieoverzicht van het stromingsmeetsysteem

Mogelijke meetlocaties

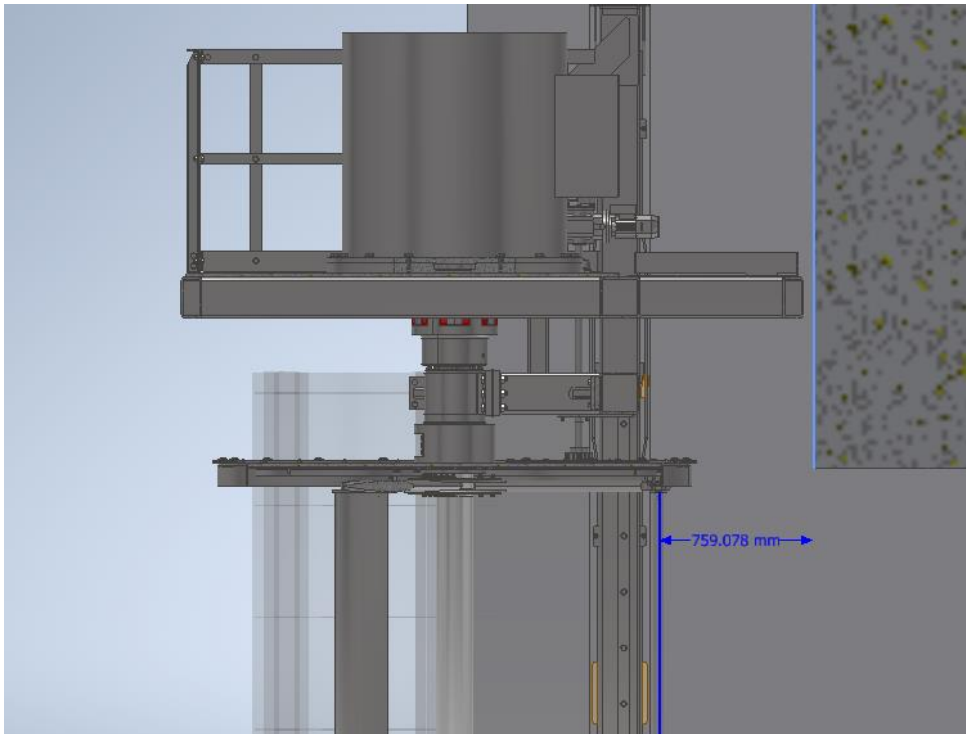
Om aan deze functies te kunnen voldoen zal eerst onderzocht moeten worden op welke plekken in de buurt van de waterturbine de bijbehorende metingen verricht kunnen worden.

Aangezien de stroomrichting van het water met de getijdenwisseling van richting veranderd zal er aan beide zijden van de turbine gemeten moeten worden om altijd een correct beeld te krijgen van de instroomsnelheid van het water naar de turbine. Hiertoe moet er voor en achter de turbine gemeten worden.

Ook het waterpeil voor en na de turbine dient gemeten te worden om een berekening te kunnen maken van het debiet wat door de turbine stroomt en om te bepalen wat het verschil is tussen het waterniveau van de binnenkomende en uitgaande stroom.

Deze metingen moeten gedaan worden in het water of contactloos boven het oppervlakte.

Aangezien de stroom in het kanaal anders is dan net voor de spuisluis moet er dicht in de buurt van de turbine gemeten worden in het midden van de stroom. Er moet echter wel een afstand tussen de meetlocaties en de turbine zitten zodat de stroom niet verstoord is op het meetpunt. Deze afstand is door Water2Energy beredeneerd op circa 1 meter van de bladen. Echter is dit aan de sluiszijde van de turbine niet haalbaar vanwege de betonnen sluiswand op ongeveer 760mm afstand van de turbinebladen zoals in figuur 72 te zien is.

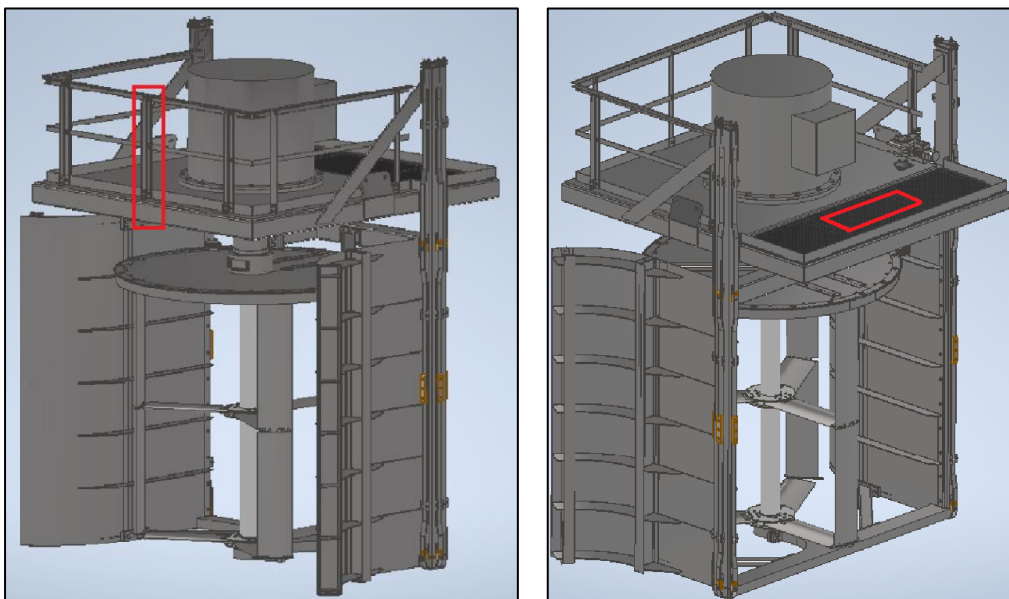


Figuur 72: Ruimte tussen turbinebladen en de sluiswand

Mogelijke inbouwlocaties stromingsmeetsysteem

Aan de kanaalzijde van de turbine is het goed mogelijk om aan het platform een bevestiging te maken voor de constructie waar de snelheidssensor en niveausensor aan bevestigd kunnen worden. Dit kan op de reling dan wel op de bodemconstructie van het platform zoals links aangegeven in figuur 73.

Aan de sluiszijde van de turbine kan de bevestiging voor de meetsensoren aan de onderzijde van de bodemplaat zoals rechts aangegeven in figuur 73.



Figuur 73: stromingssensoren aan de kanaalzijde (links) en mogelijke bevestigingslocatie stromingssensoren aan de sluiszijde (rechts)

Mogelijke sensor-technieken

Stroomsnelheidssensor

Veel stroomsnelheid sensoren maken gebruik van het Doppler effect waarbij een puls wordt uitgezonden, gereflecteerd door deeltjes in het water en ontvangen door een sensor. Dit kan op basis van akoestische signalen of optische signalen. Ook zijn er sensoren die in de stroom geplaatst worden waarbij een propeller of mechanisch rad aangedreven wordt door de waterstroom. Dit zorgt wel voor een lichte verstoring van de stroom achter de sensor.

Niveausensor

Voor het meten van het waterniveau kunnen verschillende technieken gebruikt worden. Zo kan er een vlotter gebruikt worden die drijft op het water en in combinatie met een encoder de afstand meet tot de vlotter.

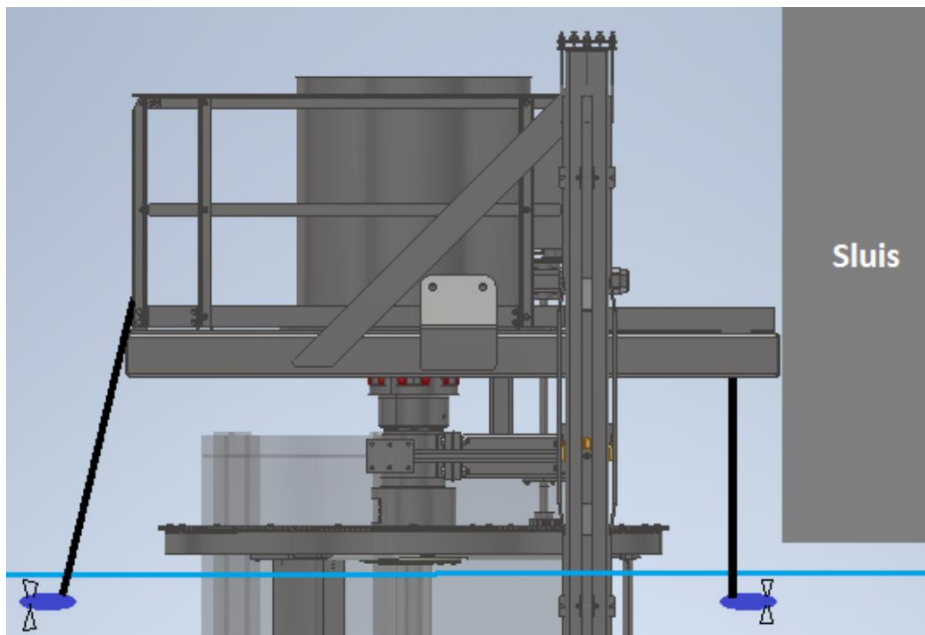
Verder is het mogelijk om onderwater op een vast punt de druk te meten. De druk zal toenemen naarmate het waterniveau stijgt en dalen als het niveau zakt.

Tot slot is er een manier om met optische of akoestische signalen (radar) de afstand tot het wateroppervlak te meten van een vast punt. Hierdoor hoeft er geen sensor in het water aangebracht te worden.

Mogelijke concepten

Concept 1: Mechanische sensor en onderwater drukmeter

In figuur 74 is een weergave van dit concept te zien waarbij vanaf beide kanten van het platform een constructie is gemaakt om in het midden van de stroom een mechanische sensor met propeller of waterrad in het water te positioneren. In of naast deze sensor kan ook een druksensor geplaatst worden om het waterniveau te kunnen meten.



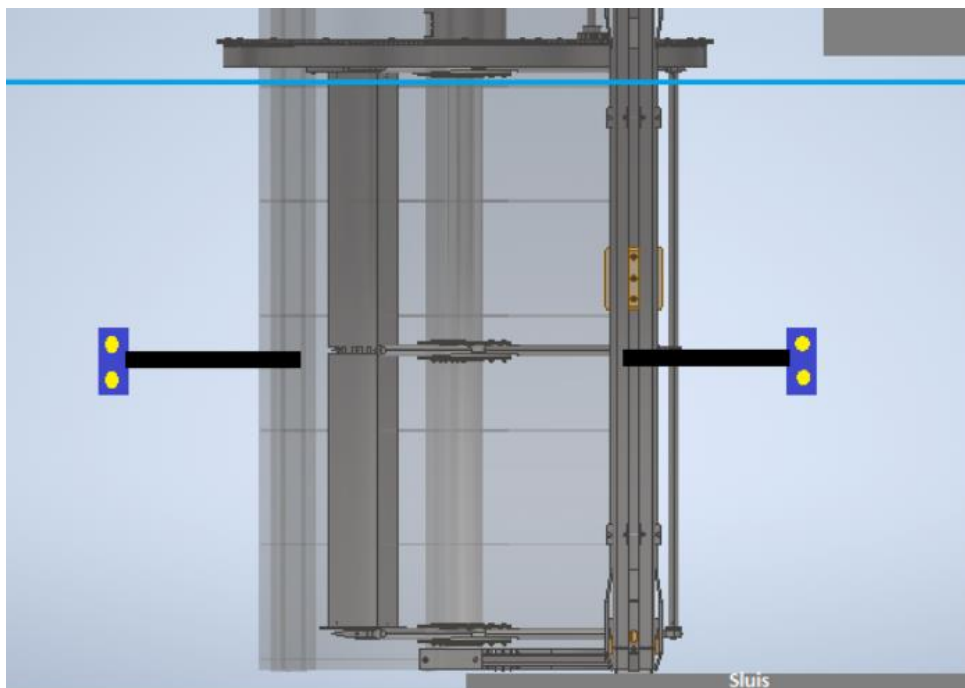
Figuur 74: Stromingsmeetsysteem concept 1

Tabel 15: Eigenschappen Stromingsmeetsysteem concept 1

Eigenschappen concept 1	
Voordelen	Nadelen
Simpel meetprincipe	Gevoelig voor objecten in water
Goedkope sensoren (onder 500€)	Slijtagegevoelig
	Verstoring van de stroom achter de sensor

Concept 2: ADCP onderwater doppler en drukmeter

In figuur 75 is een weergave van dit concept te zien waarbij vanaf de zijkant van de instroomroosters een constructie is bevestigd met daaraan akoestische Doppler sensoren aan weerszijden van de waterturbine. Deze sensoren kunnen de gemiddelde watersnelheid over de gehele breedte van de stroom meten en doorgeven. In combinatie met druksensoren kan het waterniveau berekend worden.



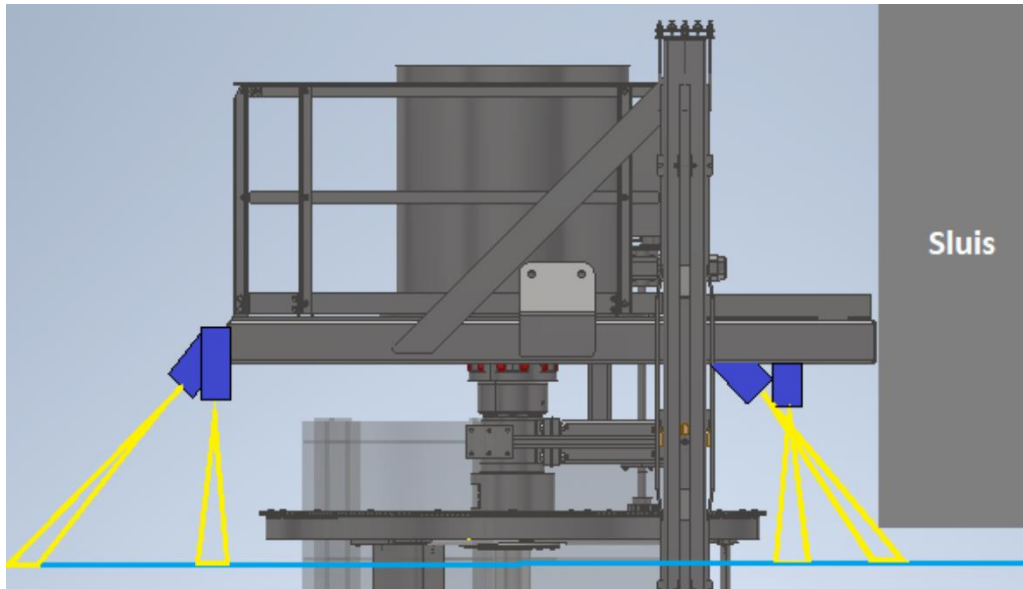
Figuur 75: Stromingsmeetsysteem concept 2

Tabel 16: Eigenschappen stromingsmeetsysteem concept 2

Eigenschappen concept 2	
Voordelen	Nadelen
Hoge nauwkeurigheid	Verstoring van de stroom achter de sensor en bevestiging
Geen bewegende delen	Niet aansluitbaar op de meeste data acquisitiesystemen door speciaal communicatieprotocol
	Zeer duur (5000-6000€ per stuk)

Concept 3: Radar stroming en niveaumeting boven water

In figuur 76 is een weergave van dit concept te zien waarbij vanaf beide kanten van het platform twee sensoren zijn aangebracht. De sensor onder een hoek meet de gemiddelde waterstroomsnelheid van het door de sensor waargenomen oppervlak, weergegeven in geel. De andere sensor meet het gemiddelde waterniveau van het waargenomen oppervlak recht onder de sensor, ook weergegeven in geel. Het meetprincipe van deze sensoren berust op akoestische radarsignalen die vanaf het oppervlaktewater teruggekaatst worden naar de sensor.



Figuur 76: Stromingsmeetsysteem concept 3

Tabel 17: Eigenschappen stromingsmeetsysteem concept 3

Eigenschappen concept 3	
Voordelen	Nadelen
Hoge nauwkeurigheid	Moet onder een bepaalde hoek geplaatst worden om goed te functioneren
Geen bewegende delen	Relatief duur (1000€-2000€ per sensor)
Geen verstoring van de stroom door de meetinstrumenten	

Wegingsmatrix concepten

Elk concept is beoordeeld op vijf aspecten zoals te zien is in tabel 18. Hieruit blijkt dat concept drie het beste is. Dit komt voornamelijk doordat de sensoren niet in het water geplaatst hoeven te worden en zo de stroom niet beïnvloeden en daarnaast een hoge nauwkeurigheid hebben en makkelijk aansluitbaar zijn op de meeste verwerkingssystemen.

Tabel 18: Wegingsmatrix stromingsmeetsysteem concepten

Stromingsmeetsysteem					
Nr	Beschrijving	Weging (1-5)	Concept 1	Concept 2	Concept 3
1	Toepasbaarheid Sensoren	5	3	1	4
2	Inbouwmogelijkheid Componenten	5	3	3	4
3	Levensduur	4	2	4	5
4	Nauwkeurigheid	5	4	5	4
5	Kosten	4	5	1	3
		Totaalscore	78	65	92

Gedetailleerd ontwerp

Sensoren

Nadat uit het wegingsmatrix blijkt dat het concept op basis van radarmetingen de beste optie is, is allereerst onderzoek gedaan naar verschillende leveranciers van dergelijke sensoren. Uit de datasheets en offertes die zijn aangevraagd is gekozen voor de leverancier BAR Instrument en de sensoren Microflow-i en DBI3.

BAR Instrument:

Microflow-i

Deze sensor wordt boven het water geplaatst en meet via akoestische radar signalen de stroomsnelheid van het oppervlaktewater en berekent hier de gemiddelde stroomsnelheid uit.

Interface: RS485 of 4-20 mA

Nauwkeurigheid: 50mm/s

Prijs: 1940€

DBI3

Deze sensor wordt boven het water geplaatst en meet via ultrasone signalen het waterniveau tot het oppervlaktewater.

Interface: 4-20 mA

Nauwkeurigheid: 2 mm

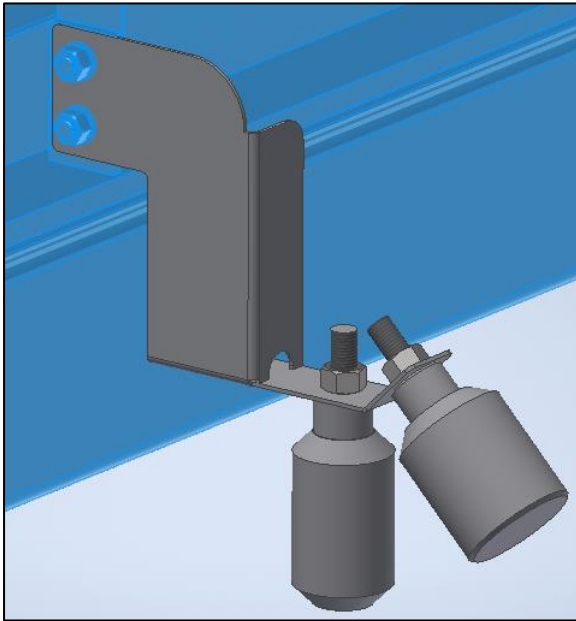
Prijs: 840€

Ophanging sensoren

Voor het inbouwen van de niveau- en snelheidssensor zijn de bouw instructies en afmetingen van de sensoren geraadpleegd uit datasheets waarna op basis hiervan ontwerpen voor bevestigingsbeugels zijn gemaakt. Bij de definitieve uitwerking van deze beugels is verder gelet op obstakels in het zicht veld van de sensoren. De sensoren hebben een uitzendhoek van 10 en 20 graden. Hier is rekening mee gehouden door de sensoren zo te plaatsen dat er geen obstakel in dit meetgebied komt.

Beugel Kanaalzijde

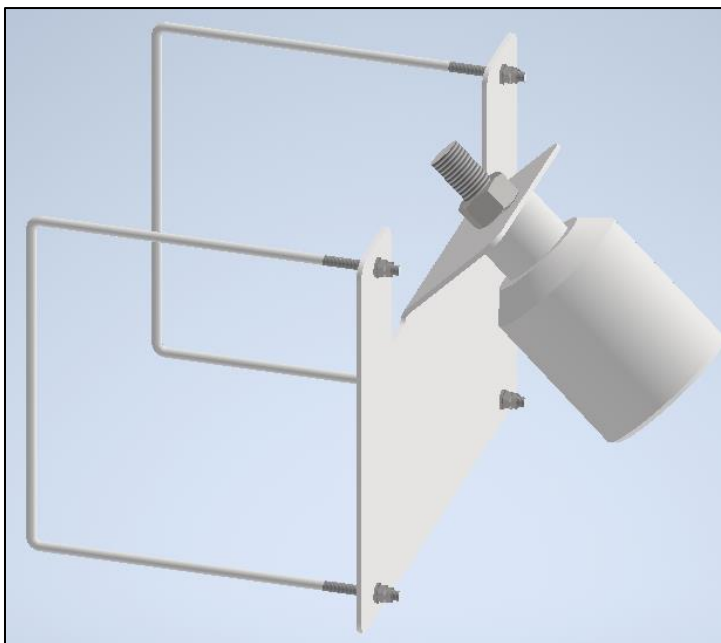
Het ontwerp van de beugelsamenstelling voor de sensoren aan de kanaalzijde van de turbine is



gemaakt uit één stuk plaatwerk van 3mm dik. De plaat heeft een zetting van 45 graden voor de snelheidssensor zoals is vereist voor een optimale werking van deze sensor door de leverancier. Daarnaast zijn er zettingen die aan elkaar gelast moeten worden om de ophanging stijf te maken. De platen worden doormiddel van bouten en moeren aan de reling vastgemaakt. De complete samenstelling van deze beugel en sensoren is te zien in figuur 77.

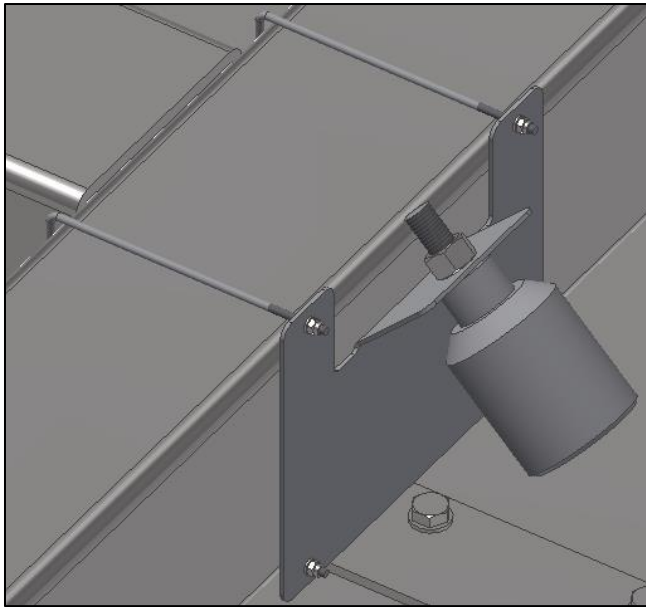
Figuur 77: Ontwerp van de beugel voor de stromingssensoren aan de kanaalzijde

Beugel snelheidssensor sluiszijde



Het ontwerp van de beugelsamenstelling voor de snelheidssensor aan de sluiszijde van de turbine is gemaakt uit één stuk plaatwerk van 3mm dik. De plaat heeft een zetting van 45 graden zoals is vereist voor een optimale werking van de sensor door de leverancier. De plaat wordt doormiddel van gebogen draadeind en borgmoeren om een constructiekoker geklemd aan de turbine. De complete samenstelling van deze beugel en sensor is te zien in figuur 78. Hoe de samenstelling om de constructiekokers bevestigd wordt is weergegeven in figuur 79.

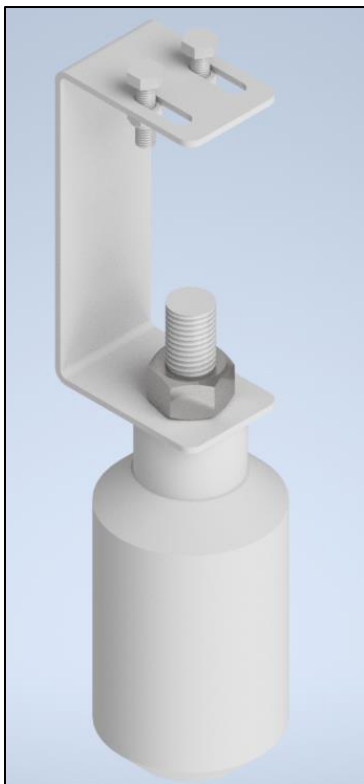
Figuur 78: Ontwerp van de beugel voor de snelheidssensor aan de sluiszijde



Figuur 79: Bevestiging van de snelheidssensor op constructiekokers aan de sluiszijde van de turbine

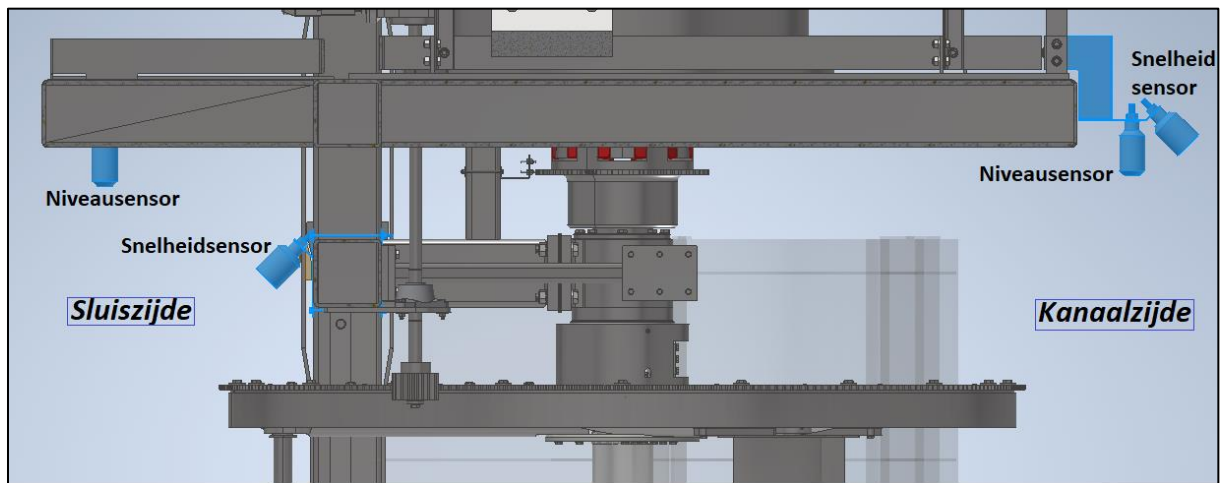
Beugel niveausensor sluiszijde

Het ontwerp voor de beugel van de niveausensor aan de sluiszijde is gemaakt van zetwerk gemaakt uit 3 mm plaatstaal. De beugel is ontworpen om aan de onderkant van het platform van de waterturbine vastgemaakt te worden doormiddel van bouten en moeren. De complete samenstelling van deze beugel inclusief sensor is te zien in figuur 80.



Figuur 80: Ontwerp van de beugel voor de niveausensor aan de sluiszijde van de turbine

Een totaaloverzicht van alle sensoren van het stromingsmeetsysteem en de locatie waar deze geplaatst zijn op de verticale-as waterturbine is weergegeven in figuur 81



Figuur 81: Totaaloverzicht van het stromingsmeetsysteem

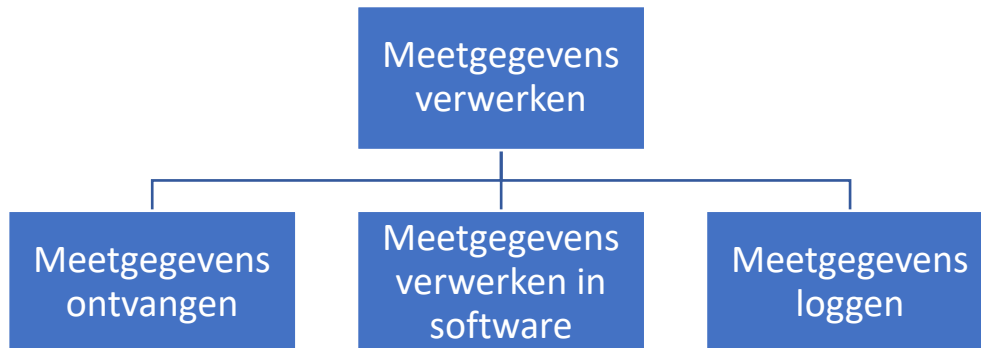
BOM

Zie 8.1.10 componentenlijst

Verwerkingssysteem

Functie overzicht

De functies die het verwerkingssysteem moet kunnen uitvoeren zijn weergegeven in figuur 82.



Figuur 82: Functieoverzicht van het verwerkingssysteem

Allereerst zal het verwerkingssysteem, ook wel data acquisitiesysteem genoemd, verbonden moeten worden aan de draden waar de uitgangssignalen van de sensoren over verstuurd worden. Via deze verbindingen kan een analoog of digitaal signaal binnenkomen in het acquisitiesysteem. Om deze data te kunnen ontvangen zal het signaal gesampled moeten worden met een voldoende hoge samplefrequentie om een correcte digitale conversie van het signaal te maken en de meetgegevens te ontvangen.

In de software moet de data vervolgens op een overzichtelijke wijze weergegeven kunnen worden op een aan het systeem verbonden PC. De data moet hiertoe in het softwarepakket verwerkt kunnen worden door bijvoorbeeld voltages te relateren aan een fysieke grootheid als rek of een kracht en dit vervolgens in een grafiek kunnen weergeven. Daarnaast moet het mogelijk zijn formules te implementeren om verschillende meetsignalen te kunnen converteren naar een andere fysieke grootheid. Een voorbeeld hiervan is het via formules omrekenen van hoeksnelheid naar toerental maar ook het vermenigvuldigen van koppel met hoeksnelheid om het mechanisch vermogen te kunnen berekenen.

Deze uitkomst uit de berekeningen en de losse ingangssignalen moeten vervolgens gelogd worden met relatie tot het tijdstip van elk samplepunt.

Mogelijke inbouwlocaties verwerkingssysteem

Het verwerkingssysteem zal samen met andere elektronische componenten van de andere subsystemen in een E-kast boven op het turbineplatform geplaatst worden. Dit wordt concreet gemaakt in het hoofdstuk over de bekasting.

Systemen op de markt

Datatranslation DT9804

De DT9804 is een datalogger die 16 analoge kan ontvangen en samplen met een frequentie van maximaal 100kHz verdeeld over alle signalen. De datalogger kan via usb-verbinding aan een pc of laptop verbonden worden om de data door te sturen en te loggen. Deze datalogger is reeds aanwezig van een eerdere installatie van Water2Energy en is gekoppeld aan een mini PC met het

softwarepakket Dewesoft 7 waarin de analoge signalen verwerkt kunnen worden met en zonder formules en realtime weergegeven kunnen worden op een zelf in te delen interface scherm. Een nadeel is wel dat er niet op digitale ingangen encoders of nabijheidssensoren aangesloten kunnen worden op dit systeem. De pulsen uit deze signalen zullen via een speciale module omgevormd moeten worden naar een analoog signaal of bemonsterd moeten worden via een analoog kanaal met een voldoende hoge samplefrequentie.

DB Asset

DB Asset kon niet op tijd een aanbieding voor een belastingsmeetsysteem leveren. Een optie was wel om de datatranslation datalogger te hergebruiken.

IMC Test & Measurement

Naast de aanbieding voor een belastingsmeetsysteem heeft IMC een aanbieding gedaan voor een acquisitiesysteem. Dit systeem bestaat uit een 8-kanaals data-acquisitiesysteem van de IMC CS serie met 8 analoge inputs die elk apart gefilterd worden tegen verstoringen en vervolgens van analoog naar digitaal geconverteerd worden en gesampled kunnen worden tot 100kHz. Verder zijn er twee ingangen voor counters, encoders of nabijheidssensoren.

Dit acquisitiesysteem wordt uitgebreid via een CAN-interface verbonden module om extra kanalen te kunnen ontvangen in het totale systeem. Deze CANSASflex module kan 8 analoge kanalen ontvangen en samplen met 1000Hz per kanaal.

Het totale acquisitiesysteem wordt vervolgens met een PC of laptop verbonden via een ethernet kabel waar het systeem kan worden ingesteld in software van IMC naar eigen wensen. De data kan via de PC gelogd worden en via IMC Famos of IMC Studio realtime weergegeven en geanalyseerd worden. Het is ook mogelijk het acquisitiesysteem standalone te laten functioneren zonder een aangesloten PC.

De prijs van dit pakket bedraagt rond de €15.000,- voor de hardware.

Wegingsmatrix concepten

Elk concept is beoordeeld op vijf aspecten zoals te zien is in tabel 19. Hieruit blijkt dat het hergebruiken van het Datatranslation systeem de beste optie is. Voornamelijk doordat de componenten van dit systeem al grotendeels aangesloten zijn in de meetkast en hierdoor tijd en geld bespaard blijft in tegenstelling tot het kopen en inbouwen van een nieuw systeem voor tienduizenden euro's.

Tabel 19: Wegingsmatrix opties verwerkingssysteem

Nr	Beschrijving	Verwerkingssysteem		
		Weging (1-5)	(DB Asset Services) Datatranslation	IMC Test & Measurement
1	Mogelijkheden Systeem	5	4	5
2	Inbouwmogelijkheid Componenten	5	5	4
3	Levensduur	4	5	5
4	Nauwkeurigheid	5	3	5
5	Kosten	4	5	2
		Totaalscore	100	98

Gedetailleerd ontwerp

Het uitwerken van dit subsysteem zal grotendeels door DB Asset Services uitgevoerd worden. Het instellen van de software en het kalibreren van de subsystemen zal in samenwerkingsverband uitgevoerd worden. De wiskundige formules die in geprogrammeerd moeten worden zijn in het formuleoverzicht in bijlage 8.1.7 weergegeven.

Bekasting

Nadat alle subsystemen uitgewerkt waren en het duidelijk werd dat de eerder gebruikte meetkast met het Datatranslation systeem (deels) opnieuw gebruikt zal worden moest de kastindeling gecontroleerd en waar nodig aangepast worden om alle stationaire elektrische componenten van de subsystemen te kunnen herbergen. Dit is in samenwerking met DB Asset Services uitgevoerd.

De plaatsing van de bekasting op het platform en de manier van montage is in overeenstemming met Reinier Rijke bepaalt. Hiervoor is dezelfde opstelling gebruikt als bij de eerdere toepassing van de meetkast in 2015. De meetkast is met bouten en moeren vastgezet op een gereedschapsbord (zie figuur 83 voor een foto van de opstelling in 2015) dat op het platform van de waterturbine vast gemonteerd is.



Figuur 83: Bevestiging van de meetkast op het (blauwe) gereedschapsbord (Water2Energy, 2015)

8.1.7 FORMULEOVERZICHT

Na het maken van de systeemverdeling en het uitwerken van de concepten volgt het formule-overzicht (tabel 20). Hierin staan alle formules die de interacties in het ontwerp beschrijven. Daarnaast zijn de verwerkingsformules voor de software van het verwerkingssysteem beschreven in tabel 21.

Tabel 20: Formuleoverzicht

Subsysteeminteracties			
Naam	Symbol	Formule	Eenheid
DC Voeding	$P_{omvormer}$	$\sum P_{subsystemen} = P_{belastingmeetsyst.} + P_{stromingsmeetsyst.} + P_{positiemeetsyst.} + P_{verwerkingssyst.}$	W
	U_{XD1}	24	V
	I_{XD1}	$I_{XD1} = P_{omvormer} / U_{XD1}$	A
Datasignaal Koppel 1	U_{SD0}	$U_{SD0} = 10 * (T_1 / T_{1max})$	V
Datasignaal Koppel 2	U_{SD2}	$= 10 * (T_2 / T_{2max})$	V
Datasignaal Koppel 3	U_{SD2}	$= 10 * (T_3 / T_{3max})$	V
Datasignaal rek oor voorzijde	U_{SD3}	$= 10 * (F_y / F_{ymax})$	V
Datasignaal rek oor achterzijde	U_{SD4}	$= 10 * (F_z / F_{zmax})$	V
Datasignaal doorbuiging op 0,25 van totaal-lengte blad	U_{SD5}	$= 10 * (Y_{0,25x} / F_{0,25xmax})$	V
Datasignaal doorbuiging op 0,50 van totaal-lengte blad	U_{SD6}	$= 10 * (Y_{0,50x} / F_{0,50xmax})$	V
Datasignaal	U_{SD7}	$= 10 * (X / X_{max})$	V
Datasignaal waterniveau 1	I_{SI0}	$= (16 * (h_1 / h_{1max}) + 4) / 1000$	A
Datasignaal waterniveau 2	I_{SI1}	$= (16 * (h_2 / h_{2max}) + 4) / 1000$	A
Datasignaal stroomsnelheid 1	I_{SI2}	$= (16 * (u_1 / u_{1max}) + 4) / 1000$	A
Datasignaal stroomsnelheid 2	I_{SI3}	$= (16 * (u_2 / u_{2max}) + 4) / 1000$	A
Voltage puls positie-sensor 1	U_{SP1}	$= U_{XD1}$	V
Voltage puls positie-sensor 2	U_{SP1}	$= U_{XD1}$	V

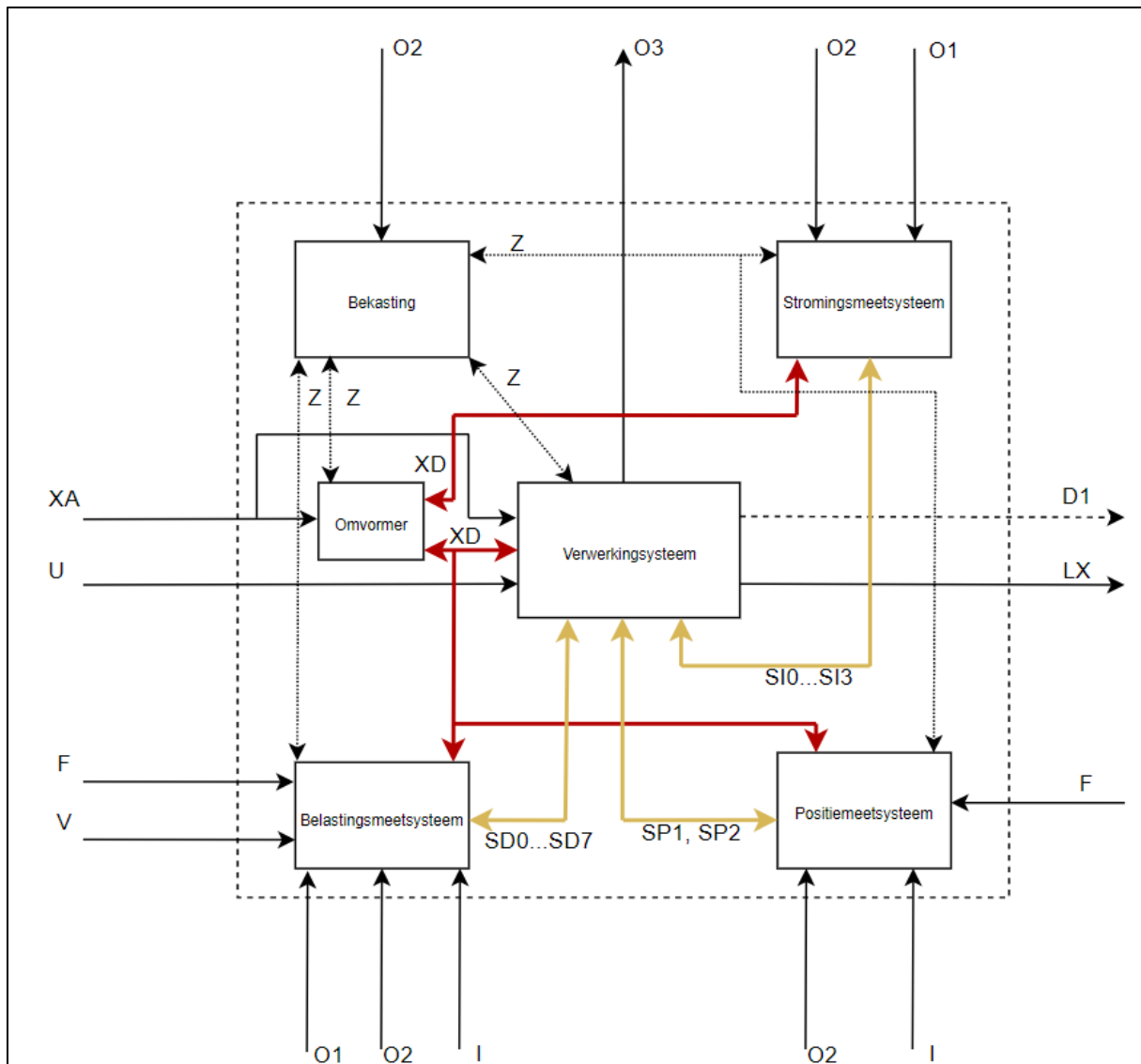
Tabel 21: Formuleoverzicht voor het verwerkingssysteem

Verwerkingsformules			
Naam	Symbool	Formule	Eenheid
Debiet	Q	$= A \cdot u$	m ³ /s
Oppervlakte stromingsprofiel	A	$= b \cdot h$	m ²
Theoretisch vermogen in water	P _{water}	$= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot u^3$	W
Door turbinebladen bestreken oppervlak in de stroom	S	$= (2,72 - (h - 0,28)) \cdot 2$	m ²
Hoeksnelheid	ω	$= 2\pi / n_{\text{samplepoints}} \cdot dt_{\text{tussensamples}}$	rad/s
Omwentellingshoek	γ	$= (\gamma_0 + \omega \cdot dt_{\text{tussensamples}}) \cdot 180 / \pi$	graden
Toerental	n	$= (60 \omega) / (2\pi)$	rpm
Totaal mechanisch vermogen	P _m	$= T_1 \cdot \omega$	W
Prestatie-coëfficiënt	C _p	$= P_m / P_{\text{water}}$	(-)
Tangentiële kracht signaal	F _t	$(U_{SD3} - U_{SD4}) / 2$	V
Radiaalkracht signaal	F _r	$(U_{SD3} + U_{SD4}) / 2$	V
Overige symbolen			
stroomsnelheid	u		m/s
Breedte stroom	b		m
Niveau stroom	h		m
Aantal samplepoints	n _{samplepoints}		-

8.1.8 SUBSYSTEEMBESCHRIJVING

Parallel met het uitwerken van de (sub)systeemconceptontwerpen tot een gedetailleerd ontwerp is de subsysteembeschrijving met daarin het subsysteemoverzicht, weergegeven in figuur 84, opgesteld. In het subsysteemoverzicht zijn de interacties tussen de verschillende subsystemen en de systeemomgeving overzichtelijk weergegeven.

Alle interacties hebben een unieke aanduiding die in tabel 22 beschreven zijn. De bijbehorende limietentabel is weergegeven in tabel 23.



Figuur 84: Substelsysteemoverzicht

Tabel 22: Substelsiem interactie aanduidingen

Aanduiding	Beschrijving
SYSTEEMNIVEAU	
D1	Data overdracht vanuit het systeem naar externe locatie (USB)
F	Invloed van de draaiing op het systeem
I	Elektromagnetische interferentie vanuit de turbine
LX	Lichtsignalen vanuit het systeem (Display)
O1	Omgevingsinvloeden op het systeem (onderwater)
O2	Omgevingsinvloeden op het systeem (bovenwater)
O3	Systeeminvloed op de omgeving
U	Gebruikersinteractie op het systeem
V	Vervorming van de turbine
XA	AC voeding voor het meetsysteem
SUBSYSTEEMNIVEAU	
SD0	Analoog 0-10V DC signaal, Koppel 1
SD1	Analoog 0-10V DC signaal, Koppel 2
SD2	Analoog 0-10V DC signaal, Koppel 3
SD3	Analoog 0-10V DC signaal, Spanning voorzijde oor
SD4	Analoog 0-10V DC signaal, Spanning achterzijde oor
SD5	Analoog 0-10V DC signaal, Doorbuiging verticaal blad
SD6	Analoog 0-10V DC signaal, Doorbuiging verticaal blad
SD7	Analoog 0-10V DC signaal, Reserve
SI0	Analoog 4-20mA I signaal, Waterniveau 1
SI1	Analoog 4-20mA I signaal, Waterniveau 2
SI2	Analoog 4-20mA I signaal, Stroomsnelheid 1
SI3	Analoog 4-20mA I signaal, Stroomsnelheid 2
SP1	Puls signaal PNP/NPN, Incrementele teller
SP2	Puls signaal PNP/NPN, Incrementele teller
XD	Voeding 24V DC
Z	Bevestiging componenten/subsystemen aan meetkast

Tabel 23: Limietentabel van de subsysteeminteracties

Interactie	Symbool	Beschrijving	Minimum	Maximum	Eenheid
Belastingsmeetsysteem					
F, V, I, O1, O2	Data al beschreven in systeembeschrijving				
SD0 ... SD7	S+	DC spanning signaal	0	1, 5, 10	V
XD	VDC	Voedingsspanning	0	24	V
Z	1				
Stromingsmeetsysteem					
O1, O2	Data al beschreven in systeembeschrijving				
SI0 ... SI3	I	Stroomsignaal	4	20	mA
XD	VDC	Voedingsspanning	0	24	V
Z	1				
Positiemeetsysteem					
F, I, O2	Data al beschreven in systeembeschrijving				
SP1, SP2	P+	Puls signaal	0	5	V
XD	VDC	Voedingsspanning	0	24	V
Z	1				
Verwerkingsysteem					
D1, LX, O3, U, XA	Data al beschreven in systeembeschrijving				
SD0 ... SD7	S+	DC spanning signaal	0	1, 5, 10	V
SI0 ... SI3	I	Stroomsignaal	4	20	mA
SP1, SP2	P+	Puls signaal	0	5	V
XD	VDC	Voedingsspanning	0	24	V
Z	1				

¹ Wordt niet gespecificeerd i.v.m. beperkte invloed van de interactie op het systeemontwerp.

8.1.9 SUBSYSTEEMTESTPLAN

Testplan Verwerkingssysteem

Doel

Het doel van deze test is het aantonen dat het verwerkingssysteem $\pm 10V$ kan ontvangen, verwerken en loggen.

Hypothese

Als het verwerkingssysteem voltage ontvangt, verwerkt en opslaat dan functioneert het verwerkingssysteem correct.

Variabelen

Limiet	Variëren/Meten
D1	controleren
LX	observeren
SP1	variëren
SP2	variëren
SD0...SD7	variëren
SI0...SI3	variëren

Materialen

- Aangesloten verwerkingssysteem
- 24V voedingsspanning
- Operator
- Twee 9V batterijen

Meetgereedschap

- PC met acquisitiesoftware

Methode

1. Ga naar het configuratiescherm en stel de software in zodat de $\pm 10V$ kanalen gesampled kunnen worden en stel 0 volt in als 0N en 10V als 10N.
2. Stel het scherm in zodat de waardes van de 8 analoge kanalen wordt weergegeven.
3. Sluit de 9V batterij aan op het eerste kanaal.
4. Controleer de waarde van dit kanaal op het scherm.
5. Voer stap 3 en 4 uit voor de andere 7 $\pm 10V$ kanalen.
6. Sluit een batterij aan op kanaal 1 en 2.
7. Open een nieuw kanaal met als waarde een wiskundige formule.
8. Voer de formule voor vermogen in: $P = T \cdot \omega = [\text{kanaal 1}] * ([\text{kanaal 2}] * 2\pi/60)$.
9. Stel het scherm in zodat het vermogen zichtbaar is.
10. Controleer de waarde van het vermogen. Dit moet rond het getal 8,5 liggen.
11. Start de meting op 1000Hz.
12. Stop de meting na 10 seconden en sla deze op.

13. Schakel het verwerkingssysteem uit en ontkoppel de voeding en de sensoren.

Verwachte resultaten

Het verwachte resultaat is dat $\pm 10V$ signalen correct gemeten, ingesteld en gesampled kunnen worden en dat op deze waarden formules toegepast kunnen worden.

Testplan rekstroken belastingsmeetsysteem voor Koppel en Ft

Doel

Het doel van deze test is het aantonen dat het belastingsmeetsysteem een aangebrachte tangentiële kracht correct kan meten doormiddel van de rekstroken.

Hypothese

Als het belastingsmeetsysteem de vervorming door aangebrachte belastingen op de verticale as waterturbine meet en de meetwaarde middels een analoog voltage dat evenredig is met de mate van de belasting doorgeeft dan functioneren de rekstroken van het ontwerp van het meetsysteem van de waterturbine correct.

Variabelen

Limiet	Variëren/Meten
V	variëren
U_{SD2}	meten
U_{SD3}	meten
U_{SD4}	meten

Materialen

- Gemonteerde belastingsmeetsensoren (rekstroken)
- Verwerkingssysteem
- Telemetry set DB Asset Services
- 6 Spanbanden
- Operator

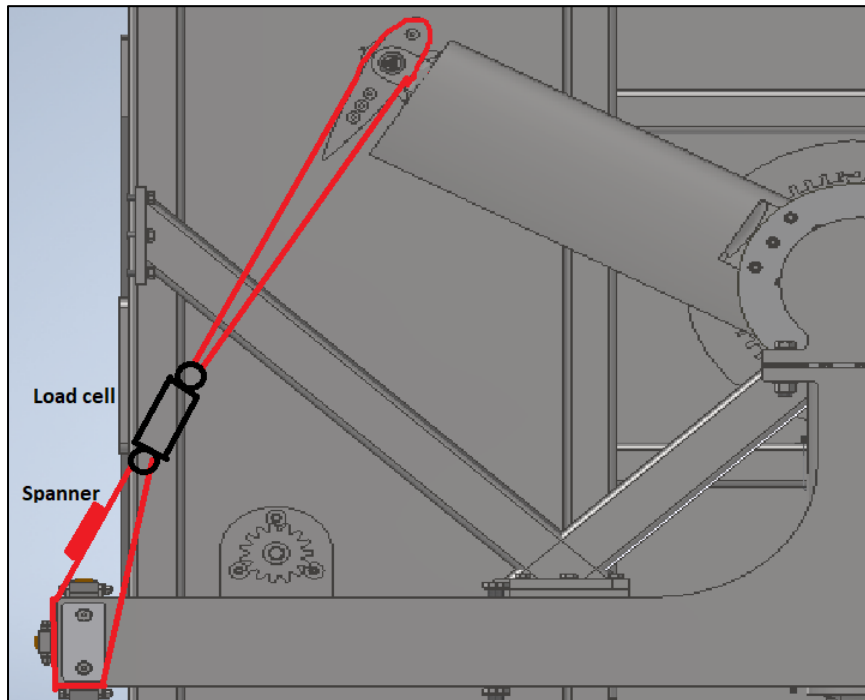
Meetgereedschap

- Twee loadcells

Methode

1. Sluit de telemetrieset aan op het verwerkingssysteem en stel de kanalen voor koppel en rek in.
2. Zet het met sensoren beplakte verticale blad met de daaraan bevestigde horizontale bladen in de positie zoals te zien is in figuur 85.
3. Bevestig een spanband om de turbinekoppeling zodat de turbine niet kan draaien tijdens de test.
4. Bevestig in het midden van het onderste en het bovenste verticale blad (dus tweemaal) spanbanden en bevestig deze aan de load cell waarna de loadcell zelf ook middels een spanband aan de

framekoker bevestigd wordt. Bekijk voor een overzicht van deze opstelling nogmaals figuur 85.



Figuur 85: Testopstelling voor de tangentiële belastingtest

5. kalibreer de rekstroken en de loadcells op 0 belasting.
6. Trek de spanbandspanner van het bovenste en onderste verticale blad aan zodat elk blad ongeveer gelijk belast wordt en noteer de waarden van de loadcells en de waarden van de rekstroken
7. Voer stap 6 uit voor verschillende belastingen en noteer deze met de meetwaarden van de rekstroken.

Verwachte resultaten

Het verwachte resultaat van de test zijn meetwaarden voor koppel en doorbuiging op het oor die in verband staan met de grootte van de aangebracht belasting. De verwachting is dat een verdubbeling in belasting een verdubbeling in rek veroorzaakt. Hierdoor zou een lineair verband tussen belasting en de mate van rek bewezen worden waaruit de belasting afgeleid kan worden.

Testplan rekstroken belastingsmeetsysteem voor Fr en doorbuiging verticale bladen

Doel

Het doel van deze test is het aantonen dat het belastingsmeetsysteem een aangebrachte radiale kracht correct kan meten doormiddel van de aangebrachte rekstroken.

Hypothese

Als het belastingsmeetsysteem de vervorming door aangebrachte belastingen op de verticale as waterturbine meet en de meetwaarde middels een analoog voltage dat evenredig is met de mate van de belasting doorgeeft dan functioneren de rekstroken van het ontwerp van het meetsysteem van de waterturbine correct.

Variabelen

Limiet	Variëren/Meten
V	variëren
U_{SD3}	meten
U_{SD4}	meten
U_{SD5}	meten

Materialen

- Gemonteerde belastingsmeetsensoren (rekstroken)
- Verwerkingssysteem
- Telemetry set DB Asset Services
- 6 Spanbanden
- Operator

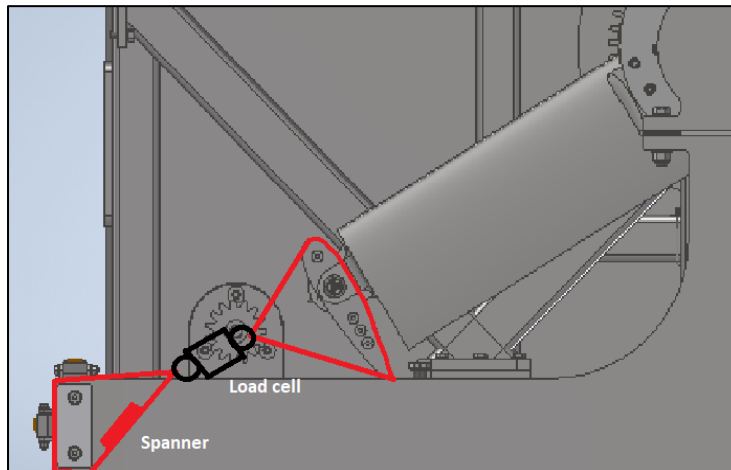
Meetgereedschap

- Twee loadcells

Methode

1. Sluit de telemetrieset aan op het verwerkingssysteem en stel de kanalen voor doorbuiging in de bladen en rek op het oor in.
2. Zet het met sensoren beplakte verticale blad met de daaraan bevestigde horizontale bladen in de positie zoals te zien is in figuur 86.
3. Bevestig een spanband om de turbinekoppeling zodat de turbine niet kan draaien tijdens de test.
4. Bevestig in het midden van het onderste en het bovenste verticale blad (dus tweemaal) spanbanden en bevestig deze aan de load cell waarna de loadcell zelf ook middels een spanband aan de

framekoker bevestigd wordt. Bekijk voor een overzicht van deze opstelling nogmaals figuur 86.



Figuur 86: Testopstelling voor de radiale belastingstest

5. kalibreer de rekstroken en de loadcells op 0 belasting.
6. Trek de spanbandspanner van het bovenste en onderste verticale blad aan zodat elk blad ongeveer gelijk belast wordt en noteer de waarden van de loadcells en de waarden van de rekstroken
7. Voer stap 6 uit voor verschillende belastingen en noteer deze met de meetwaarden van de rekstroken.

Verwachte resultaten

Het verwachte resultaat van de test zijn meetwaarden voor F_r en doorbuiging die in verband staan met de grootte van de aangebracht belasting. De verwachting is dat een verdubbeling in belasting een verdubbeling in rek veroorzaakt. Hierdoor zou een lineair verband tussen belasting en de mate van rek bewezen worden waaruit de belasting afgeleid kan worden.

Testplan Positiemeetsysteem sensoren

Doel

Het doel van deze test is het aantonen dat de inductiesensoren een puls geven wanneer een metaal object in het meetbereik komt.

Hypothese

Als het positiemeetsysteem een hoog voltage signaal afgeeft wanneer een metaal object in het sensorgebied komt dan functioneert het ontwerp van het positiemeetsysteem van de waterturbine correct.

Variabelen

Limiet	Variëren/Meten
SP1	meten
SP2	meten

Materialen

- Twee inductiesensoren
- 24V voedingsspanning
- Operator
- Stukje staal

Meetgereedschap

- Voltmeter/Multimeter
- meetlat

Methode

1. Sluit een sensor aan op de voedingsspanning.
2. Sluit de voltmeter aan tussen de signaaldraad en de min van de sensor.
3. Leg de meetlat langs de sensor
4. Houdt het stukje staal op 10mm van de sensor en beweeg deze langzaam naar de sensor totdat de voltmeter een hoog signaal meet.
5. Noteer het voltage en de afstand tot het staal.
6. Haal nu het plaatje op deze afstand zijdelings langs de sensor. Controleer of de sensor schakelt zodra het plaatje langs de sensor beweegt en noteer het voltage.
7. Voer test 6 uit voor de helft van de detectieafstand en noteer het voltage.
8. Verbreek de verbinding tussen de multimeter en de sensor.
9. Schakel de voedingsspanning uit.
10. Voer de stappen 1t/m 9 uit voor de tweede sensor.

Verwachte resultaten

Het verwachte resultaat van de test is een hoog signaal binnen 6 mm van de sensor en dat dit voltage gelijk blijft voor alle afstanden binnen het detectiegebied.

Testplan positiemeetsysteem

Doel

Het doel van deze test is het aantonen dat het positiemeetsysteem pulsen geeft wanneer de nabijheidssensoren langs een meetpunt komen.

Hypothese

Als het positiemeetsysteem een hoog voltage signaal afgeeft wanneer een meetpunt in het sensorgebied komt dan functioneert het ontwerp van het positiemeetsysteem van de waterturbine correct.

Variabelen

Limiet	Variëren/Meten
F	variëren
SP1	meten
SP2	meten

Materialen

- Gemonteerd positiemeetsysteem
- 24V voedingsspanning
- Operator

Meetgereedschap

- Voltmeter/Multimeter

Methode

1. Sluit de sensoren aan op de voedingsspanning.
2. Sluit de voltmeter aan tussen de signaaldraad en de min van de eerste sensor.
3. Draai de centrale as van de turbine op een meettand van sensor 1.
4. Noteer het voltage.
5. Draai de centrale as van de turbine voorbij de tand.
6. Noteer het voltage.
7. Herhaal stap 4 tot en met 6 drie keer voor de volgende drie meetpunten.
8. Sluit de voltmeter aan tussen de signaaldraad en de min van de tweede sensor.
9. Draai de centrale as van de turbine op een tand van sensor 2.
10. Noteer het voltage.
11. Draai de centrale as voorbij het meetpunt.
12. Noteer het voltage.
13. Voer stap 9 en 10 nogmaals uit.
14. Verbreek de verbinding tussen de multimeter en de sensor.
15. Schakel de voedingsspanning uit.

Verwachte resultaten

Het verwachte resultaat van de test is een hoog signaal op de meetpunten (tanden) en een laag signaal ertussen.

Testplan Positiemeetsysteem i.c.m. verwerkingssysteem

Doel

Het doel van deze test is het aantonen dat het positiemeetsysteem pulsen geeft aan het verwerkingssysteem en dat deze hieruit het toerental en de positie van het blad kan bepalen.

Hypothese

Als de positiesensor voor bladpositie een hoog signaal afgeeft zal de bladpositie met 7.2 graden toenemen en bij de missende tand opnieuw starten met tellen vanaf 0 graden. Als de positiesensor voor het toerental een hoog signaal afgeeft aan de toerentalbewaker dan zal deze een analoog signaal tussen 0.2 en 1 V doorsturen naar het verwerkingssysteem wat in verhouding staat tot het toerental.

Variabelen

Limiet	Variëren/Meten
F	variëren
SP1	meten
SP2	meten

Materialen

- Gemonteerde positiemeetsensor
- 24V voedingsspanning
- Operator
- Verwerkingssysteem
- spanningsregelaar

Meetgereedschap

Methode

1. Sluit de spanningsregelaar aan op de voedingsspanning en stel deze in op 9.5 V.
2. Sluit de positiesensor aan en op het verwerkingssysteem en op spanningsregelaar.
3. Stel het verwerkingssysteem in op 1000Hz en dat het type sensor een tandwielsensor is met missende tand voor de 0-puntpositie en kalibreer de pulsdetectievoltages automatisch.
4. Stel het scherm in zodat bladpositie weergegeven wordt.
5. Start een meting en draai de turbine met de hand een aantal keer rond.
6. Stop de meting.
7. Verbreek het contact tussen de spanningsregelaar en de voedingsbron.
8. Sluit de sensor aan op de toerentalbewaker.
9. Stel het te bemonsteren kanaal in met 0.2 V is 0 rpm en 1 V is 70 Rpm.
10. Stel het scherm in zodat toerental weergegeven wordt.
11. Start een meting en draai de turbine met de hand een aantal keer rond.
12. Stop de meting.

Verwachte resultaten

Het verwachte resultaat van de test is dat de bladpositie op het scherm zal toenemen nadat de startpositie is waargenomen. Hierbij zal tussen elke puls 7.2 graden worden opgeteld. Bij de toerenteller is de verwachting dat zodra de turbine begint te draaien het toerental op het scherm de draaisnelheid zal weergeven.

Testplan stromingsmeetsysteem

Doel

Het doel van deze test is het aantonen dat het stromingsmeetsysteem waterniveau en watersnelheid kan meten en vertalen naar een 4-20mA signaal.

Hypothese

Als het stromingsmeetsysteem de watersnelheid en het waterniveau kan meten en omzetten naar een stroomsignaal met een lineair verband tussen de stroomsterkte en de waterwaarde (niveau of snelheid) dan functioneert het ontwerp van het stromingsmeetsysteem van de waterturbine correct.

Variabelen

Limiet	Variëren/Meten
O1	meten
SI0	meten
SI1	meten
SI2	meten
SI3	meten

Materialen

- Stroomsnelheidssensor
- niveausensor
- 24V voedingsspanning
- Operator

Meetgereedschap

- Stroommeter/Multimeter
- Hummingbird Watersnelheidsmeetsysteem (eerder door Water2Energy gebruikt systeem)

Methode

1. Bevestig de sensor van het eerder gebruikte meetsysteem aan een koker.
2. Meet hiermee enkele seconden de watersnelheid aan het oppervlak in het midden van de stroom in de sluis.
3. Noteer de stroomsnelheid vanaf de display.
4. Sluit nu de snelheidssensor aan op de voedingsbron en op de stroommeter.
5. Voer stap 2 uit met deze sensor.
6. Lees de stroomsterkte van de multimeter af en noteer dit.
7. Stop de meting door het ontkoppelen van de sensor, de voedingsspanning en de multimeter
8. Zoek in de datasheet welke snelheid bij deze stroomsterkte hoort.
9. Vergelijk de waarden uit stap 7 en stap 3

Verwachte resultaten

Het verwachte resultaat van de test is dat de gemeten stroomsnelheden ongeveer gelijk zijn. Een afwijking binnen 10% is acceptabel wegens de verschillende meetmethoden.

8.1.10 COMPONENTENLIJST

Tabel 24: Componentenlijst belastingsmeetsysteem

Belastingsmeetsysteem					
productnaam/dienst	artikelnummer	leverancier	aantal	kosten p.s.	kosten totaal
Vorbereiding op aandrijf		DB Asset	1	1565	1565
Vorbereidingen op blad en scharnier		DB Asset	1	2741	2741
Instellen meetapparatuur		DB Asset	1	1720	1720
Installeren op locatie		DB Asset	1	2350	2350
Hardware en meetbegeleiding		DB Asset	1	28650	28650
Analyse en rapportage		DB Asset	1	760	760
totale kosten		DB Asset			37786

Tabel 25: Componentenlijst positiesmeetsysteem

Positiemeetsysteem					
productnaam	artikelnummer	leverancier	aantal	kosten p.s.	kosten totaal
Toerentalsensor plaat	s1002	Meeuwse Trading	1	200	200
Sick M8 x 1 Inductive Proximity Sensor	184-6329	RS Components	2	64.74	129.48
m8x1 moer		Gamma	4	0.44875	1.795
m8 x1.25 borgmoer		Gamma	2	0.6975	1.395
m6 sluitring		Gamma	2	n.v.t.	3.49
m6 borgmoer		Gamma	2	n.v.t.	2.69
m6 draadeind 350mm		Gamma	2	n.v.t.	4.69
tandkrans		Meeuwse Trading	2	225	450
m8x30 DIN933 bout		Gamma	2	2	4
m8x1.25 borgmoer		Gamma	2	0.6975	1.395
totale kosten					798.935

Tabel 26: Componentenlijst stromingsmeetsysteem

Stromingsmeetsysteem					
productnaam	artikelnummer	leverancier	aantal	kosten p.s.	kosten totaal
beugel niveaumeter	s1004	Meeuwse Trading	1	80	80
stromingssensor beugel achter	s1001	Meeuwse Trading	1	80	80

stromingssensor beugel voor	s1003	Meeuwse Trading	1	200	200
DBi3 Sensor		BAR Instruments	2	914.76	1829.52
MicroFlowi Sensor		BAR Instruments	2	2112.66	4225.32
m20 moer			4	5	20
m8 borgmoer		Gamma	2	0.6975	1.395
m8x30 DIN933		Gamma	2	2	4
m6 draadeind 700mm		Gamma	2	4.69	9.38
m6 sluitring		Gamma	4	n.v.t.	3.49
m6 borgmoer		Gamma	4	n.v.t.	2.69
m16x50			2	4	8
RVS Beugel dbi/Mfi		BAR Instruments	1	29.4	29.4
totale kosten					6493.195

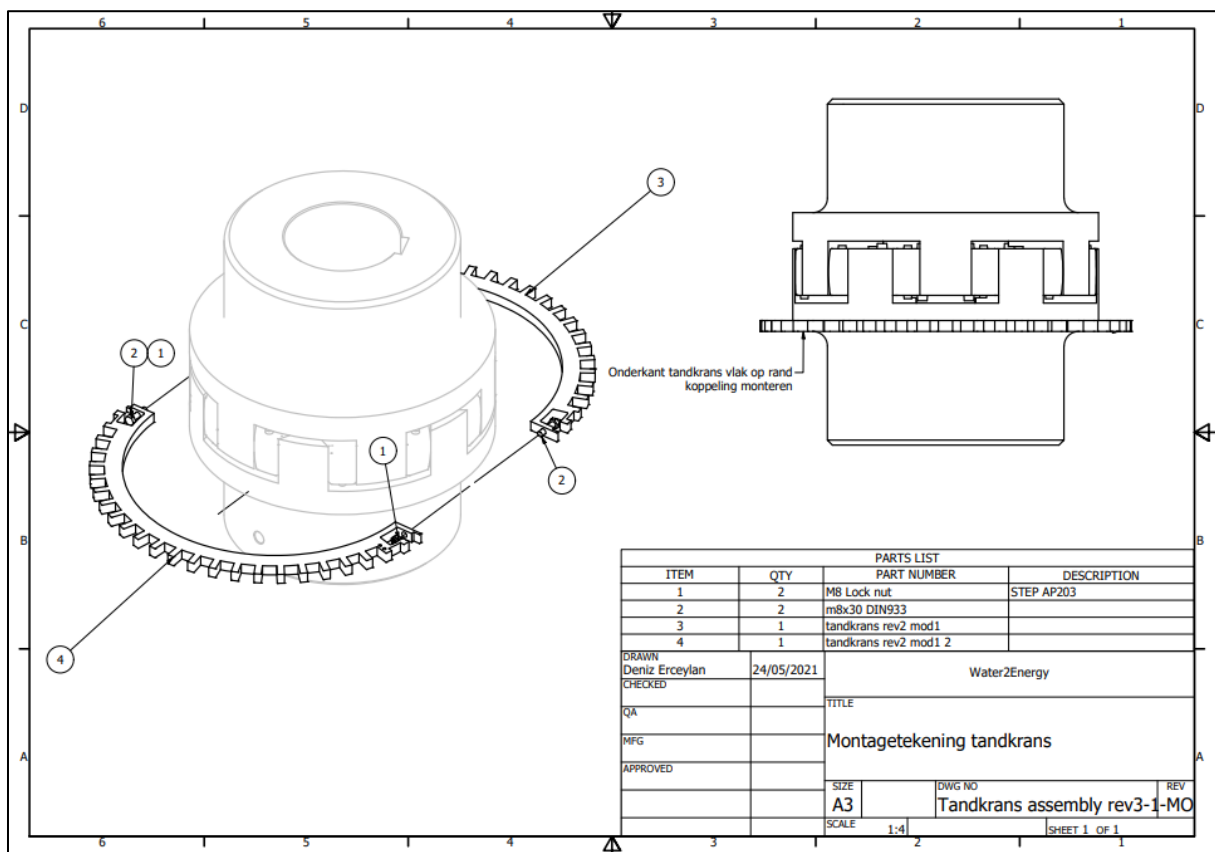
8.1.11 SUBSYSTEEM ASSEMBLAGE PLAN

Belastingsmeetsysteem

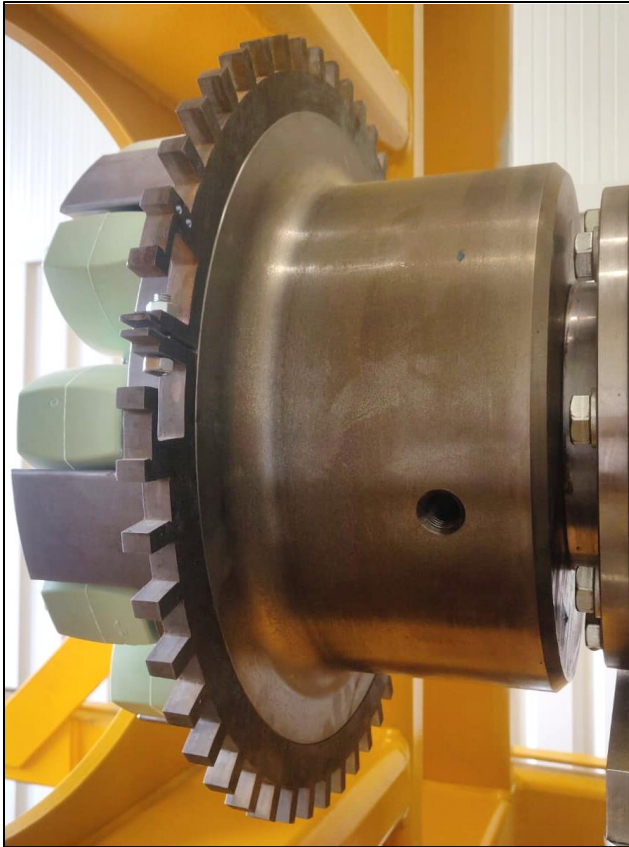
Aangezien het belastingsmeetsysteem door DB Asset Services geïnstalleerd is, is hier geen apart assemblageplan voor gemaakt.

Positiemeetsysteem

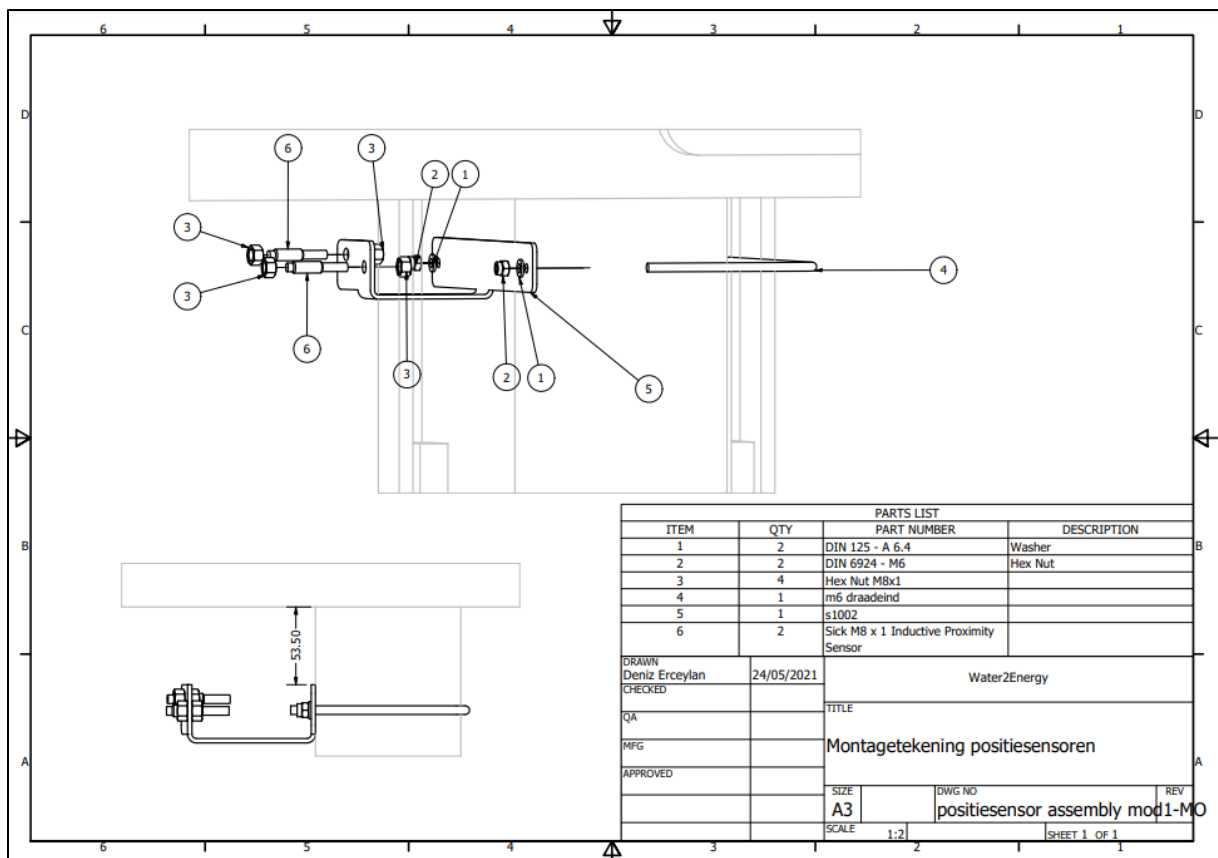
Zie figuur 87 voor de montagetekening van de tandwielkrans en figuur 88 voor het resultaat hiervan. Zie figuur 89 voor de montagetekening van de sensorbeugelbevestiging.



Figuur 87: Montagetekening van de tandkrans



Figuur 88: Eerste montagetest van de tandkrans op de koppeling

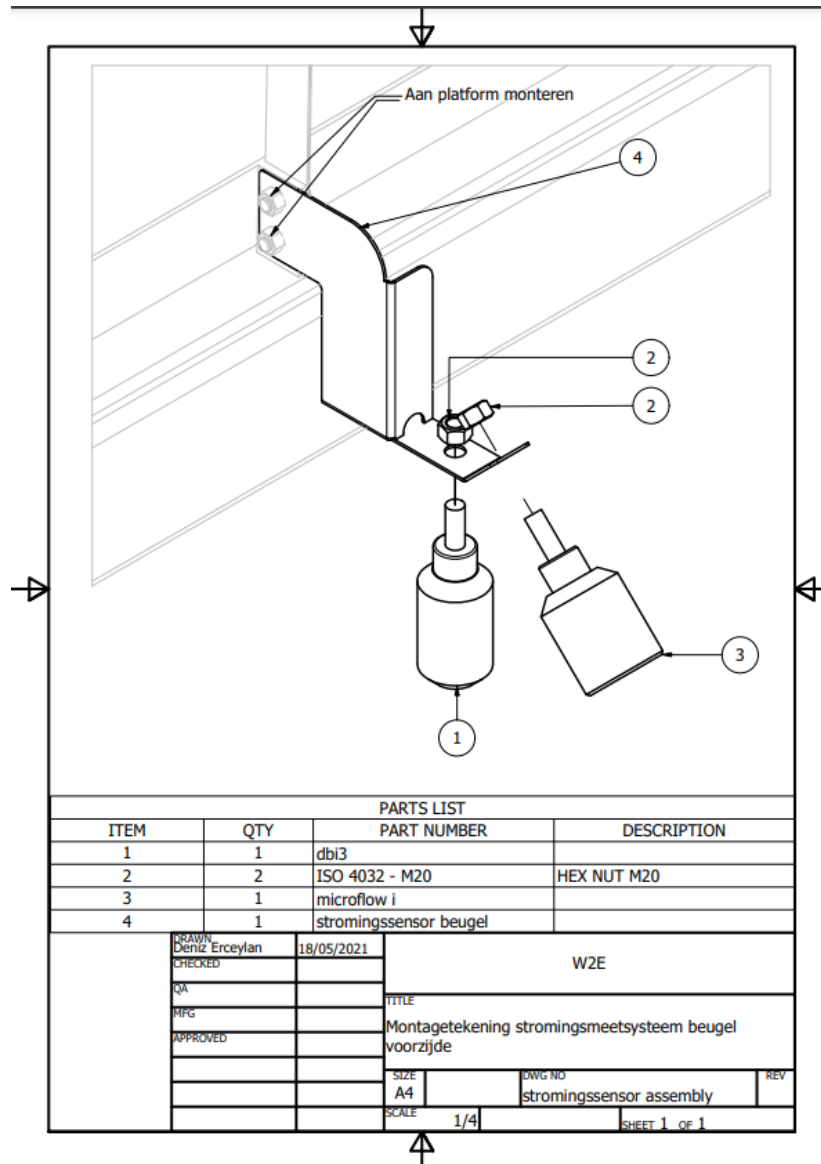


Figuur 89: Montagetekening voor de positiesensoren

Stromingsmeetsysteem

Kanaalzijde

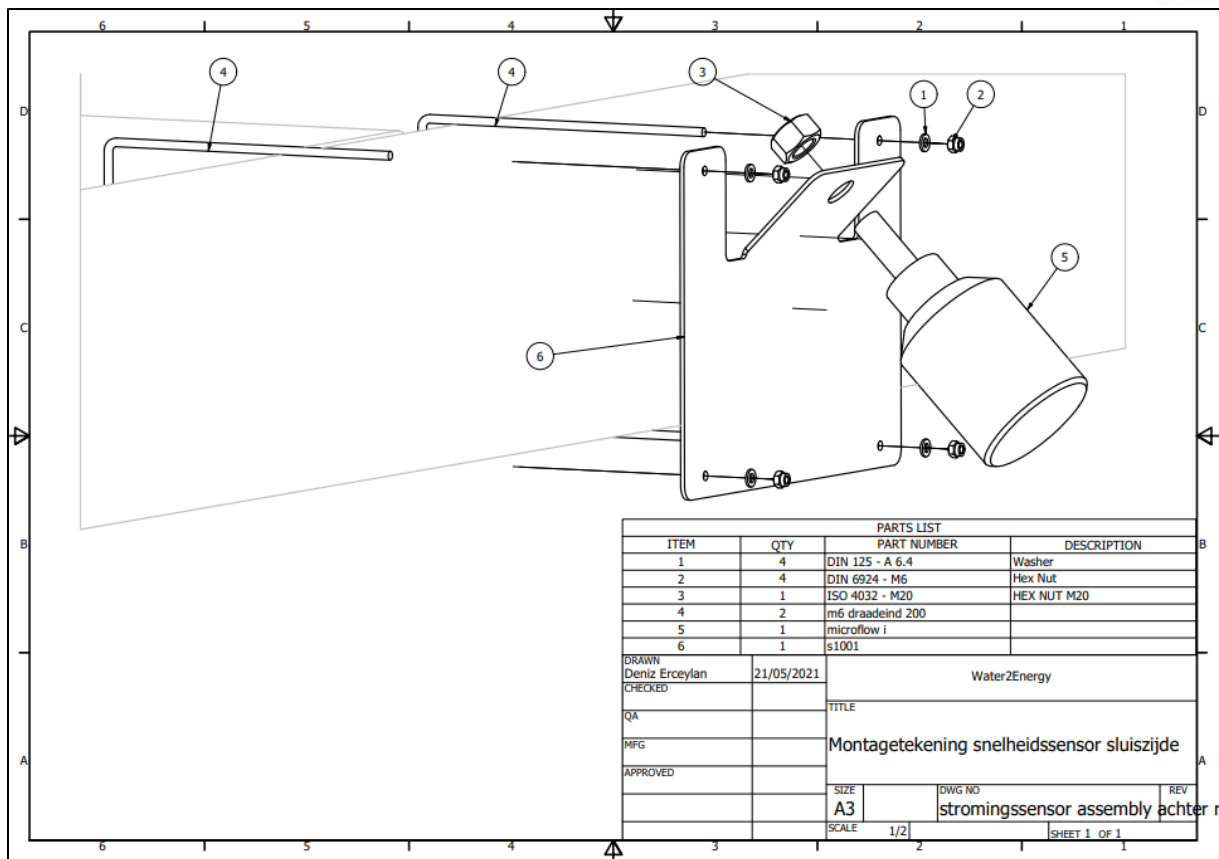
Zie figuur 90 voor de montagetekening van de snelheidssensor en niveausensor aan de montagebeugel.



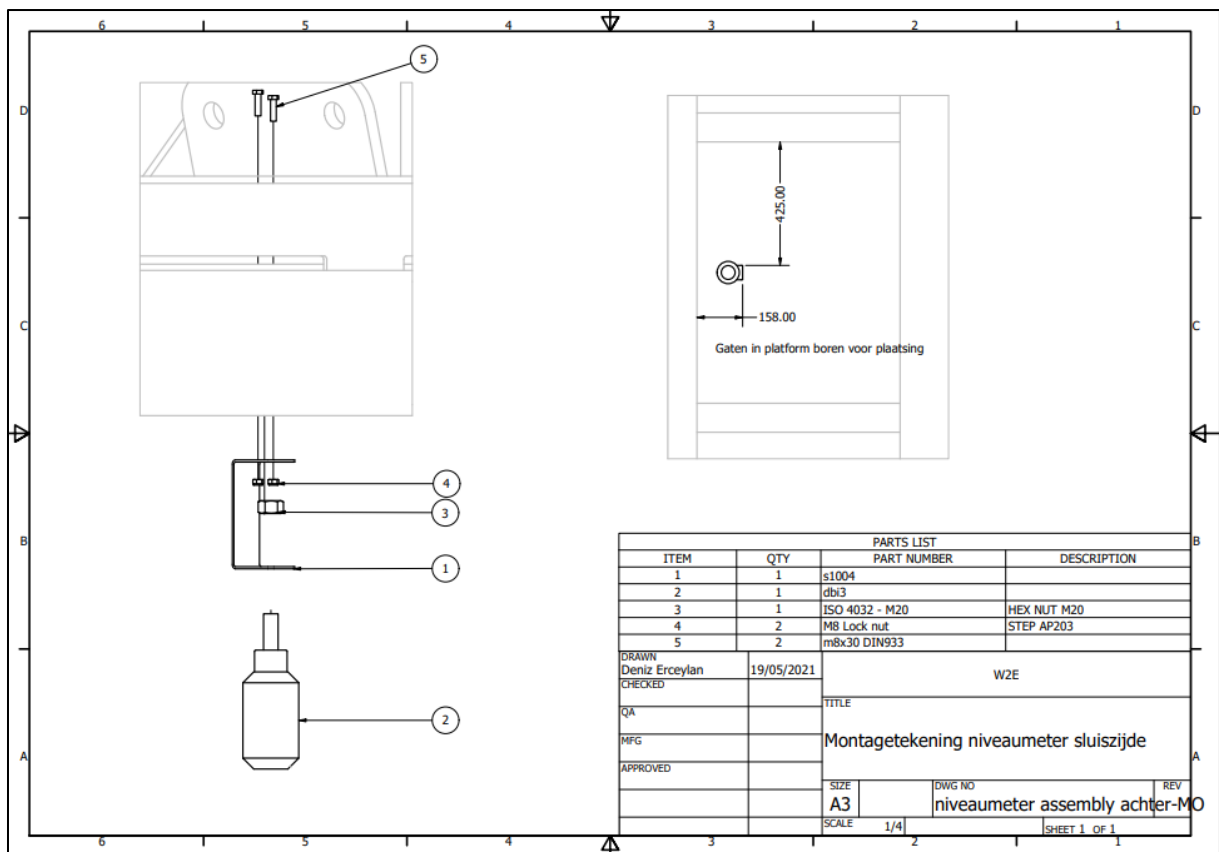
Figuur 90: Montagetekening voor de stromingssensoren aan de kanaalzijde

Sluiszijde

Zie figuur 91 voor de montagetekening van de snelheidssensor aan de bijbehorende montagebeugel.
Zie figuur 92 voor de montagetekening van de niveausensor aan de bijbehorende montagebeugel.



Figuur 91: Montagetekening voor de snelheidssensor aan de sluiszijde



Figuur 92: Montagetekening voor de niveausensor aan de sluiszijde

Verwerkingssysteem

Dit bestaat uit een Datatranslation datalogger en een mini pc. Deze zijn reeds aangesloten in de bekasting en zal niet aangepast worden. Om deze reden wordt hier geen nieuw assemblageplan voor gemaakt. Zie figuur 93 voor een foto van het geassembleerde verwerkingssysteem.

Zoals in de afbeelding te zien is zijn er galvanische scheiders aanwezig. Het is nog niet besloten of deze opnieuw gebruikt gaan worden omdat dit in overeenkomst met DB Asset Services eind juni of begin juli zal plaatsvinden bij het aansluiten van het Manner Telemetrysysteem. Wat wel opnieuw gebruikt zal worden is de toerentalbewaker, weergegeven in geel in de figuur 93. Dit is een module waarop de positiesensor voor het meten van het toerental aangesloten zal worden en die uit de puls tijd en een ingestelde configuratie het toerental van de tandkrans meet en omzet in een analoog 4-20 mA signaal. Dit signaal wordt over een weerstand van 50 Ohm geleid waardoor een voltage tussen 0.2 V en 1 V ontstaat die wordt aangeboden aan de Datatranslation module. Verder zal de voedingsmodule, het meest linkse blokje in figuur 93, hergebruikt worden voor het leveren van spanning aan de sensoren van de andere subsystemen



Figuur 93: Overzicht van het verwerkingssysteem waarbij A de galvanische scheiders zijn van het oude meetsysteem waar eventueel sensoren op aangesloten kunnen worden, B de Datatranslation datalogger waar alle datakanalen op aangesloten zijn en die verbonden zit aan de mini PC (C). Aan de PC zijn een muis, scherm en toetsenbord aangesloten.

Bekasting

Wegens tijdgebrek en de insignificante rol van dit subsysteem in het systeemontwerp is besloten het assemblageplan van de bekasting en de bijbehorende bevestigingsmaterialen aan het turbineplatform niet mee te nemen in dit rapport.

8.1.12 SUBSYSTEEM TESTEN

Resultaat verwerkingssysteem test

Doel

Het doel van deze test is het aantonen dat het verwerkingssysteem $\pm 10V$ kan ontvangen, verwerken en loggen.

Hypothese

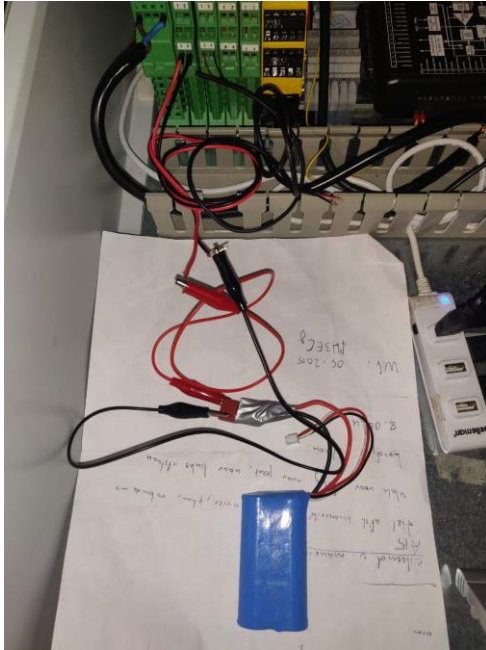
Als het verwerkingssysteem voltage ontvangt, verwerkt en opslaat dan functioneert het verwerkingssysteem correct.

Verwachte resultaten

Het verwachte resultaat is dat $\pm 10V$ signalen correct gemeten, ingesteld en gesampled kunnen worden en dat op deze waarden formules toegepast kunnen worden.

Resultaten

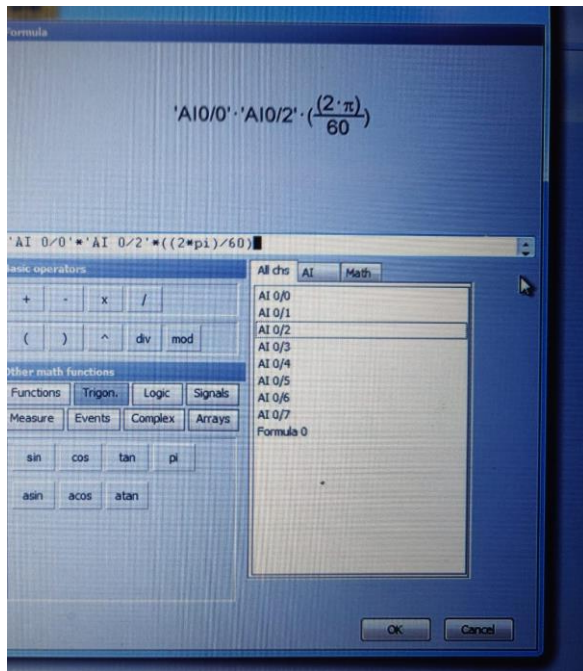
Alle kanalen zijn getest doormiddel van een accu met 2 cellen (zie figuur 94). Na het instellen van de kanalen zijn alle kanalen getest met de accu. Elk signaal ontvangt en meet het voltage correct. Voor het tweede deel van de test is naast de accu een 9V batterij aangesloten (zie figuur 95). waarna het kanaal is ingesteld waarbij 9V gelijkstaat aan 70rpm. De spanning uit deze batterij bedroeg 2V aangezien deze al verbruikt was. Vervolgens is de wiskundige formule ingesteld bestaande uit de twee kanalen (zie figuur 96). Deze formule is vervolgens in een grafiek weergegeven op het scherm (figuur 97) waarbij te zien is dat het vermogen 13W bedraagt. Dit klopt met de gemeten spanningsniveaus uit de accu en batterij. Tot slot is er 10 seconden gemeten. De data die hier uit voortkwam was correct.



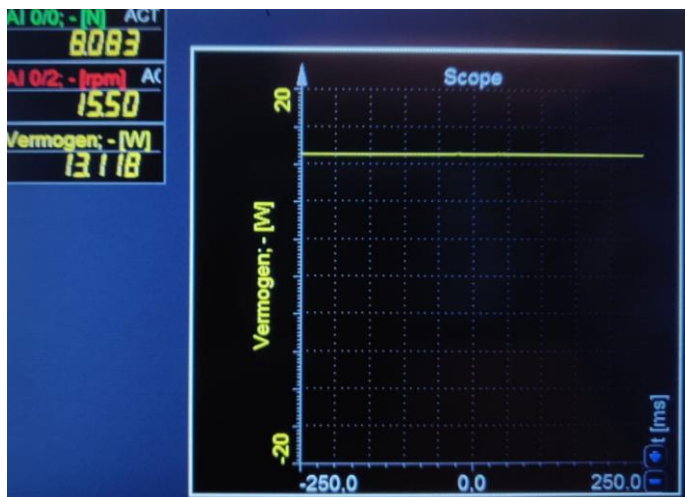
Figuur 94: Accu aangesloten op het eerste kanaal via een galvanische scheider.



Figuur 95: Twee kanalen aangesloten op respectievelijk een accu en een batterij



Figuur 96: Invoeren van de wiskundige formule voor het bepalen van vermogen uit de via de accu en batterij nagebootste koppel en toerental kanalen



Figuur 97: Beeldscherm met weergegeven meetwaarden en grafiek van de gemeten waarde voor vermogen

Conclusie

Zoals uit de resultaten gebleken is functioneert het verwerkingssysteem correct en kan het voltages meten, instellen, verwerken in formules en loggen.

Resultaat test rekstroken belastingsmeetsysteem voor F_r en doorbuiging verticale bladen

Doel

Het doel van deze test is het aantonen dat het belastingsmeetsysteem een aangebrachte radiale kracht correct kan meten doormiddel van de aangebrachte rekstroken.

Hypothese

Als het belastingsmeetsysteem de vervorming door aangebrachte belastingen op de verticale as waterturbine meet en de meetwaarde middels een analoog voltage dat evenredig is met de mate van de belasting doorgeeft dan functioneren de rekstroken van het ontwerp van het meetsysteem van de waterturbine correct.

Verwachte resultaten

Het verwachte resultaat van de test zijn meetwaarden voor F_r en doorbuiging die in verband staan met de grootte van de aangebracht belasting. De verwachting is dat een verdubbeling in belasting een verdubbeling in rek veroorzaakt. Hierdoor zou een lineair verband tussen belasting en de mate van rek bewezen worden waaruit de belasting afgeleid kan worden.

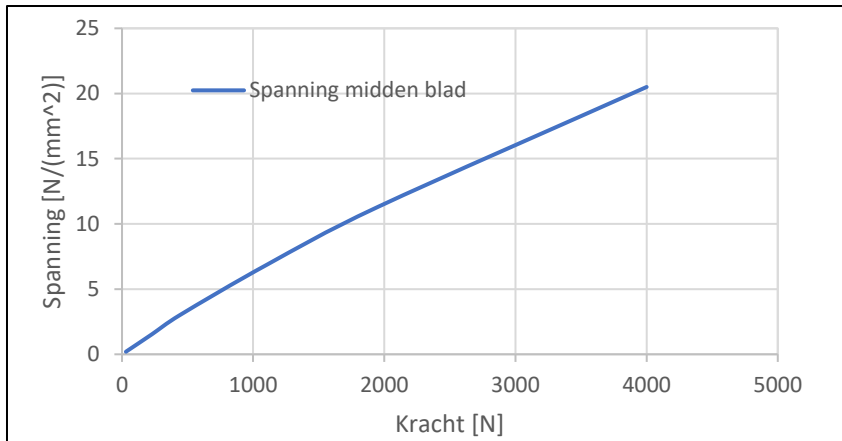
Resultaten

Zoals te zien is in de meetopstelling in figuur 98 zijn de spanbanden om de verticale bladen aangebracht en via een loadcell aan het gele frame van de turbine bevestigd.



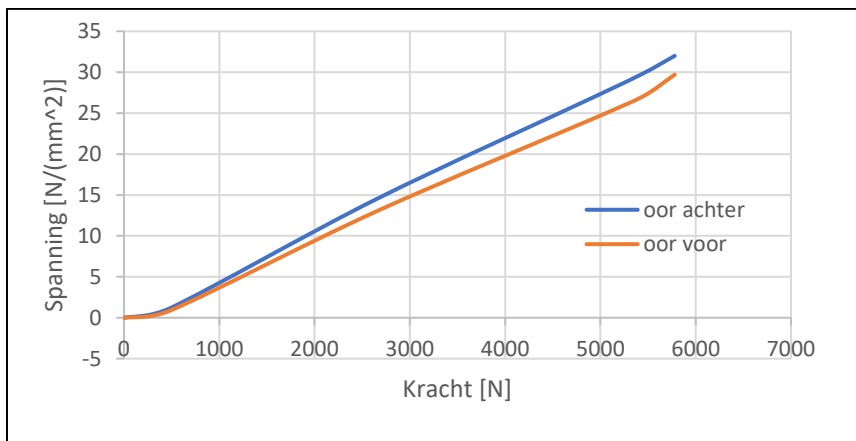
Figuur 98: Test opstelling voor de radiale belastingtest met spanbanden en loadcells

Uit de testresultaten van de rekstroken voor het meten van doorbuiging in het midden van het verticale blad kan de grafiek gemaakt worden zoals te zien is in figuur 99. Zoals uit de grafiek blijkt loopt de spanning gemeten door de rekstrook redelijk lineair op in relatie met de aangebrachte belasting zoals vooraf voorspeld is.



Figuur 99: Testresultaten van de rekstrook op het midden van het onderste verticale blad met de relatie tussen de gemeten spanning en de aangebrachte radiale kracht.

De testresultaten van de rekstroken op het oor zijn te zien in de grafiek in figuur 100. Zoals uit de grafiek blijkt loopt de spanning redelijk lineair op ten opzichte van de aangebrachte belasting. Er is wel een kleine afwijking te zien tussen de spanning aan de voor en achterzijde van het oor. Hier kunnen meerdere redenen voor zijn. Allereerst doordat de rekstroken niet exact in spiegelbeeld geplakt zijn aan beide zijden maar hier wellicht een paar mm verschil in zit waardoor er een afwijking kan ontstaan. Daarnaast is het niet uit te sluiten dat in de meetopstelling een kleine tangentiële kracht wordt uitgeoefend door spanbanden.



Figuur 100: Testresultaten van de radiaalkracht test met de meetwaarden van de gemeten spanning aan de voor- en achterzijde van het oor in relatie tot de aangebrachte belasting

Conclusie

Uit de resultaten kan geconcludeerd worden dat onder invloed van een radiale kracht op het verticale blad de spanning en rek die gemeten wordt door de rekstroken lineair oploopt in relatie tot de grootte van de aangebrachte belasting. Daarnaast blijkt uit de metingen op het oor dat een radiale belasting op de verticale bladen aan beide zijden van het oor leidt tot een bijna identiek verloop van de rek.

Resultaat test rekstroken belastingsmeetsysteem voor Koppel en Ft

Doel

Het doel van deze test is het aantonen dat het belastingsmeetsysteem een aangebrachte tangentiële kracht correct kan meten doormiddel van de rekstroken.

Hypothese

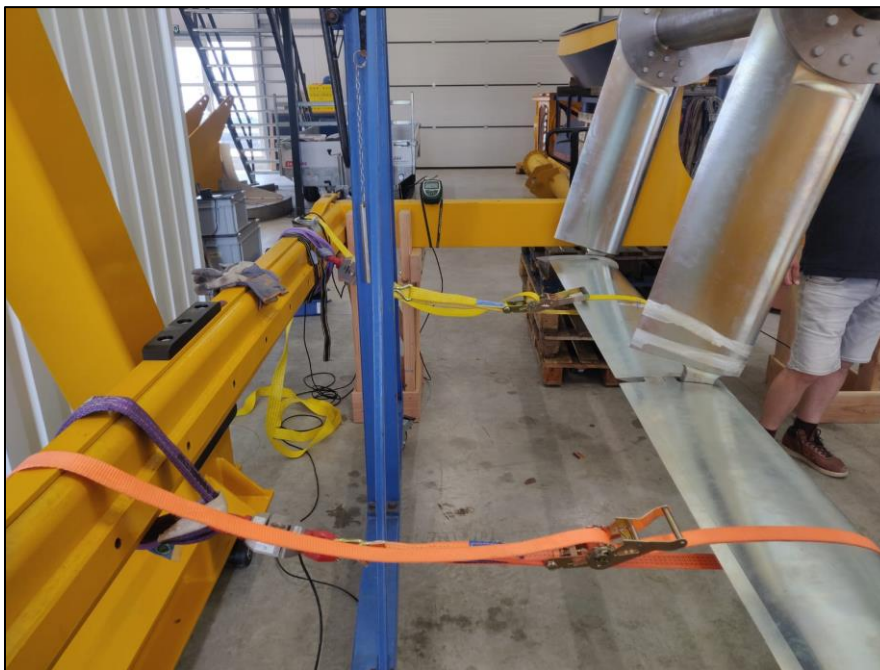
Als het belastingsmeetsysteem de vervorming door aangebrachte belastingen op de verticale as waterturbine meet en de meetwaarde middels een analoog voltage dat evenredig is met de mate van de belasting doorgeeft dan functioneren de rekstroken van het ontwerp van het meetsysteem van de waterturbine correct.

Verwachte resultaten

Het verwachte resultaat van de test zijn meetwaarden voor koppel en doorbuiging op het oor die in verband staan met de grootte van de aangebracht belasting. De verwachting is dat een verdubbeling in belasting een verdubbeling in rek veroorzaakt. Hierdoor zou een lineair verband tussen belasting en de mate van rek bewezen worden waaruit de belasting afgeleid kan worden.

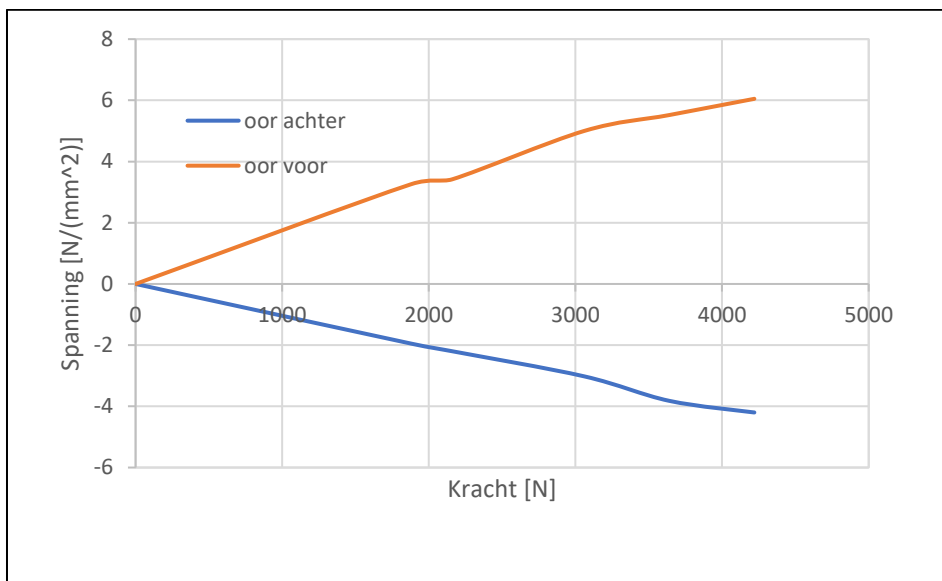
Resultaten

Zoals te zien is in de meetopstelling in figuur 101 zijn de spanbanden om de verticale bladen aangebracht en via een loadcell aan het gele turbineframe bevestigd. Bij de turbinekoppeling werd de turbine vastgezet met een houten balk om draaien te voorkomen.



Figuur 101: Test opstelling voor de tangentiële belastingtest met spanbanden en loadcells

De testresultaten van de meetwaarden van de rekstroken op het oor zijn in een grafiek verwerkt die te zien is in figuur 102. Uit de grafiek blijkt dat de spanning zowel aan de voor- als de achterzijde van het oor redelijk lineair verloopt ten opzichte van de aangebrachte belasting. Hierdoor zorgt een verdubbeling in de aangebrachte belasting voor een verdubbeling in spanning zoals verwacht werd.

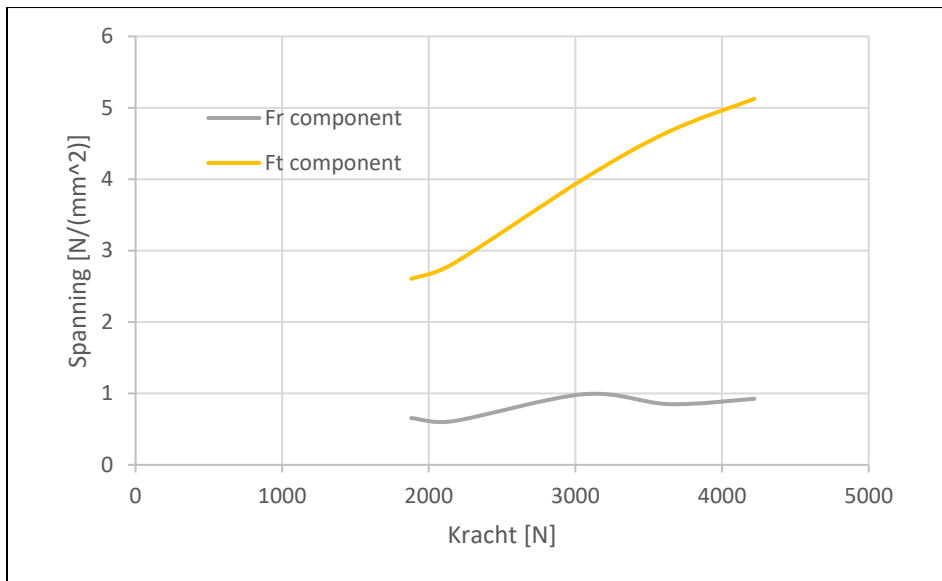


Figuur 102: Testresultaten van de tangentiële test met de meetwaarden van de gemeten spanning aan de voor- en achterzijde van het oor in relatie tot de aangebrachte belasting

Er is echter wel een verschil in grootte tussen de spanning aan voor en achterzijde. Dit is deels veroorzaakt doordat de rekstroken niet exact in spiegelbeeld geplakt zijn aan beide zijden maar hier wellicht een paar mm verschil in zit. Daarnaast is de meetopstelling niet nauwkeurig genoeg om een radiaalkracht uit te sluiten. Hierdoor kan een significant verschil ontstaan tussen de gemeten spanning in beide rekstroken. Wanneer van dit laatste uitgegaan wordt en verondersteld wordt dat er naast een tangentiële kracht een radiale kracht werkzaam is kan met de formules $F_t = ([\text{spanning voor}] - [\text{spanning achter}])/2$ en $F_r = ([\text{spanning voor}] + [\text{spanning achter}])/2$ elk van deze twee afzonderlijk bekerend worden. De resultaten hiervan zijn weergegeven in figuur 103.

Zoals te zien is het verband tussen de aangebrachte kracht en de spanning F_t redelijk lineair. Voor F_r is dit verband minder duidelijk. Indien de afwijking tussen de spanning in de voor en achterzijde van

het oor alleen veroorzaakt zou zijn door een radiaalkracht zou F_r ook lineair moeten oplopen tijdens het vergroten van de aangebrachte kracht.



Figuur 103: Uit de testresultaten berekende waarden van F_t en F_r in relatie tot de aangebrachte kracht

Conclusie

Uit de testresultaten kan geconcludeerd worden dat het aanbrengen van een tangentiële (en deels radiale) kracht op de verticale bladen zorgt voor een lineair verloop van de spanning en rek aan de voor en achterkant van het oor. Toch is er een afwijking tussen de voor en achterzijde die niet geheel in de lijn der verwachting ligt bij het aanbrengen van een tangentiële en radiale kracht. Hierdoor kan de uit de meting berekende tangentiële en radiale kracht uit de test slechts gebruikt worden ter benadering van de aangebrachte krachten en niet als nauwkeurige meetwaarden worden geïnterpreteerd.

Resultaat Positiemeetsysteem sensoren test

Doel

Het doel van deze test is het aantonen dat de inductiesensoren een puls geven wanneer een metaal object in het meetbereik komt.

Hypothese

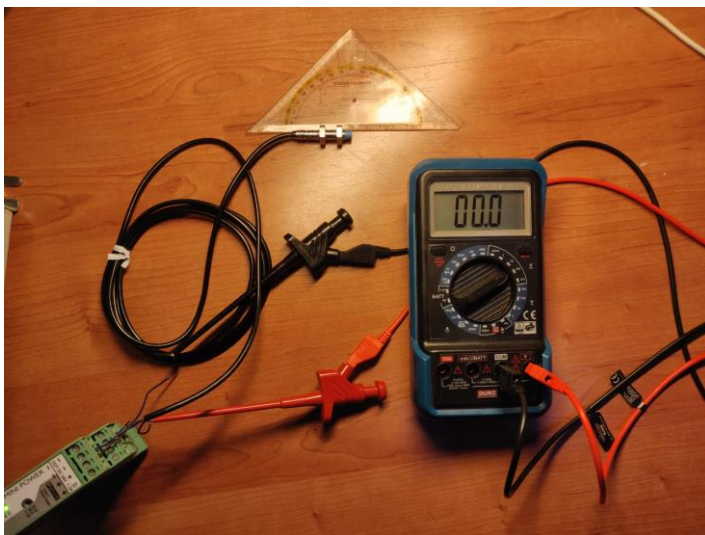
Als het positiemeetsysteem een hoog voltage signaal afgeeft wanneer een metaal object in het sensorgebied komt dan functioneert het ontwerp van het positiemeetsysteem van de waterturbine correct.

Verwachte resultaten

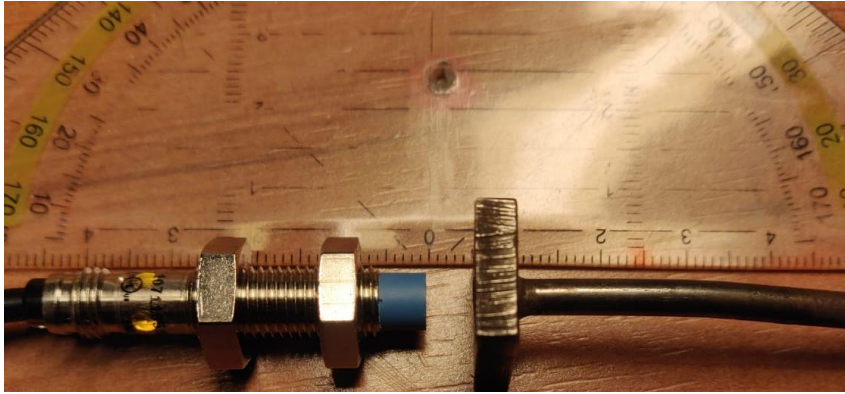
Het verwachte resultaat van de test is een hoog signaal binnen 6 mm van de sensor en dat dit voltage gelijk blijft voor alle afstanden binnen het detectiegebied.

Resultaten

De meetopstelling is te zien in figuur 104. Op de sensor is een indicatielampje dat gaat branden wanneer de sensor metaal detecteert. Uit testen blijkt dat bij een ijzeren voorwerp de sensor detecteert vanaf 5 mm (figuur 105). Wanneer dit voorwerp naar de zijkant wordt verschoven wordt het echter niet meer gedetecteerd wanneer het nog maar enkele millimeter binnen de sensordiameter ligt. Indien de afstand tussen het voorwerp en de sensor wordt verkleind tot 3 mm detecteert de sensor het voorwerp gelijk wanneer het binnen de diameter van de sensor komt. Het voltage springt tijdens het detecteren van 0 naar 23.2 V Dit voltage bleef gelijk in het gehele detectieveld.



Figuur 104: Meetopstelling voor de sensortest van het positiemeetsysteem



Figuur 105: Detectie bij 5 mm (het lampje op de sensor brandt)

Conclusie

Zoals uit de resultaten blijkt is er een afwijking van 1 mm tussen de verwachte meetafstand en de gemeten meetafstand. De verwachting dat het voltage tijdens het detecteren gelijk blijft is wel geverifieerd. De sensoren zullen genoeg detectieafstand hebben voor het positiemeetsysteem. 5 mm is meer dan genoeg. In realiteit zal deze afstand kleiner ingesteld worden.

Resultaat Positiemeetsysteem test

Doel

Het doel van deze test is het aantonen dat het positiemeetsysteem pulsen geeft wanneer de nabijheidssensoren langs een meetpunt komen.

Hypothese

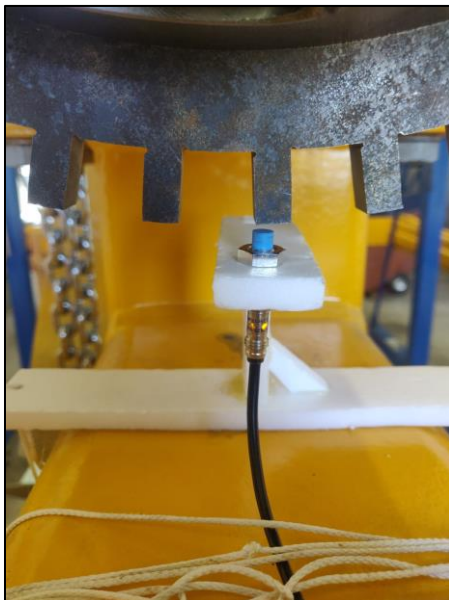
Als het positiemeetsysteem een hoog voltage signaal afgeeft wanneer een meetpunt in het sensorgebied komt dan functioneert het ontwerp van het positiemeetsysteem van de waterturbine correct.

Verwachte resultaten

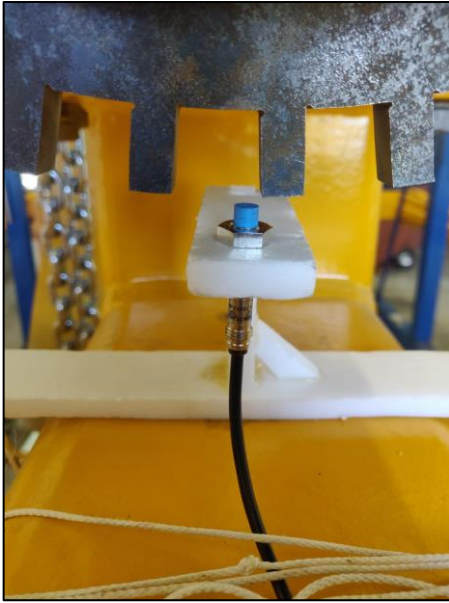
Het verwachte resultaat van de test is een hoog signaal op de meetpunten en een laag signaal ertussen.

Resultaten

De sensoren zijn getest met de opstelling die in figuur 106 te zien is. Op het moment dat een tand langs de sensor komt wordt een voltage van 11.69 V afgegeven. Dit is de voedingsspanning die is aangebracht op de sensor. Wanneer de tanden verder draaien en de sensor zich in het gebied zonder tand bevindt, zoals weergegeven in figuur 107, is het signaal laag en het voltage 0.2 V.



Figuur 106: Positiesensor gemonteerd op een beugel gemaakt uit foam waarbij deze geactiveerd is doordat de tand in het meetgebied is. (lampje brandt)



Figuur 107: Positiemeetsensor in gedeactiveerde toestand (geen brandend lampje)

Conclusie

Zoals uit de resultaten gebleken is functioneren de positiemeetsensoren correct. De tanden worden gedetecteerd en de tussenruimtes niet.

Resultaat Positiemeetsysteem test i.c.m. verwerkingssysteem

Doel

Het doel van deze test is het aantonen dat het positiemeetsysteem pulsen geeft aan het verwerkingssysteem en dat deze hieruit het toerental en de positie van het blad kan bepalen.

Hypothese

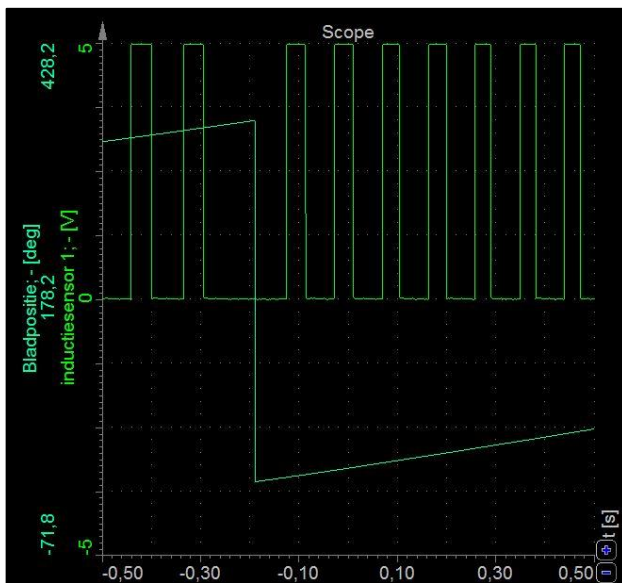
Als de positiesensor voor bladpositie een hoog signaal afgeeft zal de bladpositie met 7.2 graden toenemen en bij de missende tand opnieuw starten met tellen vanaf 0 graden. Als de positiesensor voor het toerental een hoog signaal afgeeft aan de toerentalbewaker dan zal deze een analoog signaal tussen 0.2 en 1 V doorsturen naar het verwerkingssysteem wat in verhouding staat tot het toerental.

Verwachte resultaten

Het verwachte resultaat van de test is dat de bladpositie op het scherm zal toenemen nadat de startpositie is waargenomen. Hierbij zal tussen elke puls 7.2 graden worden opgeteld. Bij de toerenteller is de verwachting dat zodra de turbine begint te draaien het toerental op het scherm de draaisnelheid zal weergeven.

Resultaten

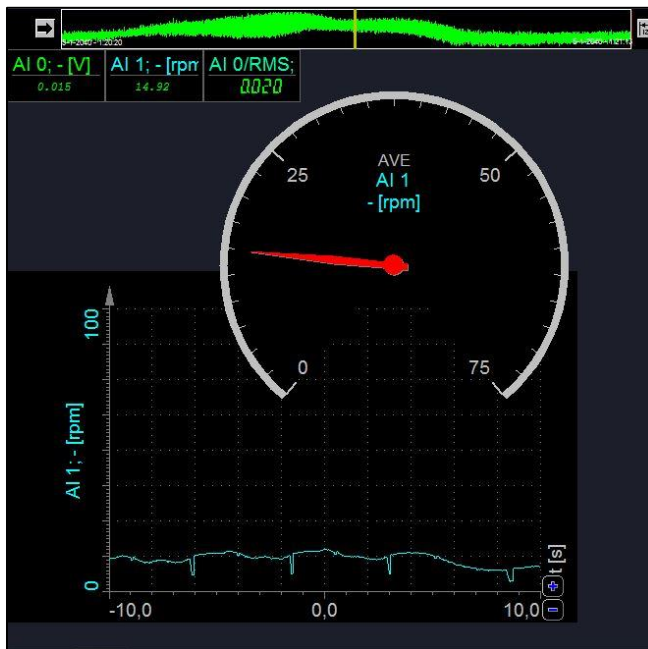
Zoals verwacht werd de startpositie herkend en vervolgens gestart met het tellen van de bladpositie vanaf 0 graden. Deze nam tussen elke puls met 7.2 graden toe totdat de missende tand, het gebied met de missende puls weergegeven in figuur 108, gedetecteerd werd waarna weer vanaf 0 graden begonnen werd.



Figuur 108: Grafiek met pulsen van de inductiesensor (groen) en de hierdoor toenemende bladpositie (blauw)

De test met de toerenteller verliep ook als verwacht. De hoogste draaisnelheid die bereikt is tijdens de test is ongeveer 15 rpm zoals uit figuur 109 blijkt. Uit de grafiek is daarnaast te zien dat de missende tand wordt mee gemeten. Dit komt doordat de sensor niet precies op de goede hoogte was afgesteld maar dat zal in het vervolg wel plaatsvinden waardoor deze niet meer wordt

waargenomen door de sensor.



Figuur 109: Toerenteller met wijzer en grafiek met het toerental gemeten over 20 seconden (blauw) waarbij de afwijkende pieken veroorzaakt zijn door de missende tand

Conclusie

Zoals uit de resultaten gebleken is worden de pulsen uit de positiesensoren correct omgezet naar bladpositie en toerental. Wel blijkt dat de toerentalsensor op de correcte hoogte afgesteld moet worden voor een nauwkeurige meting van de draaisnelheid.

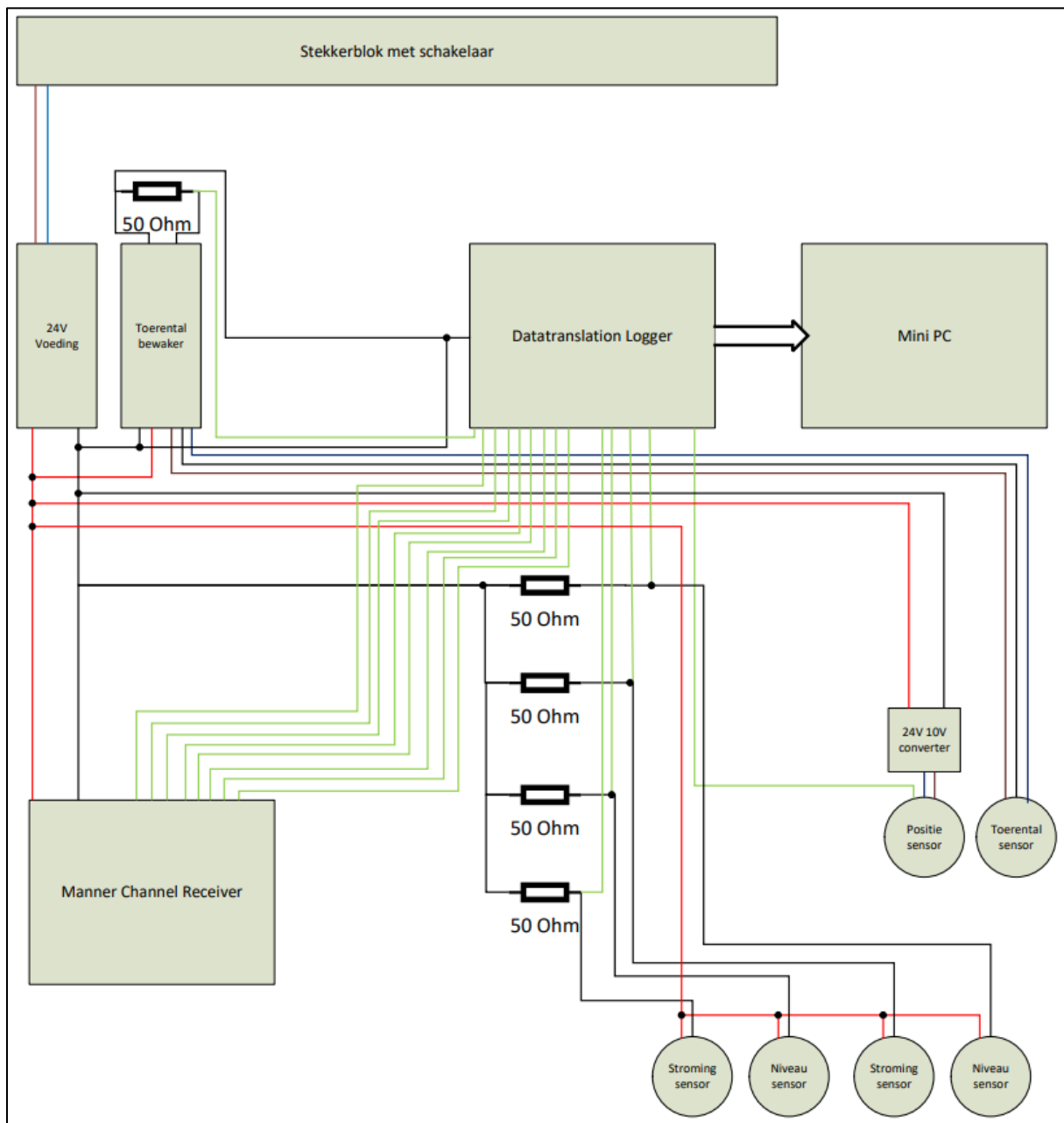
Resultaat test stromingsmeetsysteem

Wegens de lange levertijd van de stromingssensoren was het niet mogelijk dit subsysteem te testen voor het opstellen van dit rapport.

8.1.13 SYSTEEM ASSEMBLAGE PLAN

Aansluitschema

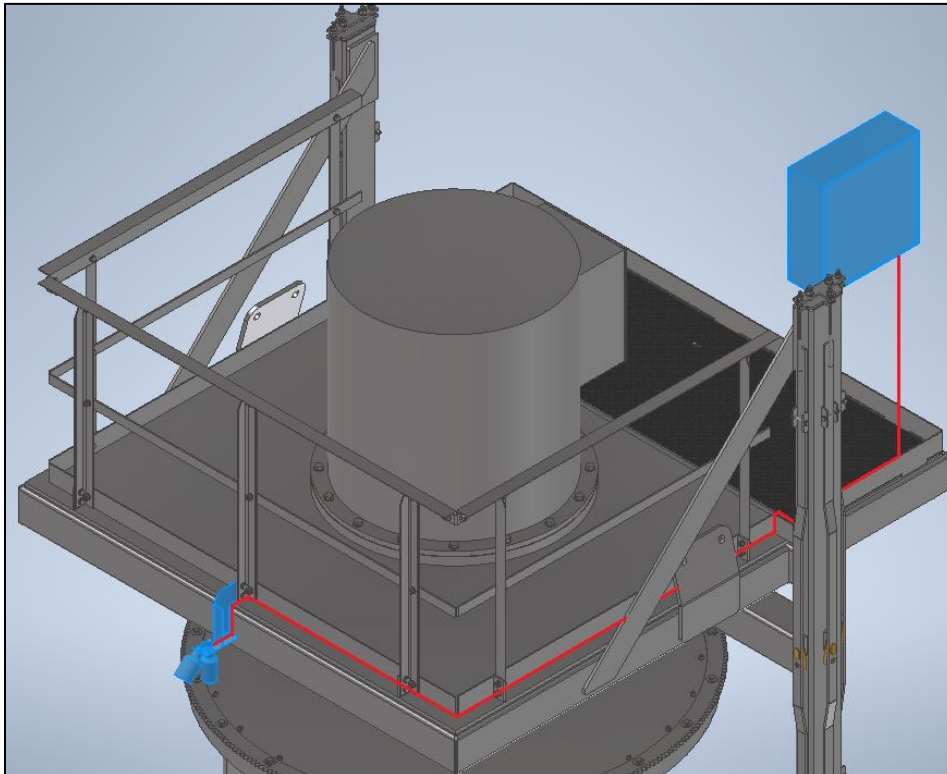
Om de subsystemen samen te voegen tot een compleet systeem zullen de subsystemen aangesloten moeten worden op het verwerkingssysteem en de voedingspanning in de bekasting. Om duidelijk te maken hoe de bedrading bevestigd moet worden is een stroomschema getekend dat te zien is in figuur 110.



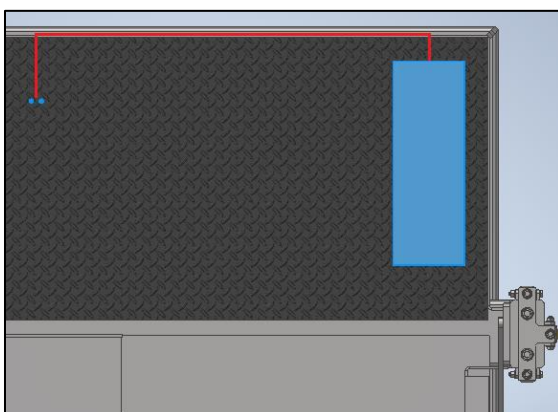
Figuur 110: Stroomschema van het meetsysteem

Kabelroutes

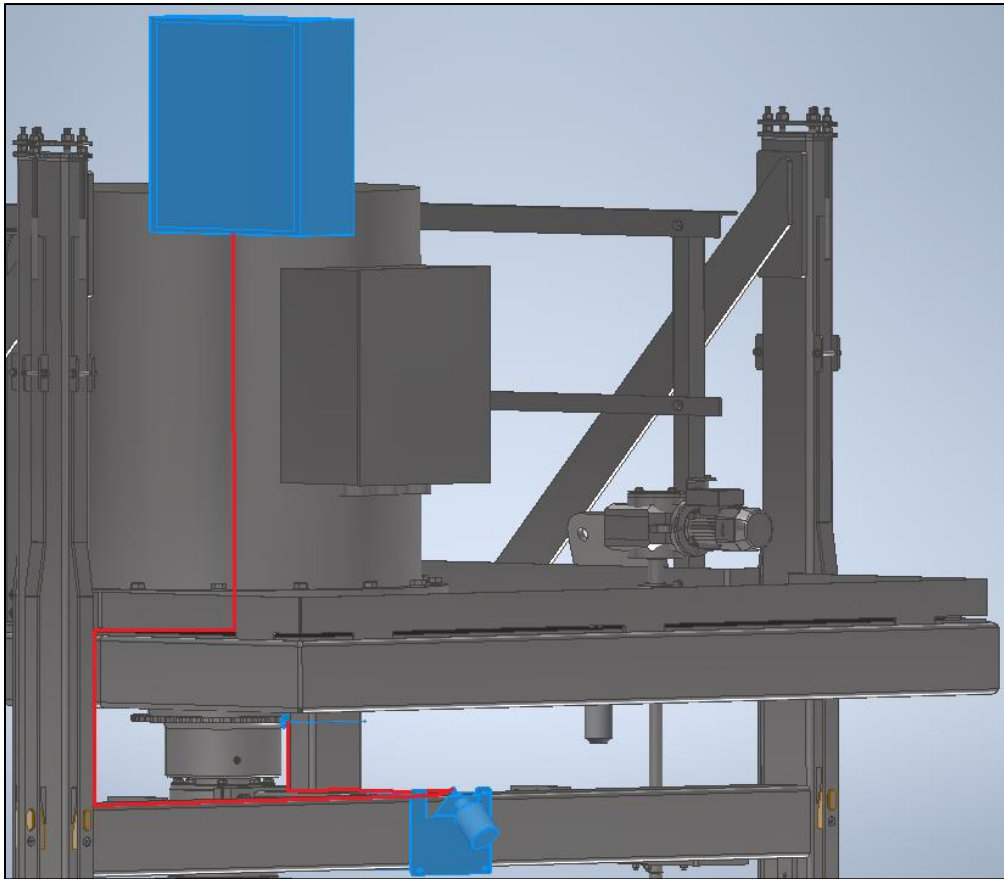
Naast het aansluiten van de bekabeling in de meetkast moet de bekabeling tussen de sensoren en de meetkast op een geordende manier bevestigd worden aan de turbineconstructie zodat deze zo min mogelijk een obstakel vormen. In figuur 111, 112 en 113 zijn de beoogde kabel routes te zien tussen de sensoren van de subsystemen en de bekasting. De bekabeling zal aan de kokers, relingen e.d. bevestigd worden doormiddel van kabelbinders en slangenklemmen.



Figuur 111: Kabelroute (rood) tussen de sensoren aan de kanaalzijde van het stromingsmeetsysteem en de bekasting



Figuur 112: Kabelroute (rood) tussen de niveausensor aan de sluiszijde van het stromingsmeetsysteem en de bekasting (bovenaanzicht)



Figuur 113: Kabelroute tussen stromingssensor aan de sluiszijde en de bekasting en tussen de positiemeetsensoren en de bekasting, ook de bekabeling van het belastingsmeetsysteem zal langs deze route lopen

Instellen software

Nadat alle subsystemen zijn aangesloten aan het verwerkingssysteem moet de software ingesteld worden voor het ontvangen, weergeven en loggen van $\pm 10V$ signalen.

Voor het instellen van de kanalen voor het belastingsmeetsysteem en het stromingssysteem moeten de juiste kanalen geactiveerd worden en weergegeven worden op het beeldscherm. Daarnaast moet het voltage signaal weergegeven worden als de grootte die gemeten wordt. Dit moet vervolgens als grafiek getoond worden op het scherm.

Voor het positiemeetsysteem moet gebruik gemaakt worden van de optie 'angle sensor' voor de bladpositiesensor. Deze moet ingesteld worden op tandwiel met missende tand. Aangezien de tandkrans 50 tanden telt zal deze ingesteld moeten worden op 50-1 tanden. Om de bladpositie hiermee duidelijk weer te geven op het scherm kan het best gekozen worden een meetklok te gebruiken die van 0 tot 360 graden loopt en waarbij 0 en 360 graden op het zelfde punt vallen op de meter. Voor het toerentalsignaal kan gebruik worden gemaakt van een standaard $\pm 10V$ instelling zoals bij het belastingsmeetsysteem en het stromingssysteem.

De kanalen die bestaan uit wiskundige formules voor vermogen, tangentele kracht, radiaalkracht, debiet etc. die verder ingevuld moeten worden moeten als grafiek weergegeven worden om een duidelijk verloop van de grafiek te kunnen zien over periodes van seconden tot uren en zelfs dagen.

Zie voor uitgebreide uitleg over het instellen van DEWESoft 7 de tutorials en downloads van DEWESoft (<https://download.dewesoft.com/>).

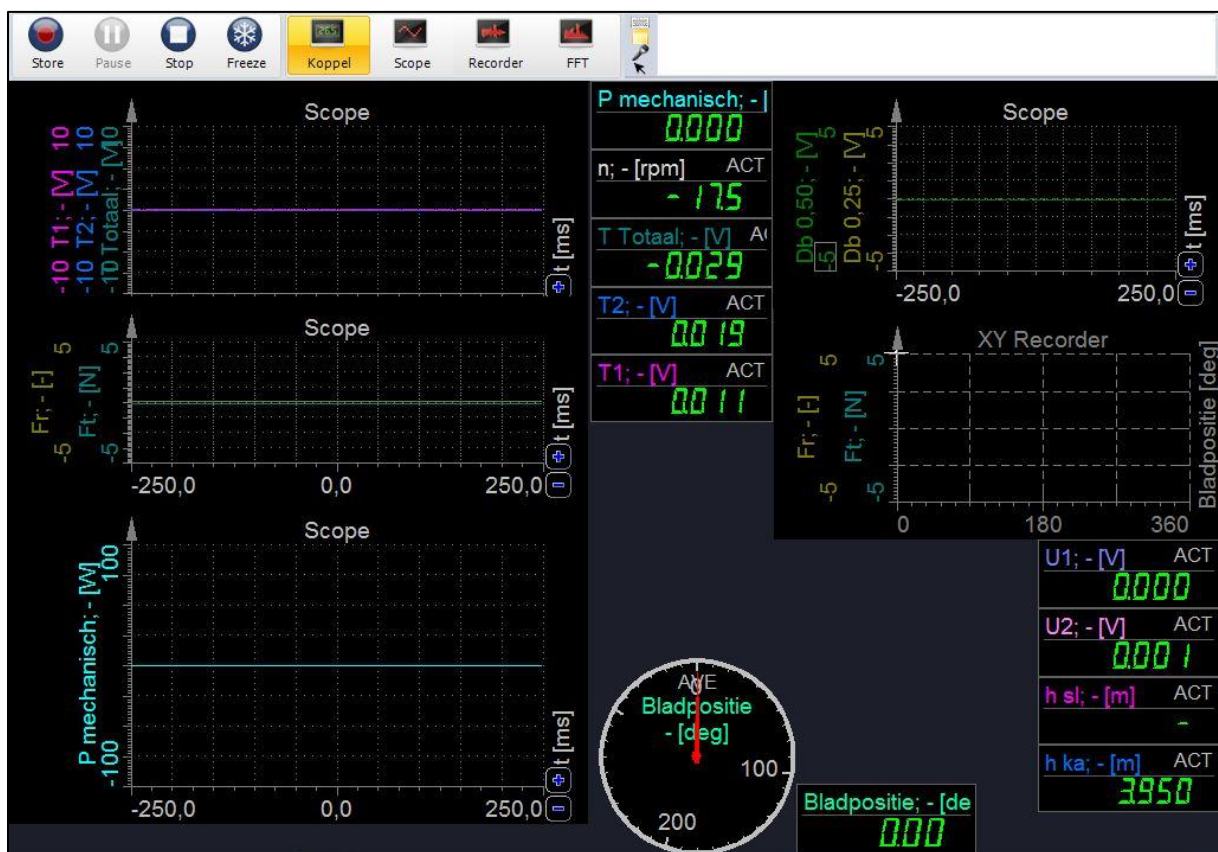
8.1.14 GEASSEMBLEERD SYSTEEM

Wegens uitloop van het project is het complete systeem niet geassembleerd tijdens de afstudeerperiode. Wel is een opzet in DEWESoft gemaakt van de layout van het meetscherm zoals te zien is in figuur 114.

Hierin zijn in de grafiek linksboven de koppelmeetwaarden te zien op de centrale as (T1, T2 en T Totaal). In de grafiek daaronder zijn de tangentiële en de radiale kracht weergegeven (Ft en Fr). Daaronder is de grafiek met mechanische vermogen (P mechanisch). Naast deze grafiek is een meter te zien met daarin de bladpositie van 0 tot 360 graden.

In de grafiek rechtsboven is de doorbuiging weergegeven in het midden van het onderste verticale blad (Db 0,50) en op een kwart van dit blad (Db 0,25).

Daaronder is een grafiek gemaakt van de tangentiële en de radiale kracht ten opzichte van de bladpositie. Verder staan er in het midden van het scherm en rechtsonder digitale meters waarin de meetwaarden exact afgelezen kunnen worden.



Figuur 114: Lay-out in DEWESoft 7 voor het weergeven van de meetwaarden op het beeldscherm

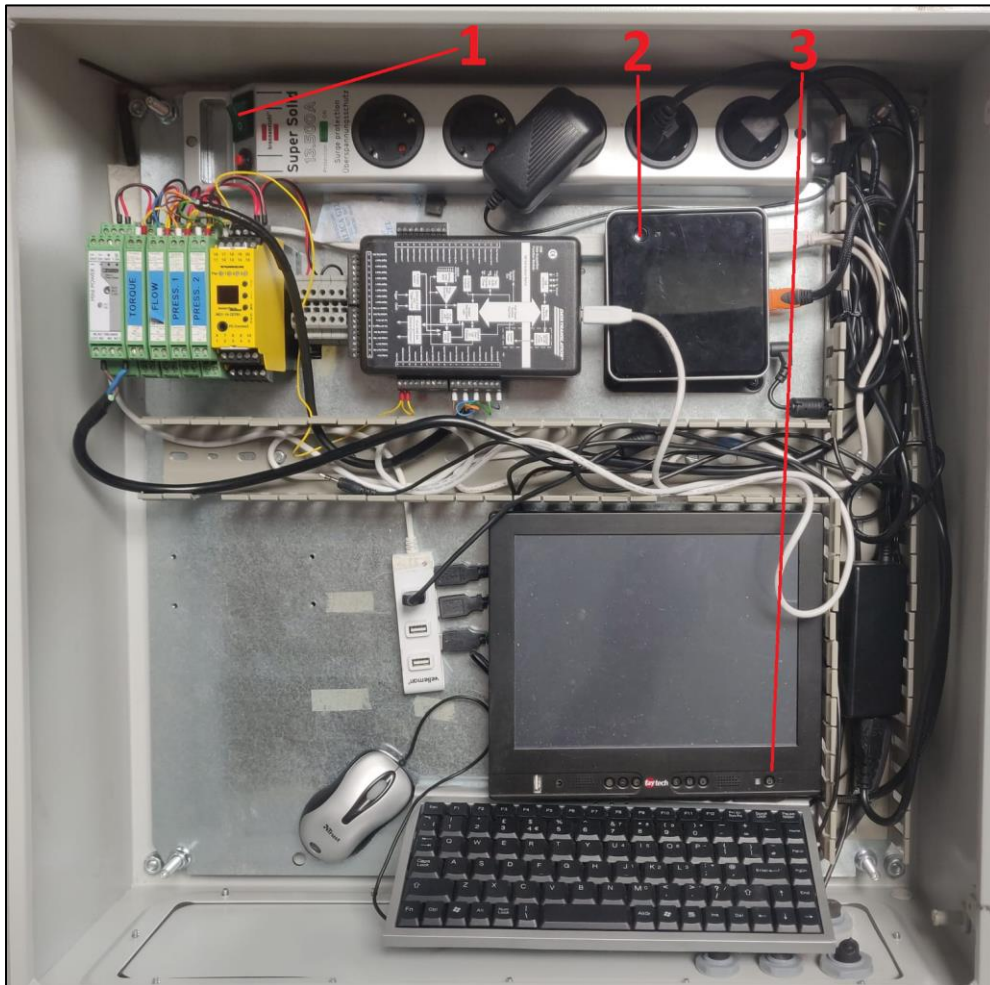
8.1.15 SYSTEEM TESTEN

Wegens uitloop van het project is het complete systeem niet getest tijdens de afstudeerperiode.

8.1.16 INBEDRIJFSTELLINGSPLAN

Om een meting uit te voeren moeten de volgende stappen uitgevoerd worden.

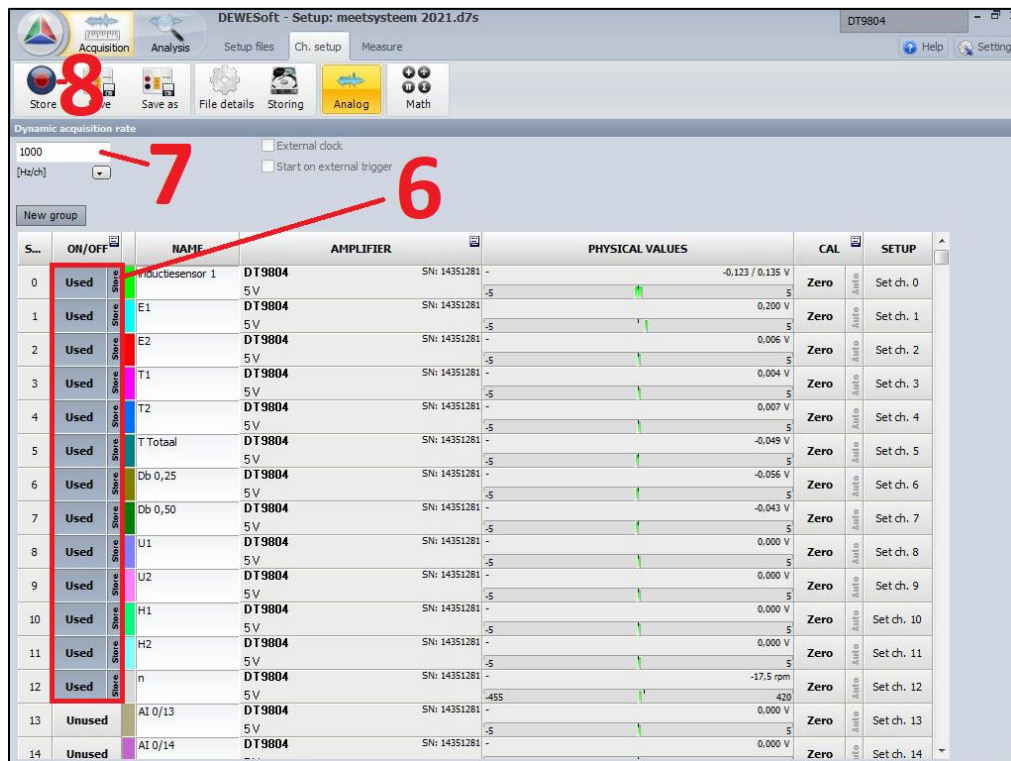
1. Zet de schakelaar van de stekkerdoos op aan (figuur 115).
2. Druk op de startknop van de mini-PC(figuur 115).
3. Druk op de startknop van het beeldscherm (figuur 115).



Figuur 115: Opstartprocedure meetapparatuur

4. Zoek op het bureaublad naar DEWESoft 7 en start dit programma op.
5. DEWESoft vraagt vervolgens welke configuratie ingesteld dient te worden. Kies meetsysteem 2021.
6. Manoeuvreer naar het tabblad "Ch. Setup" en controleer of alle kanalen die gemeten dienen te worden op "Used" staan (figuur 116).

7. Stel de gewenste samplefrequentie in (figuur 116).
8. Om te starten met meten druk op "Store" (figuur 116). Nu wordt een pop-up getoond met de vraag onder welke naam de meting opgeslagen dient te worden. Vul hier een duidelijke naam in zodat deze later gemakkelijk terug gevonden kan worden. Druk vervolgens op Ok.
9. Klik om te stoppen met meten wederom op "Store" of op de stop knop op het "Measure" tabblad.



Figuur 116: Instelprocedure kanalen en samplefrequentie

8.2 KOSTENOVERZICHT

Wegens uitloop van het project is het complete systeem niet geassembleerd tijdens de afstudeerperiode. Hierdoor is het kostenoverzicht, dat te zien is in tabel 27, alleen geldig voor de kosten tot en met de subsysteemintegratiefase waardoor onvoorziene kosten die wellicht tijdens de systeemintegratie zouden opspelen hierin niet zijn meegenomen.

Tabel 27: Kostenoverzicht van de subsysteemcomponenten

productnaam	artikelnummer	leverancier	aantal	kosten p.s.	kosten totaal
beugel niveaumeter	s1004	Meeuwse Trading	1	80	80
DBi3 Sensor		BAR Instruments	2	914.76	1829.52
m16x50 bout		INDI	2	4	8
m20 moer		INDI	4	5	20
m6 borgmoer		Gamma	6		2.69
m6 draadeind 350mm		Gamma	2		4.69
m6 draadeind 700mm		Gamma	2	4.69	9.38
m6 sluitring		Gamma	6		3.49
m8 borgmoer		Gamma	2	0.6975	80
m8 x1.25 borgmoer		Gamma	4	0.6975	2.79
m8x1 moer		Gamma	4	0.44875	1.795
m8x30 DIN933 bout		Gamma	4	2	8
MicroFlowi Sensor		BAR Instruments	2	2112.66	4225.32
RVS Beugel dbi/Mfi		BAR Instruments	1	29.4	29.4
Sick M8 x 1 Inductive Proximity Sensor	184-6329	RS Components	2	64.74	129.48
stromingssensor beugel achter	s1001	Meeuwse Trading	1	80	4
stromingssensor beugel voor	s1003	Meeuwse Trading	1	200	9.38
tandkrans		Meeuwse Trading	2	225	450
Toerentalsensor plaat	s1002	Meeuwse Trading	1	200	200
Voorbereiding op aandrijfvas		DB Asset Services	1	1565	1565
Voorbereidingen op blad en scharnier		DB Asset Services	1	2741	2741
Instellen meetapparatuur		DB Asset Services	1	1720	1720
Installeren op locatie		DB Asset Services	1	2350	2350
Hardware en meetbegeleiding		DB Asset Services	1	28650	28650
Analyse en rapportage		DB Asset Services	1	760	760
TOTAAL					44883.94