



ECONOWIND

TECHNASIUM MEESTERPROEF 2020-2021
VARENDE TEST-OPSTELLING

Adviesrapport

Hoe kan ervoor gezorgd worden dat eConowind een geschikt testschip krijgt voor zijn prototype windvoortstuwingssystemen?



csb
Bogerman

Leeuwarder
Lyceum 

Waling Brunner

Durk Willem Dijkstra

Martijn Stienstra

Gosse Visser

Jasper van der Wurf

eConowind varende test-opstelling

Adviesrapport

Auteurs:

Waling Brunner, Gosse Visser, Jasper van der Wurf

5Havo Technasium, Leeuwarder Lyceum

Durk Willem Dijkstra, Martijn Stienstra

5havo Technasium, CSG Bogerman

Opdrachtgever:

Sanne Zwaan, eConowind

Expertbegeleider:

Welmoed van der Velde, NHL Stenden & MIWB

Docenten en begeleiders:

Mw. Offringa, dhr. Hamburger, dhr. van der Lek, dhr. Goudberg, dhr. Bakker

Leeuwarder Lyceum

Mw. van Bommel, dhr. Strijker, dhr. Meier

CSG Bogerman

2020-2021

Samenvatting

In het laatste jaar van onze middelbare school moeten wij voor het vak O&O een groot project uitvoeren voor een bedrijf, waar we een probleem onderzoeken en een oplossing ontwerpen. Wij zijn vijf jongens die veel interesse hebben in de maritieme sector en wel van een uitdaging houden. Wij hebben daarom contact gezocht met het MIWB op Terschelling. Via daar zijn we in contact gekomen met het bedrijf eConowind, die met diverse windvoortstuwingsystemen de uitstoot op grote schepen wil verminderen. Zij zijn een relatief jong bedrijf en moeten nog veel onderzoeken om hun systemen te optimaliseren. Daarom hebben ze ons gevraagd om een testschip te ontwerpen, waar zij hun prototypes op kunnen testen. Onze hoofdvraag luidt: hoe kan ervoor gezorgd worden dat eConowind een geschikt testschip krijgt voor zijn prototype windvoortstuwingsystemen.

Wij gaan deze vraag beantwoorden door twee onderzoeken te doen: een literatuuronderzoek waar we gaan kijken wat er al bekend is over dit onderwerp en een onderzoek waar we proefjes op schaal uitvoeren. Uiteindelijk zullen deze resultaten worden samengevoegd en zal er een 3D-ontwerp worden gemaakt van het testschip.

Uit de onderzoeken is gebleken dat voor het testen van de prototype windvoortstuwingsystemen het beste een enkel romp schip met een kiel kan worden gebruikt. Dit type schip is erg stabiel en kan goed omgaan met massa's die hoog gelegen zijn, zoals dit het geval is met de prototypes van eConowind. Daarnaast voldoet het aan de eisen die de opdrachtgever ons heeft gegeven.

Concluderend adviseren wij eConowind om een enkel romp schip met een kiel aan te schaffen. Door het relatief krappe budget raden wij aan om een tweedehands schip te kopen en deze naar wens te verbouwen. In dit verslag is de 3D-tekening te zien en hebben wij een basisindeling gemaakt voor het testschip.

Voorwoord

Dit adviesrapport is geschreven door Gosse Visser, Jasper van der Wurf en Waling Brunner van het Leeuwarden Lyceum te Leeuwarden en Durk Willem Dijkstra en Martijn Stienstra van het CSG Bogerman te Sneek. Wij zijn vijf jongens die veel interesse hebben in techniek en natuurkunde en op het Technasium zitten. Daarom hebben wij onze Meesterproef/PWS combinatie gedaan over scheepsbouw. De bijpassende richting is Natuur en Techniek. De bijpassende vakken hierbij zijn Onderzoek en Ontwerpen en Natuurkunde. Wij hebben dit onderwerp gekozen omdat er veel natuurkundige berekeningen bij te pas komen en omdat er veel geschetst kon worden. Daarnaast zijn wij zeer geïnteresseerd in de maritieme sector.

Dit adviesrapport is het resultaat van een unieke samenwerking tussen twee scholen. Beiden hebben verschillend onderzoek gedaan rondom deze Meesterproef. De resultaten hiervan zijn samengevoegd in dit rapport. Naast dat een groot gedeelte van dit onderzoek gezamenlijk is gedaan, zal er worden aangegeven als een gedeelte specifiek door een bepaalde groep is gedaan.

Wij willen de volgende mensen graag bedanken die mee hebben geholpen met het verkrijgen van het eindproduct.

- Sanne Zwaan, Application expert bij eConowind. Dhr. Zwaan is de opdrachtgever van onze Meesterproef en heeft ons veel geholpen met nuttige informatie.
- Welmoed van der Velde, lector op het MIWB (Maritiem instituut Willem Barentsz) en de NHL Stenden en expertbegeleider van de Meesterproef.
- Jan de Jonge, Docent Maritieme techniek aan het MIWB. Dhr. de Jonge heeft het dictaat hydrostatica met ons gedeeld.
- Onze docenten van het Leeuwarder Lyceum: mevrouw Offringa, dhr. Hamburger, dhr. van der Lek, dhr. Goudberg en dhr. Bakker. Zij hebben ons veel geholpen met het verkrijgen van het eindresultaat en hebben ons begeleid gedurende het project.
- Onze docenten en begeleider van het CSG Bogerman: mevrouw van Bommel, dhr. Strijker en dhr. Meier. Zij hebben ons begeleid gedurende het project en ondersteuning geboden waar nodig was.

Inhoud

Samenvatting	3
Voorwoord	4
1. Inleiding	7
1.1 Meesterproef.....	7
1.2 Opdrachtgever & expertbegeleider.....	7
1.3 Probleemstelling	8
1.4 Opdracht.....	8
1.5 Hoofd- en deelvragen	9
1.5.1 Hoofdvraag	9
1.5.2 Deelvragen	9
2. Literatuurstudie	10
2.1 Plan van Aanpak	10
2.2 Nut van een Testschip	10
2.3 Drijfvermogen.....	11
2.3.1 Benodigd drijfvermogen	11
2.3.2 Wet van Archimedes.....	11
2.3.3 Zwaartepunt.....	12
2.4 Invloed van het zwaard.....	12
2.4.1 Zwaard	12
2.4.2 Midzwaard	12
2.4.3 Steekzwaard.....	13
2.4.4 Zijzwaard.....	13
2.4.5 Kiel	13
2.5 Scheepsstabiliteit.....	14
2.5.1 Hellen	14
2.6 Onderzoek naar verschillende rompen	15
2.6.1 Enkel romp schip.....	15
2.6.2 Catamaran.....	16
2.6.3 Trimaran.....	16
2.7 Materiaalkeuzes.....	17

3. Onderzoek.....	18
3.1 Vooronderzoek	18
3.2 Hoofdonderzoek	19
3.2.1 Uitleg proefjes op schaal.....	19
3.2.2 Materialen en methode	19
3.2.3 Aquarium	19
3.2.4 3D printer	19
3.2.5 Gewichtjes.....	20
3.2.6 Laserpointer	20
3.2.7 Uitvoering	20
3.2.7.1 Proefje 1: Drijfvermogen	20
3.2.7.2 Proefje: 2 Hellen	21
3.2.8 Resultaten Waterverplaatsing	22
3.2.9 Resultaten Hellingshoek Y-as.....	23
3.2.10 Resultaten Hellingshoek X-as.....	24
3.2.11 Indeling van het testschip	25
3.2.12 3D Tekening	26
4. Conclusie	27
4.1 Kiel	27
4.2 Waterverplaatsing	27
4.3 Beste romp?	27
4.4 Eindconclusie	27
5. Discussie.....	28
6. Aanbeveling	29
6.1 Welk type schip bevelen wij aan?	29
6.2 Wat is de beste indeling op de testboot?	29
6.3 Wat zijn de benodigdheden voor de ontwerpfase en bouwfase?	29
6.4 Conclusie aanbeveling	30
7. Reflectie	31
7.1 Reflectie Team Leeuwarder Lyceum	31
7.2 Reflectie Team Bogerman	32
8. Bijlage.....	33

1. Inleiding

1.1 Meesterproef

De Meesterproef is de eindopdracht van het vak onderzoek en ontwerp in het eindexamenjaar. Tijdens de Meesterproef voer je één groot project uit. Je werkt samen in een team dat je zelf hebt samengesteld. Binnen dat team kies je een bèta groep en een beroep in deze bèta wereld. Als je dit klaar hebt ga je proberen een bijpassende opdrachtgever te vinden die een probleem voor je heeft in deze sector, ook moet je een expertbegeleider vinden die veel verstand heeft van dit onderwerp. De opdrachtgever en de expertbegeleider beoordeelt samen met mevrouw Offringa het eindresultaat. Het eindproduct is een aanbeveling voor de opdrachtgever. Dit komt allemaal samen in een eindverslag, wat op het einde gepresenteerd moet worden voor de opdrachtgever en de expertbegeleider in een presentatie van 20 minuten. Je moet voor de Meesterproef minimaal 120 uren maken. Ook kun je ervoor kiezen om de Meesterproef te combineren met het profielwerkstuk (80 uren). Zo kom je gecombineerd uit op 200 uren per persoon. De eindpresentatie wordt bijgewoond door twee docenten, de expertbegeleider en de opdrachtgever. Door deze personen krijg je allemaal een cijfer waarvan een gemiddelde wordt berekend, dit wordt dan je examencijfer voor Onderzoek en Ontwerp.

1.2 Opdrachtgever & expertbegeleider

De expertbegeleider is Welmoed van der Velde. Welmoed van der Velde is werkzaam als lector op het MIWB/NHL Stenden.

De opdrachtgever voor de Meesterproef is Sanne Zwaan van eConowind BV. Sanne Zwaan is afgestudeerd aan het MIWB en heeft op de middelbare school ook eindexamen in onderzoeken en ontwerpen gedaan.

eConowind is een dochteronderneming van Conoship B.V. eConowind is sinds 2009 bezig met het onderzoeken naar de TurboSail van Jacques Cousteau. Cousteau was een Franse marineofficier. Hij droomde er in 1982 van om een schip te creëren dat met een moderne motor ook deels op windenergie kon varen. De TurboSail is door eConowind doorontwikkeld tot hun Ventifoil. Tot nu toe heeft eConowind veel proefvaarten gehad met de Ventifoils. Ondertussen zijn er al verschillende windvoortstuwingssystemen in aanbouw. Het doel van het bedrijf is: "Wereldmarktleider worden in het ontwikkelen van windvoortstuwingstechnieken".

De Ventifoils die eConowind produceert zijn een soort van vleugels die op (vracht)schepen kunnen worden geplaatst. Wanneer je deze vleugels op je schip hebt staan, zorgt het ervoor dat het schip sneller gaat varen door de kracht die de vleugel naar voren toe uitoefent. Doordat de boot nu sneller gaat kan de kapitein de gashendel terugnemen, waardoor het schip brandstof bespaart. Deze brandstofbesparing komt neer op 10% per dag, wat neer komt op 800 liter brandstofbesparing per dag.



eConowind Ventifoils

Ventifoils op het schip MS Ankie.

1.3 Probleemstelling

De opdrachtgever heeft verschillende prototypes van de Ventifoil op schaal 1:2, maar geen goede mogelijkheid om deze te testen. De prototypes worden in eerste instantie getest doormiddel van een trailer waarop meetapparatuur en het prototype bevestigd is. Deze trailer gaat dan achter een auto. Door vervolgens te gaan rijden met de auto wordt de schijnbare wind gecreëerd en wordt een windtunneleffect nagebootst.

Dit is natuurlijk niet helemaal gelijk aan de tests die je kunt doen op water. Daarom is eConowind op zoek naar een betere manier om deze testen te vervolgen op het water, maar door de vele verschillende projecten die nu lopen komt eConowind niet toe aan het maken van een goede testopstelling voor de verschillende prototypes.

Huidige situatie



Door een prototype op een aanhanger met sensoren te plaatsen worden de uitgeoefende krachten gemeten.

1.4 Opdracht

eConowind produceert windvoortstuwingsystemen voor de commerciële maritieme sector. De systemen die eConowind levert, dragen bij aan de voortstuwing van een schip om brandstofbesparing te realiseren.

De prototypes van deze windvoortstuwingsystemen worden nu nog getest doormiddel van een boottrailer achter een auto. eConowind vindt dit geen ideale situatie; daarom verwachten zij het volgende van ons:

eConowind verwacht een ontwerp van een varende testboot, waar de testopstellingen aan bevestigd kunnen worden. Het uiteindelijke doel is om te gaan zeilen met de diverse 1:2 schaalmodellen. Hierdoor kunnen ze de testen uitvoeren op het water.

Tijdens de opdracht moeten we rekening houden met de volgende eisen van de opdrachtgever:

- Eis 1: De boot moet het zwaarste systeem kunnen houden. Het zwaarste model is 400 kg. (5,5 m lang) Dit gewicht is excl. eventueel meetframe, generator of bestuurders. Ook mag de boot niet breder zijn dan drie meter in verband met het vervoer.
- Eis 2: Naast het systeem dient de boot plaats te geven aan 2 personen.
- Eis 3: Naast het systeem dient de boot plaats te geven aan een generator (L x B x H = 60 x 65 x 45) [cm]. Gewicht van de generator is 40 kg (excl. brandstof.) Inhoud brandstoftank is 12L.
- Eis 4: Alle verschillende meetsystemen zijn uitwisselbaar en kunnen daardoor allemaal bevestigd worden op dezelfde flens.

1.5 Hoofd- en deelvragen

Naar aanleiding van bovenstaande eisen hebben we onderstaande hoofd- en deelvragen gevormd.

1.5.1 Hoofdvraag

Onze hoofdvraag luidt:

Hoe kan ervoor gezorgd worden dat eConowind een geschikt testschip krijgt voor zijn prototype windvoortstuwingssystemen?

1.5.2 Deelvragen

Wij gaan deze hoofdvraag beantwoorden door de volgende deelvragen op te lossen:

- **Waar moet onze varende testopstelling aan voldoen, hoeveel massa moet het kunnen dragen en hoeveel drijfvermogen is er dan nodig?**
- **Welke rompen zijn geschikt om gebruikt te worden, welke romp(en) kunnen wij gebruiken?**
- **Hoe gaan we de testboot uiteindelijk indelen, wat is er allemaal wettelijk verplicht?**
- **Wat zijn de benodigdheden voor de ontwerpfase en bouwfase?**

2. Literatuurstudie

2.1 Plan van Aanpak

Om een goed eindresultaat te verkrijgen moeten we de volgende dingen uitzoeken en bedenken.

- Uitzoeken van voor- en nadelen van een testschip
- Onderzoeken hoeveel drijfvermogen nodig is
- Uitzoeken welke berekeningen nodig gaan zijn
- Uitzoeken wat de onderdelen zijn voor het frame waar de prototypes op kunnen testen

Na dit uitgezocht te hebben:

- Ontwerp maken
- Boten zoeken, gekoppeld aan het ontwerp
- Kijken naar de kosten

Daarna:

- Het frame tekenen 3d uitgezet op de boot
- Frame positioneren voor een goede balans

En dan:

- Presentatie geven met betrekking tot het ontwerp met de afwegingen
- Aanleveren eindproduct

Uiteindelijk:

- Aanschaffen boot
- Frame maken, met de onderdelen die uitgezocht zijn
- Varen met testopstelling

2.2 Nut van een Testschip

Als vooronderzoek heeft het groepje uit Sneek de voor- en nadelen van een testschip uitgezocht. Dit is daarvan het resultaat:

Voordelen van een testschip:

- Intern testen: Het bedrijf hoeft niet (meer) een extern bedrijf in te huren om hun prototypes op te testen
- Alle modellen testen voor gebruik: eConowind onderzoekt naast de Ventifoils ook andere modellen om kracht uit de wind te halen op het water. Met dit testschip kan het bedrijf al zijn prototypes testen om er een optimaal resultaat uit te halen.
- Gegevens van diverse metingen verwerken: Het testschip kan gebruikt worden in meerdere weersituaties, en eConowind kan zo vaak gaan testen als ze willen. Door veel gegevens te verzamelen krijgt het bedrijf meer informatie uit hun prototypes.

Nadelen van een testschip:

- Onderhoud: het bedrijf moet naast hun onderzoeken en hun bezigheid met de producten ook onderhoud verzorgen aan het testschip.
- Kosten: De aanschaf van een testschip. Dit zijn extra kosten voor eConowind.

2.3 Drijfvermogen

We moeten het benodigde drijfvermogen weten om alle gewichten op de boot te kunnen houden. Hieronder hebben we de uitleg hoe we het drijfvermogen gaan berekenen en welke formules we gaan gebruiken.

Om de waterverplaatsing (ander woord voor drijfvermogen) te bepalen moet je de lengte maal de breedte maal de hoogte bepalen, en dat dan vermenigvuldigen met $\frac{1}{2}$.

De formule van de waterverplaatsing heet de Wet van Archimedes, deze wordt uitgelegd op de volgende pagina

We doen de inhoud maal $\frac{1}{2}$ omdat een drijver niet vierkant is maar meer de vorm heeft van een driehoek, dus de helft van een vierkant. Stel je neemt een catamaranromp dan heb je 2 rompen van 5 meter lengte, 0,4 meter hoogte en 0,4 meter breedte nodig want $5 \times 0,4 \times 0,4 \times 0,5 = 0,4 \text{ m}^3$; dan heb je de benodigde $0,8 \text{ m}^3$ drijfvermogen voor de 800 kilogram die de testopstelling naar schatting weegt (zie 2.2.1).

2.3.1 Benodigd drijfvermogen

Om het benodigd drijfvermogen te achterhalen, kan je met behulp van de totale massa de hoeveelheid benodigde opwaartse kracht berekenen (een andere benaming van benodigd drijfvermogen). Dus door de massa van alles op de boot 623,4 kg + gewicht frame en boot zelf geeft een schatting van 800 kg. Dus nu weten we dat er $0,8 \text{ m}^3$ drijfvermogen nodig is.

2.3.2 Wet van Archimedes

De wet van Archimedes luidt: *“Een lichaam geheel of gedeeltelijk gedompeld in een vloeistof ondervindt een opwaartse kracht gelijk aan het gewicht van de verplaatste vloeistof.”* (Archimedes van Syracuse, rond 270 v.Chr.).

Dus de waterverplaatsing van het schip wordt gevormd door de opwaartse kracht.

De formule van de Archimedes kracht luidt:

$$F_a = \rho \cdot g \cdot V$$

Hierin staan de variabelen voor:

- De dichtheid ρ (rho) van de vloeistof waarin het voorwerp zich bevindt.
- De valversnelling (g).
- Het volume (V) van de hoeveelheid verplaatste vloeistof

2.3.3 Zwaartepunt

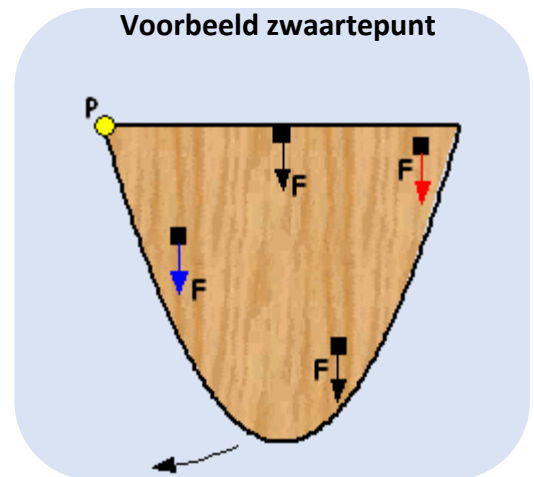
“Het zwaartepunt van een object is het punt ten opzichte waarvan de massa van dat object in evenwicht is. Het geometrische zwaartepunt van een 3D object is het punt waar het volume gelijk is verdeeld. In de natuurkunde heet het zwaartepunt ook wel het massamiddelpunt.”
(H. Hofstede, 2012)

Bij het voorbeeld hiernaast werkt op elk zwart blokje dezelfde zwaartekracht. Omdat punt P vastzit met een schroef krijg je daar een draaipunt. Daarbij tellen niet alle blokjes even zwaar mee. Het rode pijltje weegt zwaarder dan het blauwe. Bij het rode pijltje is de afstand tot het draaipunt groter, deze afstand is het “moment” (M). Om het moment te berekenen geldt de formule:

$$M = F \times r$$

Hierin staan de variabelen voor:

- M = het moment
- F = de kracht
- r = de arm (loodrechte afstand op de richting van kracht F)



2.4 Invloed van het zwaard

De kiel is een belangrijk onderdeel van een schip. De balk loopt vaak van de voorkant van het schip naar de achterkant en is bij houten schepen vaak een massieve balk. De spanten zitten overdwars aan de kiel bevestigd. Bij veel zeilboten steekt de kiel uit onder het schip. De kiel is tevens ook het sterkste deel van het schip. De oppervlakte die onder het water zit biedt weerstand tegen het verlijzen* van het schip. Doordat de oppervlakte van de kiel weerstand biedt, kan een zeilschip scherper aan de wind varen, omdat het niet alle kanten opgeduwd wordt. Schepen waarbij de kiel geen weerstand biedt tegen het water, hebben vaak zwaarden. De zwaarden zitten los aan de zijkant van het schip bevestigd.

** Verlijzen is een scheepvaartterm die inhoudt dat een boot wegdrijft van de lijn die de boot moet varen.*

2.4.1 Zwaard

Het zwaard wordt ook gebruikt om drift tegen te gaan (zijwaarts verplaatsen van de boot). Het zwaard is verstelbaar en wordt vaak verzwaard om tegengewicht te bieden. Hierdoor komt de boot dus steviger te liggen.

Er zijn verschillende zwaarden:

2.4.2 Midzwaard

Het midzwaard wordt in het midden van de boot op- en neer bewogen. Dit wordt niet vaak gekozen, omdat het vaak leidt tot ruimte verlies in de kajuit. Daarnaast geeft een midzwaard moeilijk toegang voor het besturen en het onderhoud van een boot. In veel plezierjachten wordt de zwaardkast onder de vloer gehouden, zodat het geen invloed heeft op de ruimte die er is in de kajuit. Een groot voordeel van het zwaard is de weerstandsvermindering door het water, waardoor andere koersen aangehouden kunnen worden.

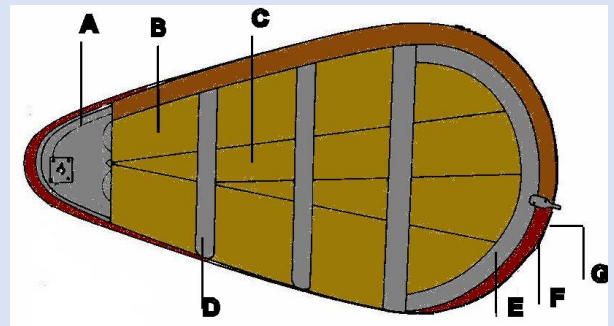
2.4.3 Steekzwaard

Steekzwaarden werden veel gebruikt op vlotten. Het is een zwaard waar men zich mee voortstuwt, door middel van het heen- en weer bewegen van het zwaard. Als men het zwaard diep in het water doet, heeft men ook het voordeel dat ze niet verlijeren.

2.4.4 Zijzwaard

De zijzwaarden hangen aan beide kanten van het schip. Deze zwaarden werden vooral veel gebruikt op platbodems en rondspantschepen.

Schema van een zwaard



Onderdelen:

A= Kopstuk, B= Bovenschacht, C= Tongstukken, D= Onderschacht, E= Spanningsijzer, F=Halve maan, G= Ijzeren zandloper

2.4.5 Kiel

Vaak wordt de kiel in de onderkant verzwaaard met verschillende zware materialen, zoals lood of gietijzer. Het verzwaaen zorgt voor een betere stabiliteit, waardoor het schip minder snel opzij wordt gedrukt door de wind. Het verzwaaen zorgt er ook voor dat het zwaartepunt naar beneden verplaatst wordt en dat er dus minder kans is op omslaan.

Kiel



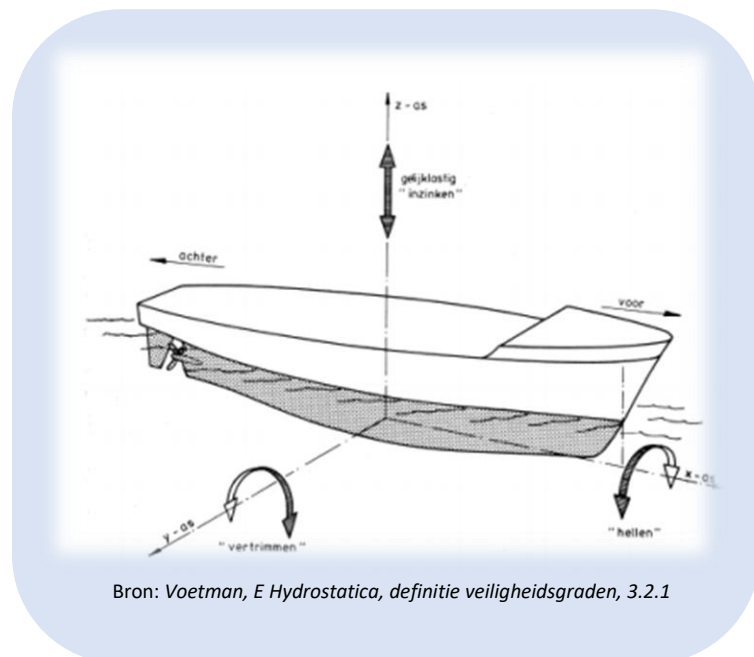
Op deze foto is de kiel te zien. Deze kiel is erg zwaar en zorgt ervoor dat het zwaartepunt verplaatst wordt naar beneden.

2.5 Scheepsstabiliteit

De scheepsvorm heeft invloed op de stabiliteit van het schip. De stabiliteit van het schip is op verschillende manieren verdeeld: langsscheepse en dwarsscheepse stabiliteit*. Ook maakt de scheepsstabiliteit onderscheid tussen statische en dynamische stabiliteit. Statische stabiliteit telt wanneer krachten geleidelijk veranderen. Wanneer een schip te maken krijgt met windstoten of andere uitwendige krachten, moet het zich daartegen kunnen verzetten.

Bij een schip heb je ook te maken met zogeheten vrijheidsgraden. Als deze in evenwicht zijn is het schip erg stabiel. Een schip heeft zes vrijheidsgraden.

*Langsscheepse stabiliteit is de stabiliteit over de y-as. Dwarsscheepse stabiliteit is de stabiliteit over de x-as



Translaties in de	1) x-richting	schrikken	"surge"
	2) y-richting	verzetten	"sway"
	3) z-richting	dompen	"heave"
Rotaties om de	4) x-as	slingeren	"roll"
	5) y-as	stampen	"pitch"
	6) z-as	gieren	"yaw"

Bron: Voetman, E Hydrostatica, definitie veiligheidsgraden, 3.2.1

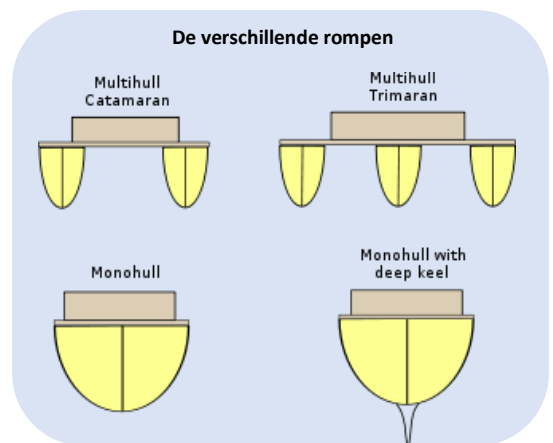
In de tabel hiernaast worden de verschillende richtingen omschreven waarin een boot kan draaien/ verplaatsen. Een synoniem voor "slingeren" en "stampen" is hellen. Hellen gebruiken we veel in dit verslag. Bij het slingeren wordt het hellen om de x-as beschreven en bij stampen wordt het hellen om de y-as beschreven. De translatie in de z-richting is hetzelfde als het drijfvermogen.

2.5.1 Hellen

Als er meer gewicht op de boot komt krijg je verplaatsing op de z-as en wordt de diepgang groter of zinkt het schip. Wettelijke voorschriften bepalen het minimale vereiste vrij boord. Door gewicht aan één kant te leggen krijg je te maken met een verdraaiing om de x-as. Dit heet hellen. Hellen is een synoniem van het woord slingeren. Een schip mag in normale omstandigheden maar een bepaalde hellingshoek hebben. Als de hellingshoek te groot wordt is er kans op overhellen. Het vergroten van de hellingshoek ontstaat vaak doordat er verkeerd beladen wordt. Dit betekent eigenlijk dat het zwaartepunt buiten het schip komt, waardoor het schip vol kan lopen met water en om kan gaan. Ook kun je te maken krijgen met verdraaiing om de y-as. Als je de hoek op de y-as aanpast ga je de boot trimmen. Maar door een zwaargewicht op de voor- of achterkant van het schip te plaatsen kan het schip gaan duiken, synoniem voor "stampen", waardoor het roer of de schroef boven water komt en je geen controle meer hebt over het schip.

2.6 Onderzoek naar verschillende rompen

In dit deelonderzoek wordt gekeken naar de verschillende rompen. Wat de voor- en nadelen zijn van de verschillende rompen en wat van invloed is op de verschillende rompen met betrekking tot drijfvermogen en stabiliteit. Wij gaan in dit onderzoek de monohull, de catamaran en de trimaran belichten.



2.6.1 Enkel romp schip

Een enkel romp schip (monohull) is een schip dat uit één romp bestaat. Dit heeft zo zijn voordelen en nadelen, een voordeel is dat er een hoop variatie mogelijk is binnen dit type. Zo kan bijvoorbeeld de vorm of grootte een groot verschil maken in onder andere het drijfvermogen, stabiliteit, golfweerstand en totale waterverplaatsing. Het grootste nadeel van een monohull is dat een monohull met een relatief hoog zwaartepunt minder stabiel is dan andere varianten. Dit komt in de opdracht niet goed uit, omdat de Ventifoil 400 kg weegt, en boven in een groot gewicht heeft en ook erg topzwaar is. Wanneer er een kiel onder het schip zou zitten, zou het zwaartepunt verlaagd worden en is de monohull stabiel. Het is dus een pluspunt van een enkel romp schip dat het wel een heel hoog drijfvermogen heeft en dus in dat punt wel voldoet aan de eisen.

Monohull schepen zonder veel mankementen en met een lage prijs zijn erg schaars. De enkel romp schepen die voor ons interessant zijn, zitten wel een prijsklasse hoger, dus is het niet haalbaar in ons budget van rond de 500 euro. We zoeken verder naar een schip met veel drijfvermogen en stabiliteit zonder dat het al te veel zal kosten. Toch houden we het enkelrompschip in ons achterhoofd.

2.6.2 Catamaran

Een catamaran (multihull) is een schip dat uit twee rompen bestaat. Dit schip kan onder andere door zijn twee drijvers een groot drijfvermogen opleveren, maar stabiel blijven dan een enkel romp schip.

Een paar voordelen:

- Een groot aantal types en vorm-opties met meer mogelijke kenmerken.
- Relatief groter dek.
- Hoge zeewaardigheid.
- Elke benodigde initiële stabiliteit zonder enige beperking van de aspectenverhouding van de romp.
- Groot waterdicht volume boven water.
- Een mogelijkheid van voldoende wisselingen van diepgang door voldoende kleingewicht.

Het grote dek op een catamaran kan zorgen voor voordelen bij het transporteren van bepaalde goederen zoals passagiers, voertuigen of lichte containers. Dit zijn de grootste voordelen van een catamaran. Daarnaast kunnen wij de snelheid en stabiliteit van een catamaran goed gebruiken, aangezien dat één van de gevraagde eisen is. Naast alle voordelen die we kunnen vinden, heeft een catamaran de juiste lengte en drijfvermogen. Ook kan een catamaran binnen ons budget vallen. Dit type schip is ook beter bestand tegen een topzware Ventifoil. Een aantal nadelen zijn dat we de romp waarschijnlijk moeten versterken, aangezien er veel massa op komt. Er moet nog wel genoeg ruimte zijn voor de overige dingen die op het schip moeten, zoals de generator, de flens etc.

Door al deze voor- en nadelen tegen elkaar weg te strepen is de conclusie dat de catamaran goed in het plaatje van eConowind past. Mede doordat de twee drijvers ver uit elkaar liggen en het daardoor relatief stabiel is. Echter is het zo dat een catamaran een slechte keuze is als er iets wordt opgezet met een hooggelegen massapunt. Dit is omdat de kans bestaat dat als de catamaran gaat overhellen, wanneer een van de twee drijvers uit het water komt. Het laatste zorgt ervoor dat de stabiliteit drastisch vermindert en er ontstaat een kans dat de boot gaat kantelen.

2.6.3 Trimaran

Een trimaran is simpel gezegd een catamaran met een extra drijver in het midden. Dit betekent dat de naam veranderd van een double-hull naar een triple-hull. De bedoeling van de derde drijver is dat het drijfvermogen verbetert, maar dat gaat wel ten koste van snelheid. Nog een voordeel van de trimaran is dat het een lage weerstand heeft en een geringe diepgang. Dat wil zeggen dat het gemiddeld gezien hoger op het water ligt dan andere rompen. Dit betekent dat de kiel vaak niet aanwezig hoeft te zijn, omdat het al goed in het water ligt. De nadelen ten opzichte van een catamaran is de prijs en de vergrote weerstand met het wateroppervlak.

2.7 Materiaalkeuzes

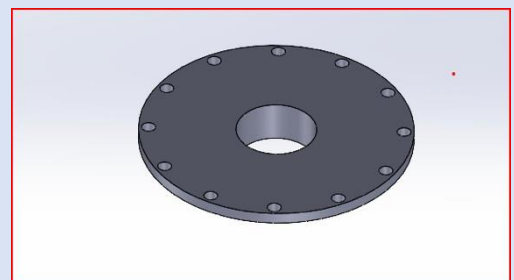
Als wij van plan zijn een frame te ontwerpen en maken, moeten we rekening houden met de volgende eisen:

- De sterkte en specifiek de sterkte van het materiaal. Met de sterkte willen we zeggen dat het materiaal bepaalde krachten aan kan voor het gaat vervormen (rekgrens). De specifieke sterkte staat voor het aantal krachten in Newton gedeeld door de massa van het materiaal.
- Het materiaal moet corrosie-bestendig zijn. Als het frame vaak gebruikt wordt, is het handig om het frame te beschermen tegen corrosie (roest). Vooral omdat het frame veel in contact komt met water is deze eigenschap van belang. Het materiaal kan ook behandeld worden waardoor het bestemd is tegen water.
- Het gewicht van het materiaal moet rendabel zijn. Het grote voordeel hiervan is dat we geen onnodig drijfvermogen weg hoeven te geven aan het gewicht van het frame.
- Het materiaal moet voldoen aan een bepaalde vermoeiingssterkte. Hiermee willen we zeggen dat het materiaal krachten aan kan van verschillende groottes zonder te verbuigen. De vermoeiingssterkte bepaalt dus de duurzaamheid van het frame.
- De prijs van het materiaal. De prijs is voor ons een erg belangrijk punt. Aangezien alles bij elkaar uiteindelijk binnen het budget moet passen.
- De brosheid van het materiaal. Dit betekent dat een materiaal sneller breekt met een hoge brosheid dan met een lage brosheid. Terwijl metalen met een lage brosheid eerder buigen dan breken.

Al deze punten bij elkaar brengt ons bij aluminium. Dit metaal heeft een hoge specifieke sterkte, hierdoor kunnen wij een sterk frame bouwen zonder dat het teveel weegt. Ook geeft aluminium het voordeel dat het corrosie bestendig is. Hierdoor hoeven we geen extra deklaag toe te voegen. Tot slot is aluminium relatief goedkoop en makkelijk te verkrijgen. Dit vergroot onze kansen op het uiteindelijk bouwen van het frame.

De flens is het bevestigingspunt van het frame. Hierop zullen de verschillende windvoortstuwingssystemen bevestigd worden. Voor het maken van de flens hebben wij gekozen om roestvrij staal te gebruiken. Dit materiaal mag dan wel zwaar zijn, het is wel erg stevig. We hebben voor dit materiaal gekozen, omdat het onderdeel relatief klein is en op een plek komt waar veel krachten op zullen worden uitgevoerd. Hieronder staat een foto van de 3D tekening van de flens.

3D tekening van de flens



3. Onderzoek

3.1 Vooronderzoek

Om een testboot te kunnen ontwerpen, moeten we weten hoeveel massa deze moet kunnen dragen. Het groepje van Bogerman heeft aan de hand van onderstaande tabel de aanwezige massa's weergegeven en de totaal massa bepaald.

Object	Bijzonderheden	Aantal	Massa	Totaal	
Personen		2	80	160	kg
Generator	excl. brandstof	1	40	40	kg
Proefopstelling	Zwaarste opstelling	1	400	400	kg
Aanhangmotortje		1	15	15	kg
Brandstof		12	0,7/L	8,4	kg
Flens	n.t.b.*	1		0	kg
Meetapparatuur	n.t.b.*			0	kg
Meetopstelling	n.t.b.*			0	kg
10% speling**				62	kg
Totaal massa inclusief speling	excl. n.t.b.* massa's			686	kg
Totaal massa				623,4	kg
Schatting	Incl n.t.b.* massa's			800	kg

***n.t.b. massa's en schatting**

Bij de objecten waar "n.t.b." staat is de massa nog niet duidelijk, omdat het gewicht en/of het aantal nog niet vast staat. Wij hebben een ruime schatting gedaan van de totale massa zodat er sowieso voldoende ruimte is om deze objecten op het testschip te zetten.

****Speling drijfvermogen**

De rijksoverheid heeft regels opgesteld voor schepen die in Nederland mogen varen in de Binnenvaartwet, echter kan er een uitzondering worden gevraagd voor "vaartuigen waarvan de fabrikant aangeeft dat ze experimenteel zijn en waarmee nieuwe technieken worden uitgetest".

Alhoewel het schip zich dus niet hoeft te houden aan bepaalde punten van Art. 13 van de Binnenvaartwet, raden wij toch aan om een marge van 10% aan te houden.

Wij houden dus rekening met een totaal massa van 800kg op het testschip.

3.2 Hoofdonderzoek

3.2.1 Uitleg proefjes op schaal

Het groepje uit Leeuwarden heeft een andere kant onderzocht, namelijk het drijfvermogen, de helling en het zwaarte punt bepalen met fysieke schaalmodellen. Tijdens het proefje wordt bekeken hoe het model in het water ligt en wat de aandachtspunten zijn waar extra aan gedacht moet worden tijdens het uitzoeken van een het eindproduct. Denk bij extra aandachtspunten aan bijvoorbeeld het zware gewicht aan de bovenkant van de mast van een Ventifoil.

3.2.2 Materialen en methode

De volgende materialen moeten we allemaal gebruiken om de testen uit te voeren:

- 3D printer
- Aquarium met water
- Schaalmodel 20 · 40 *centimeter*
- Schaalmodel 10 · 20 *centimeter*
- Gewichtjes 10 *gram*
- Geodriehoek
- Liniaal
- Telefoon

We gaan het aquarium gebruiken om de testen in uit te voeren. De schaalmodellen van de testboten printen we uit de 3D printer. Om de testen uit te voeren gebruiken we gewichtjes van 10 gram. Ook gebruiken we een haak om de gewichtjes aan de boot te hangen, dit doen we om het zwaartepunt te veranderen. De proefjes leggen wij vast met een camera, zodat we deze achteraf nog goed kunnen bekijken.

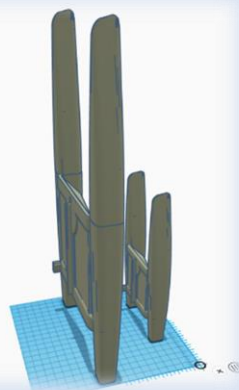
3.2.3 Aquarium

In het aquarium gaan alle proefjes worden uitgevoerd. Het aquarium is 49,5 · 29,5 · 9,2 in centimeters, hierin is 9,2 centimeter het waterniveau. Er zit in deze bak 13 liter water zonder de catamaran erin.

3.2.4 3D printer

Wij hebben op school met de 3D printer een schaalmodel geprint. Dit schaalmodel is niet op de standaard manier in verhouding om te rekenen. Wanneer de testboot van 40 centimeter 2x zo groot wordt, dan is het gewicht 2 · 2 · 2 maal zo groot, terwijl de oppervlakte van het drijfvlak maar 4x zo groot wordt. In verhouding heb je dan dus 2x zo weinig drijfvermogen. Daarom hebben we voor een schaalmodel van 40 x 20 cm gekozen en geprint.

Het model voor de 3D printer



3.2.5 Gewichtjes

We gebruiken voor de proeven gewichtjes van 10 gram per stuk. Deze gewichtjes gebruiken we om proefjes te doen met het drijfvermogen en hellen.

3.2.6 Laserpointer

Om te kunnen meten hoeveel het schaalmodel gaat hellen hebben we gebruik gemaakt van een laserpointer die op het schaalmodel bevestigd is. (Zie foto). Om het nulpunt te kunnen bepalen, hebben we de boot in het water gelegd met daarop de laserpointer. De laser schijnt op de muur, in ons geval was dit een grote kartonnen plaat. Op de plek waar de laser schijnt (zonder gewicht op het schip) zetten we een streepje. Nu hebben we het nul punt bepaald. Zo kunnen we aflezen hoeveel de catamaran gaat hellen per toevoeging van gewicht.



3.2.7 Uitvoering

Tijdens het onderzoek hebben we schaalmodellen uit de 3D printer gehaald. Hierna zijn we gaan kijken waar het kantelpunt van de catamaran ligt. Ook kijken we of we het zwaartepunt kunnen veranderen door bijvoorbeeld een gewichtje aan de onderkant te hangen. Zo kunnen we kijken of dit invloed heeft op het kantelpunt en of dit de indeling op de boot moet veranderen.

3.2.7.1 Proefje 1: Drijfvermogen

In het eerste proefje gaan we gewichtjes leggen van 10 gram per stuk op het zwaartepunt van de schaalmodellen, zodat er inzinking ontstaat ten opzichte van de z-as. Zodra het schaalmodel zinkt heeft het zijn maximale drijfvermogen bereikt. We gaan dit meten door steeds na elke 10 gram opnieuw de inhoud van het aquarium te meten. We doen dus steeds $H_{nieuw} \cdot L \cdot B$

Waarin:

H_{nieuw} = Hoogte van de nieuwe waterstand.

L = Lengte van het aquarium

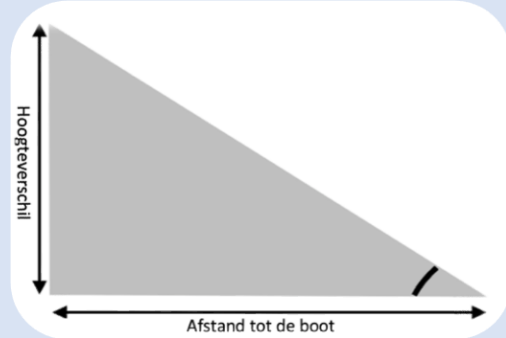
B = Breedte van het aquarium

3.2.7.2 Proefje: 2 Hellen

Voor dit proefje gaan we kijken hoeveel het schaalmodel gaat hellen. (2.4.1). Door gewichtjes van 10 gram één voor één op de achterkant te leggen zou het model gaan hellen ten opzichte van y-as. (Zie afbeelding). We kunnen dit meten door te kijken hoeveel de laser per 10 gram omhooggaat.

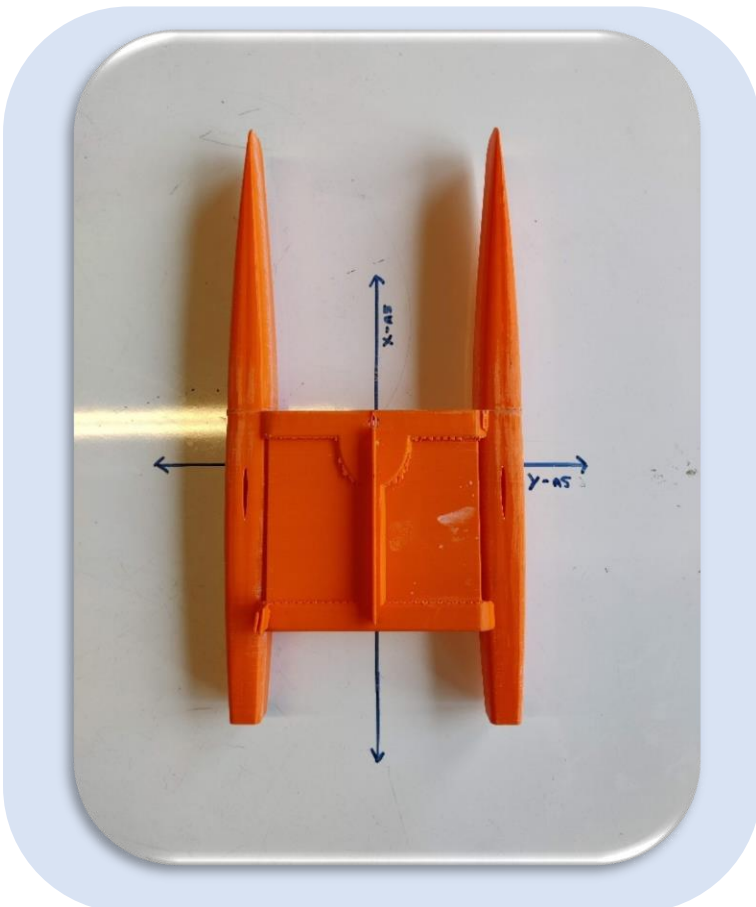
Hellingshoek bepalen

$$\text{Hoek in Graden} = \text{TAN}^{-1} \cdot \frac{(\text{verschil in hoogte})}{(\text{afstand tot de boot})}$$



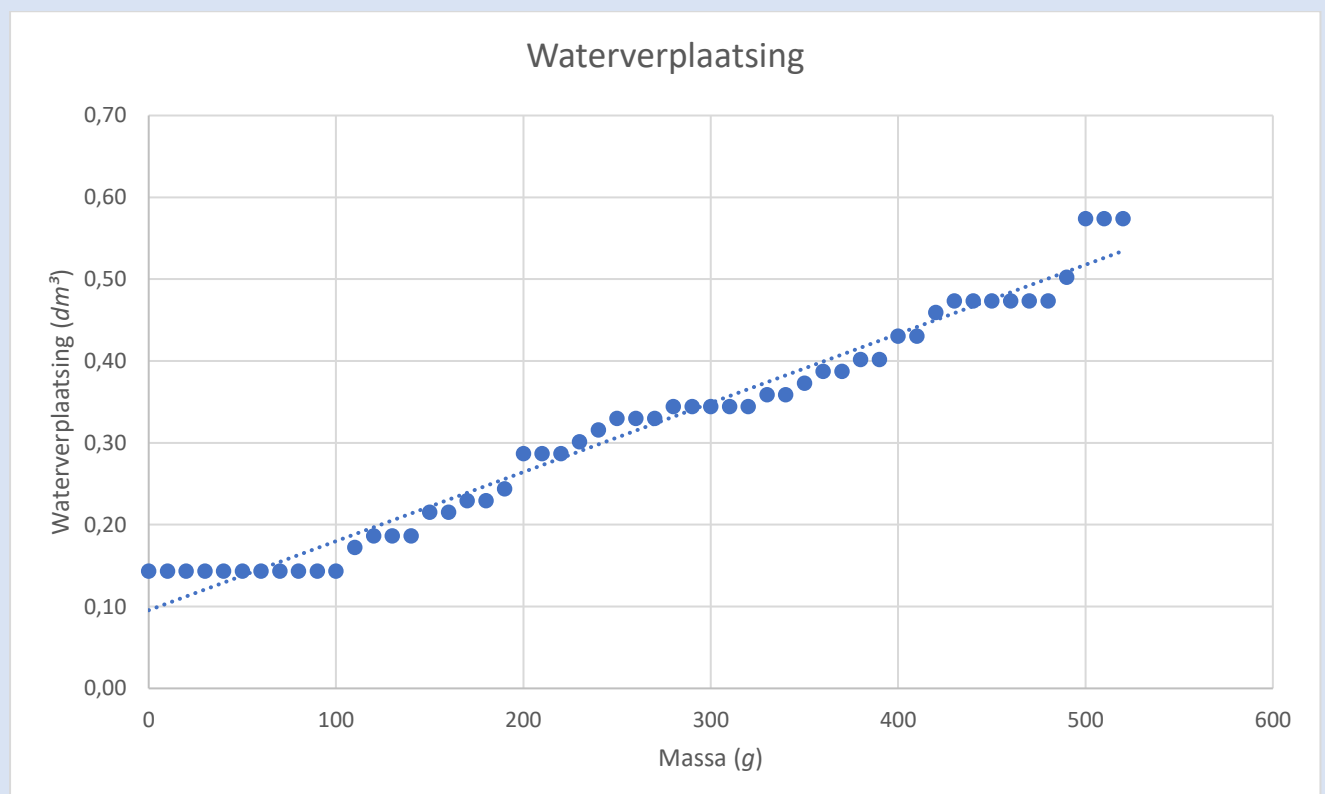
Na dit proefje willen we gewichten van 10 gram aan één zijde leggen, om te kijken hoeveel graden het schip gaat hellen ten opzichte van de x-as. (zie afbeelding). We kunnen dit weer meten door het bovenstaande trucje weer uit te voeren.

We hebben bij het hellen op de y-as een afstand tot de boot gehouden van 1150 millimeter en bij het hellen op de x-as een afstand tot de boot van 1050 millimeter.



3.2.8 Resultaten Waterverplaatsing

Op de verticale as is het verplaatste water in dm^3 weergegeven, de horizontale as is de massa in gram. Door een punt af te lezen in de grafiek, kun je de waterverplaatsing bepalen. Door het gewicht dat steeds op de boot werd gelegd is er een lineaire lijn ontstaan. Door dit proefje weten we dus dat de waterverplaatsing lineair is met het aantal gewichtjes dat je erop legt. We weten nu dat de laatste gewichten er niet voor zorgen dat de boot exponentieel zinkt. We weten nu ook dat een catamaran relatief veel drijfvermogen heeft.

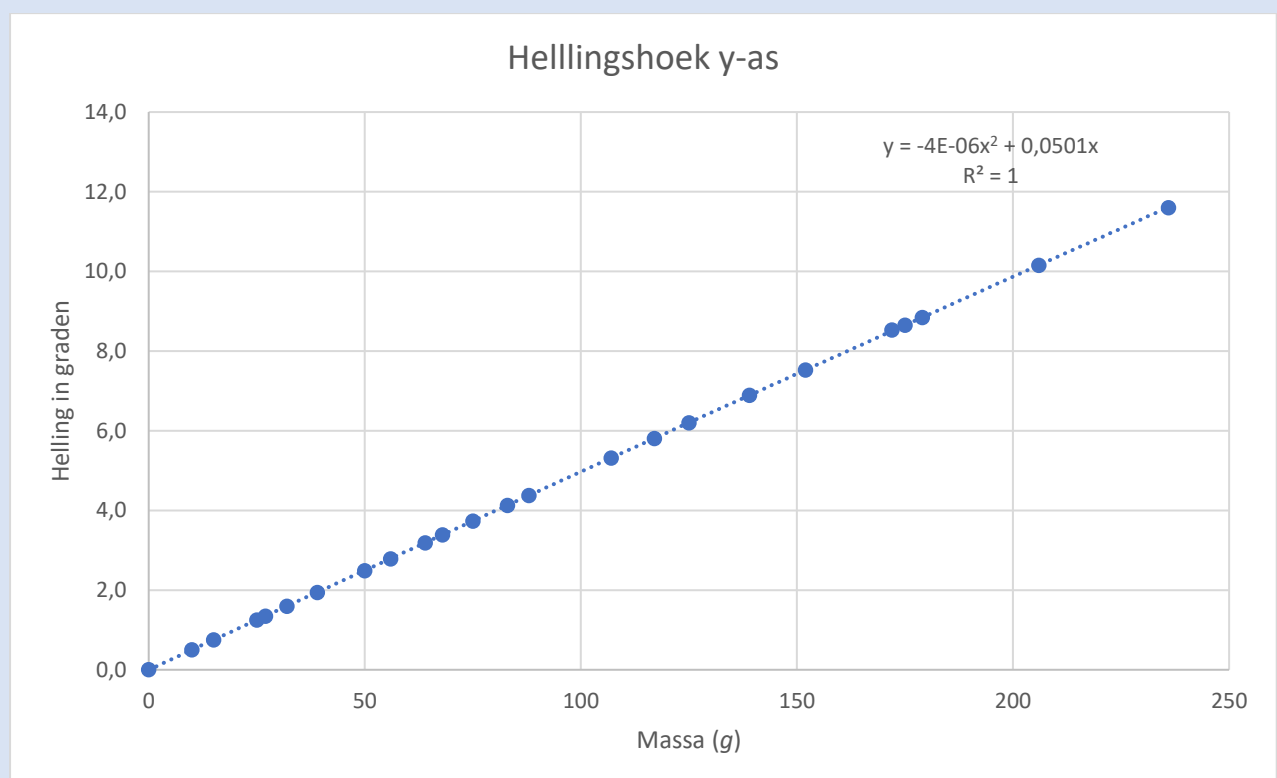


3.2.9 Resultaten Hellingshoek Y-as

Hier is de verticale as het aantal centimeters ten opzichte van het nulpunt dat de boot gaat hellen ten opzichte van de y-as. Op de horizontale as is het aantal gram dat op de achterkant van de boot ligt dat zorgt voor de helling. De lijn beschrijft het aantal graden dat de boot tijdens het proefje is gaan hellen.

In de grafiek staat het verband tussen de helling en hoeveel gewicht je toevoegt aan de zijkant van de catamaran. In deze grafiek is te zien dat de helling lineair toeneemt ten opzichte van hoeveel gewicht je toevoegt.

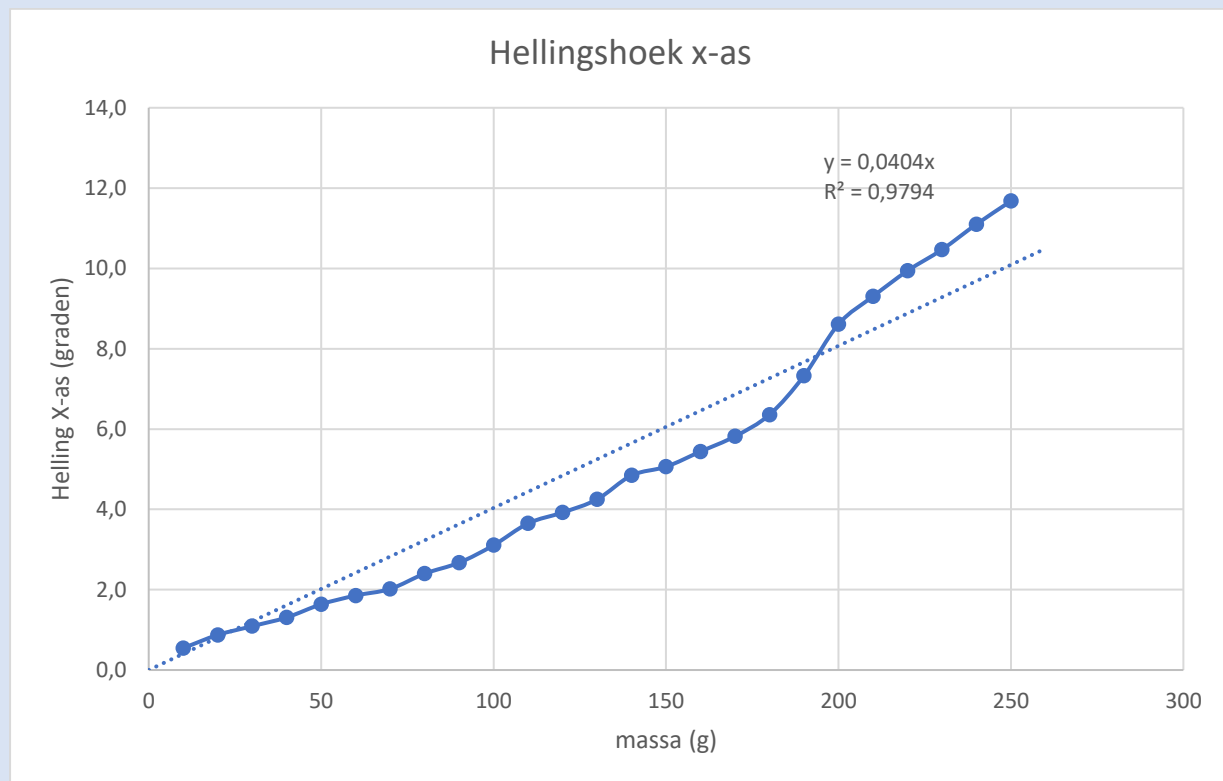
De positie van het gewicht hebben we op het oog bepaald. Hierbij hebben we gekeken waar het meeste gewicht kon liggen voor de beste resultaten.



3.2.10 Resultaten Hellingshoek X-as

Hier is de verticale as het aantal centimeters ten opzichte van het nulpunt dat de boot gaat hellen ten opzichte van de x-as. Op de horizontale as is het aantal gram op de zijkant van de boot wat zorgt voor de helling. De lijn beschrijft het aantal graden dat de boot tijdens het proefje is gaan hellen.

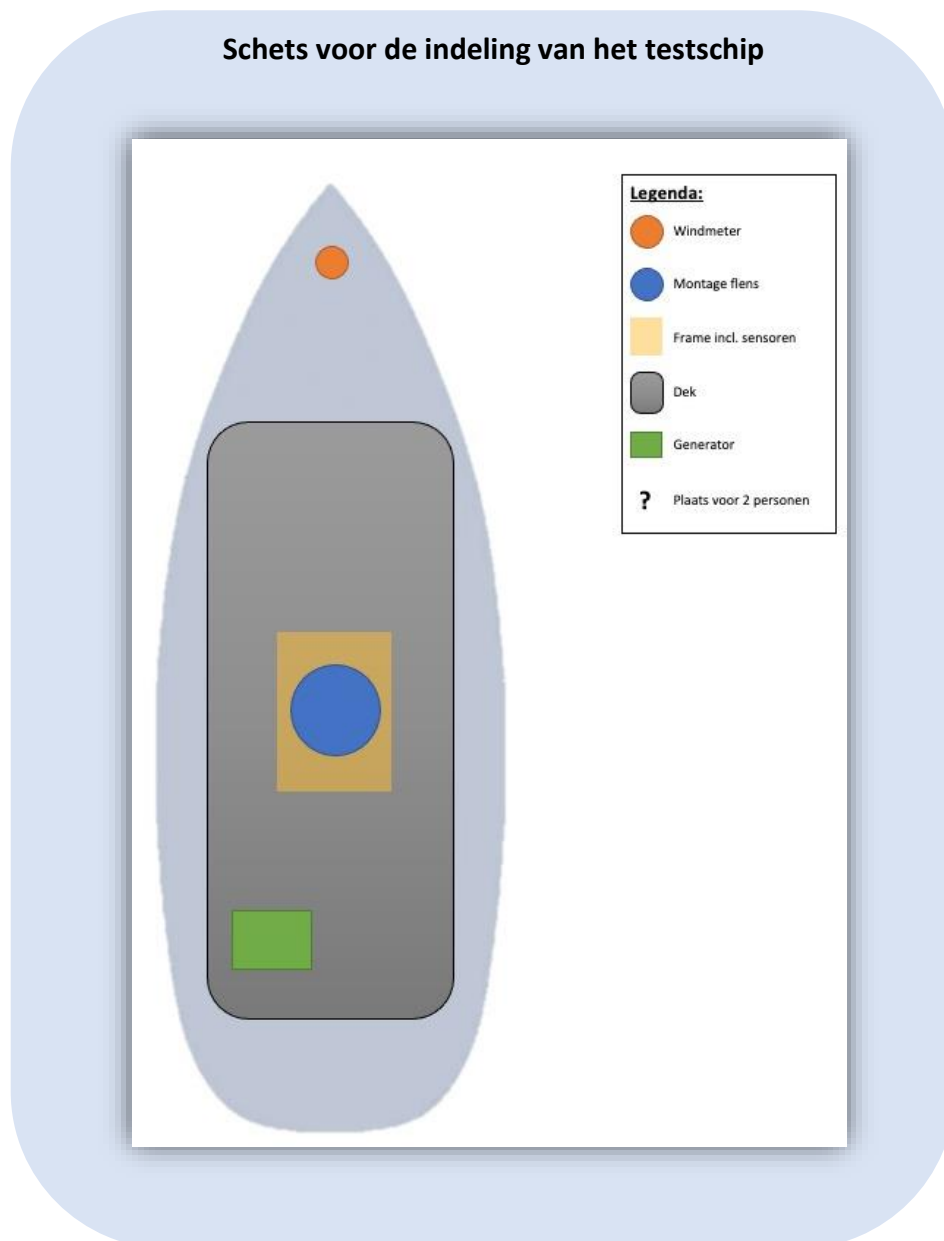
De positie van het gewicht hebben we op het oog bepaald. Hierbij hebben we gekeken waar het meeste gewicht kon liggen voor de beste resultaten.



3.2.11 Indeling van het testschip

De beschikbare ruimte op het testschip moet goed benut worden, aangezien er meerdere onderdelen aanwezig moeten zijn. Hieronder staat een voorbeeld schets voor een indeling. Deze indeling is gebaseerd op een enkel romp schip, waarbij we alles zelf mogen indelen. In realiteit zal de indeling wijzigen omdat elk schip anders is. Bij het bepalen van de indeling gaan we rekening gehouden met de volgende punten:

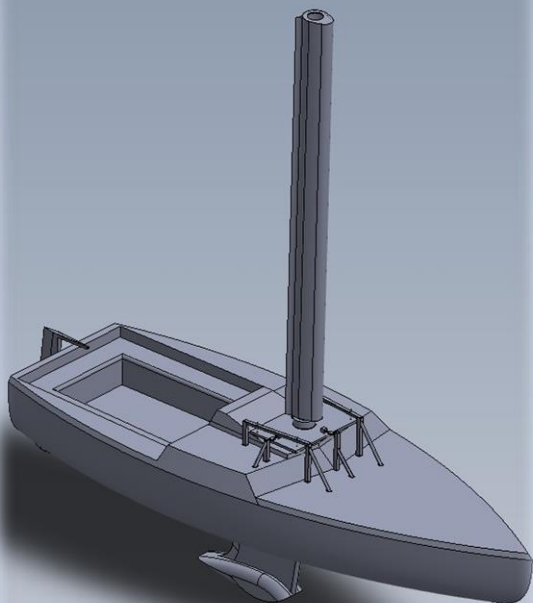
- De windmeter staat aan de voorkant van het schip. Bij eerdere testvaarten van eConowind is deze plaats goed bevallen.
- De locatie van de montage-flens ligt zo gecentreerd mogelijk ,omdat het daar het stevigst is.
- Het frame met de sensoren (waar de montage-flens in is gebouwd) moet nog worden ontworpen.
- De generator is gesitueerd aan de achterkant van het schip, omdat dit gebruikelijk is en er hier nog ruimte over is.
- De twee personen aan boord zouden idealiter kunnen rondlopen om bij de diverse sensoren te kunnen. De plaats van de bemanning hangt af van het model schip en is dus ook nog niet definitief.



3.2.12 3D Tekening

Om de indeling van het testschip zo goed mogelijk te visualiseren heeft de groep uit Sneek een 3D tekening gemaakt van een testschip wat aan onze eisen voldoet. Hieronder is deze afgebeeld vanuit twee verschillende perspectieven. Op de derde foto zijn de locaties te zien van twee sensoren en van het draaipunt van de Ventifoil.

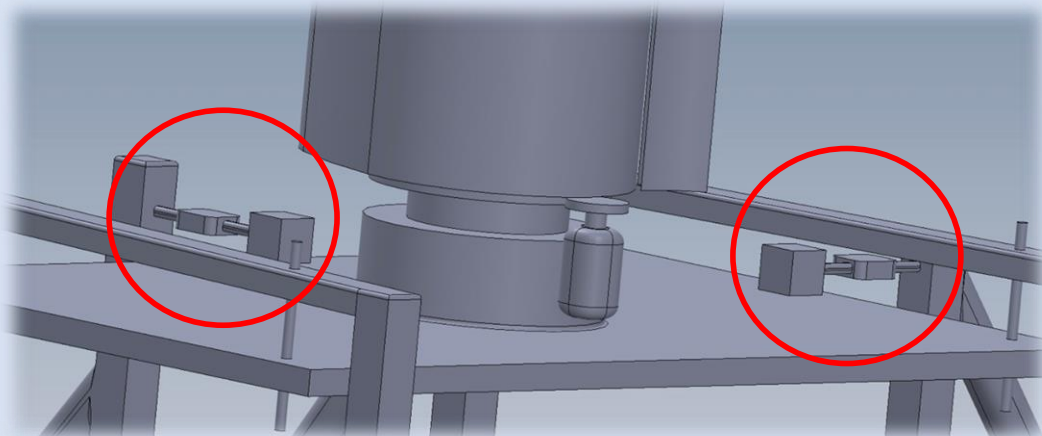
3D Tekening: vogelvluchtperspectief



3D Tekening: zijaanzicht



3D Tekening: Sensoren (rode cirkels) en rotatiepunt



4. Conclusie

Het doel van dit project is een werkende testopstelling voor eConowind te bedenken en te ontwerpen. Hieronder de verschillende onderwerpen waar wij rekening mee hebben gehouden en welke keuzes wij hebben gemaakt.

4.1 Kiel

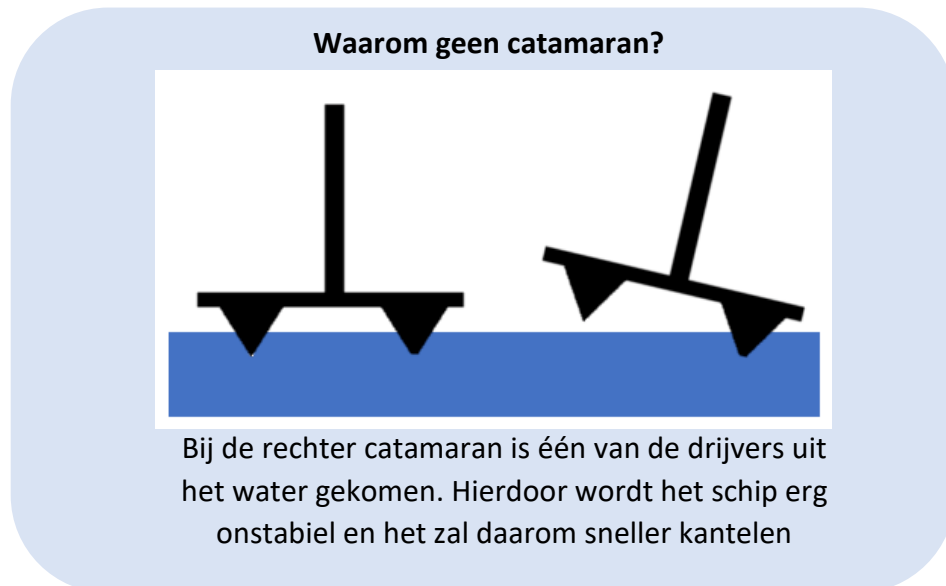
We hebben in onze proefjes de invloed van een kiel niet meegenomen. Wel hebben wij het via literatuuronderzoek onderzoek gedaan en we zijn tot de conclusie gekomen dat een kiel een grote toegevoegde waarde heeft in de situatie van de testopstelling. Wij bevelen een kiel aan omdat een Ventifoil erg topzwaar is en dus veel stabiliteit nodig heeft. Een kiel geeft extra stabiliteit en voorkomt het hellen van het schip.

4.2 Waterverplaatsing

Wij hebben van de opdrachtgever eisen gekregen voor wat het testschip aan moet kunnen. Door de verschillende massa's op te tellen kwamen we erachter dat er ongeveer 800 kg drijfvermogen nodig is om de gehele testopstelling te kunnen dragen.

4.3 Beste romp?

Het onderzoek dat is gedaan met de verschillende testjes, laat in eerste instantie vermoeden dat het eConowind testschip het beste een catamaran kan zijn. Echter is het zo, dat een catamaran een slechte keuze is wanneer er iets wordt opgezet met een hooggelegen massapunt. Dit is omdat de kans bestaat dat als de catamaran gaat overhellen, wanneer één van de twee drijvers uit het water komt. Het laatste zorgt ervoor dat de stabiliteit drastisch vermindert en er ontstaat een kans dat de boot gaat kantelen. Zie het voorbeeld hieronder:



Een kiel onder een boot heeft een grote positieve invloed op de stabiliteit en wij raden dan ook sterk aan er één te gebruiken, zodat het zwaartepunt naar beneden wordt verplaatst.

4.4 Eindconclusie

Na het onderzoek en de proefjes die we hebben gedaan en de resultaten naast elkaar te hebben gelegd, concluderen wij dat het eConowind testschip het beste een enkel romp schip moet zijn met een kiel. Het schip moet een minimale waterverplaatsing hebben van 800kg.

5. Discussie

Wij hebben de volgende discussiepunten samengesteld over wat we in een volgend onderzoek aan verbeterpunten kunnen meenemen.

- De uitwerking van de proefjes had in sommige gevallen beter gekund. Als verbeterpunt hebben we de uitvoering van proefje 1: het drijfvermogen. Hier hebben we gekeken naar de invloed van gewichtjes op de waterlijn van het schaalmodel. Door de golven in het water en door de uiterst kleine verschillen was het aflezen van het verschil lastig. (Zie *grafiek 1*). In de grafiek is te zien dat aan het begin de lijn een tijdje horizontaal loopt en opeens stijgt. Dit komt door het niet nauwkeurig genoeg aflezen van de waterstand.
- De testen die we hebben uitgevoerd zijn alleen gedaan met een catamaran. Het was beter geweest als we de proefjes ook hadden uitgevoerd met een enkelrompschip schaalmodel, zodat we de verkregen resultaten met elkaar hadden kunnen vergelijken. Zo hadden we beter de voor- en nadelen van beide rompen kunnen benadrukken.
- Een ander punt van discussie gaat over het verschil in materiaal van ons testmodel. Dit is niet hetzelfde als een echte catamaran, dus zullen de metingen afwijken van de realiteit. Een echte catamaran zal in verhouding meer ruimte in de kamers hebben en iets minder zwaar materiaal hebben.
- Proefje 2: Hellinghoek is niet perfect tot uitvoering gebracht, doordat de gewichtjes niet allemaal op het uiterste punt van de drijver konden worden gelegd (de gewichtjes zouden anders van de boot afglijden. Om deze reden moesten de gewichtjes gespreid over de zijkant liggen en is dus niet het exacte kantelpunt gevonden. We hadden misschien beter moeten nadenken over een betere bevestiging van de gewichtjes.

6. Aanbeveling

6.1 Welk type schip bevelen wij aan?

Om drijfvermogen te hebben moet de boot voldoende wateroppervlak hebben. We hebben in de berekeningen ondervonden dat de boot een drijfvermogen van rond de 800 kilogram nodig heeft. Hiervoor is dus een oppervlakte van 0,8 m³ nodig. De boot die wij aanbevelen is een enkel romp schip. Als voorbeeld hebben wij gekozen voor een type zeilboot Maxi 77. Dit schip voldoet aan al onze eisen en is tweedehands te vinden voor prijzen die in ons budget vallen.

6.2 Wat is de beste indeling op de testboot?

De testboot moet uitgerust worden met een generator, een flens van roestvrij staal waar de prototypes op gemonteerd kunnen worden en diverse meetapparatuur. Daarnaast dient er een zitvlak te zijn voor 2 personen en mag het schip niet breder zijn dan 3 meter i.v.m. vervoer over de weg. De indeling is niet bindend omdat deze kan variëren naar de vorm van het uiteindelijke schip. Wij hebben voor de indeling gekozen die bij het kopje “indeling van het testschip” staat. Daar staan ook afbeeldingen bij van de 3D tekening die we hebben gemaakt. De 3D tekening zal ook worden aangeboden aan eConowind.

6.3 Wat zijn de benodigheden voor de ontwerpfase en bouwphase?

Voor de ontwerpfase denken wij dat het volgende nog moet gebeuren of nog nodig is:

Er is vanzelfsprekend pen en papier nodig voor de ontwerpfase, omdat er nog schetsen moeten worden gemaakt met de afmetingen. De berekeningen voor het drijfvermogen hebben we gedaan maar als het eventueel een andere rompvorm wordt, moet daar eerst nog het drijfvermogen van worden berekend. We moeten weten hoeveel het frame en de meetsystemen bij elkaar wegen en wat de afmetingen daarvan zijn.

Voor de bouwphase denken wij dat het volgende materiaal nodig is:

Wij hebben een enkel romp schip uitgezocht als romp. Deze moet worden aangeschaft. Er is een lasapparaat nodig voor het aan elkaar lassen van het frame en de aluminium buizen. De definitieve 3D tekening die wij presenteren is gebaseerd op een fictief schip die naar onze wensen voldoet. Deze zal uiteindelijk moeten worden aangepast naar het uiteindelijke schip.

6.4 Conclusie aanbeveling

Na onze diverse onderzoeken te hebben doorgelezen en alle eisen te hebben doorgenomen concluderen wij dat het eConowind testschip een enkel romp testschip moet zijn. Alhoewel de proefjes uitwijzen naar een catamaran, is dit geen goede keuze aangezien een catamaran snel kantelt, wanneer één van de drijvers uit het water komt.

Omdat we de catamaran geen veilige optie vinden, adviseren wij een enkel romp schip. Het schip moet een waterverplaatsing van minimaal 800kg hebben. Een schip dat voldoet aan al onze eisen is de Maxi 77. Dit schip is geschikt om de verschillende prototype windvoortstuwingsystemen op te testen. Door het relatief krappe budget, raden wij aan om een tweedehands schip aan te schaffen en deze naar wens aan te passen.

De maxi 77 heeft een maximale ballast van 800 kilogram dus op dit punt voldoet de boot volledig aan onze eisen. Het schip is 250 cm breed dus de breedte past ook binnen de eis dat de boot niet breder mag zijn dan 300 cm

Ook hebben wij verschillende Maxi 77 modellen aangeboden gezien op het internet voor prijzen tot 1500 euro. Dit is dus ook passend in het budget.

De Maxi 77



Dit schip heeft de volgende afmetingen:

- LOA= (lengte over alles) = 7,70 meter lang
- LWL= (lengte waterlijn) =6,60 meter lang
- Straal= 2,50 meter breed
- Diepte= 1,45 meter diep

7. Reflectie

7.1 Reflectie Team Leeuwarder Lyceum

Wanneer we terugkijken vanaf het begin tot het einde zien we dat we goed zijn gegroeid als groepje door het proces heen. We hadden in het begin wat moeite om op gang te komen, maar uiteindelijk ging de samenwerking goed. De samenwerking tussen beide groepen is ook goed gegaan en de taken zijn goed verdeeld.

Waling Brunner:

Ik wilde bereiken dat ik een goede Meesterproef zou inleveren. Als ik op de afgelopen periode terugkijk, denk ik ook dat dat is gelukt. Ik heb veel geleerd over schone scheepvaart en wat daarbij komt kijken. Ook heb ik ondervonden waar allemaal rekening mee gehouden moet worden tijdens het ontwerpen van een testboot. Op het gebied van samenwerking heb ik ook veel geleerd, door veel te vergaderen en de taken goed te verdelen. Voor de toekomst denk ik dat dit project handig is geweest, omdat er op het HBO ook veel onderzoeksopdrachten zijn en dat ik door de Meesterproef al enige ervaring heb met een groot project.

Gosse Visser:

Terugkijkend op deze periode heb ik een hoop geleerd. Dit laatste jaar Technasium heeft me onder andere goed geleerd samen te werken. Vooral met de groep uit Sneek moesten we een hoop contact houden en van elkaar leren. Als ik nu het project zo zie ben ik daar erg trots op. Ook heb ik geleerd hoe ik met Excel om moet gaan, wat ik voor later goed kan gebruiken. Dit heeft ook geholpen bij het vinden van mijn studiekeuze. Ik ben erachter gekomen dat alle berekeningen en uitzoeken van dingen mij goed liggen. Verder vind ik dit project interessant aangezien ons project later nog iets kan opleveren.

Jasper van der Wurf:

Dit was voor mij een goede afsluiter van het Technasium. Ik heb tijdens dit project extra goed leren samenwerken door met een groep van een andere school te samenwerken. Het onderwerp sluit goed aan bij de studie Maritiem officier die ik wil gaan doen. Ik vond het tijdens dit project erg lastig om echt een kwalitatief verslag te typen. Ik heb geleerd wat er allemaal komt kijken bij het ontwerpen en bedenken van een testopstelling. Het is leuk om onderdeel geweest te zijn van iets dat een groot project is.

Team Leeuwarder Lyceum



Jasper, Waling en Gosse

7.2 Reflectie Team Bogerman

Wij kijken over het algemeen positief terug op onze Meesterproef. Het was een leuke, leerrijke, uitdagende en interessante tijd waar we veel aan gehad hebben. De samenwerking met de drie jongens van het Leeuwarder Lyceum was een leuke manier van samenwerken, waar we ook veel hebben geleerd om samen te werken.

Durk Willem Dijkstra:

Ik heb de Meesterproef als een grote proef op zich ervaren, door de samenwerking met het Leeuwarder Lyceum, en dan een opdracht mogen doen voor een bedrijf dat wil zorgen dat de uitstoot in de zeevaart verminderd wordt. Ik had er in het begin wel nog een beetje een sceptisch beeld over, omdat de opdracht tot 4 keer toe gewijzigd is. Maar al met al heeft dit allemaal wel voor een mooie afsluitende tijd van mijn O&O periode gezorgd. Waar ik mij uiteindelijk dan ook het meest op gericht heb tijdens de Meesterproef was het zorgen voor een uiteindelijk 3D model. Daarnaast heb ik met andere dingen geholpen en nagedacht, om ervoor te zorgen dat echt alles goed doordacht is, zodat wij als team een gigantisch mooie uitwerking aan eConowind op te leveren. Ik kijk dan ook echt met een volbracht gevoel op de Meesterproef terug.

Martijn Stienstra:

Ik wist voor deze Meesterproef eigenlijk nog vrij weinig over de maritieme sector. Het was daarom extra leuk om nieuwe dingen te onderzoeken en te leren. Het project zelf was vrij divers en bleef daarom leuk om mee bezig te zijn. De samenwerking met een andere school was een leuke extra uitdaging en, al was het soms een beetje moeilijk qua taakverdeling, heeft uitgepakt in een goed lopend team wat plezier had in het maken van iets dat hopelijk eConowind gaat helpen. Ik kijk terug op een geslaagd project waar ik heel veel van geleerd heb.

Team CSG Bogerman, Sneek



Durk Willem en Martijn

8. Bijlage

Bronnengenerator. (Z.D.). Scribbr.nl. Geraadpleegd op 27 november 2020, van

<https://www.scribbr.nl/bronnengenerator/apa/>

Voorwoord schrijven - Hoe doe je dat? (Z.D.). Ipskamp Printing. Geraadpleegd op 20

november 2020, van <https://www.ipskampprinting.nl/boek-schrijven/voorwoord-schrijven/>

Hofstede, H. (Z.D.). *zwaartepunt*. Zwaartepunt. Geraadpleegd op 23 november 2020, van

<https://www.hhofstede.nl/modules/zwaartepunt.htm>

DOKKUM, K. VAN, KATEN, H. TEN (2007): *Scheepsstabiliteit*, Dokmar, Enkhuizen,

Waarom een catamaran? (Z.D.). Bouw project G-Force1500C catamaran. Geraadpleegd op

27 november 2020, van <http://precat.nl/waarom-een-catamaran/>

Het perfecte natuurkunde verslag. (Z.D.). natuurkundeuitgelegd.nl. Geraadpleegd op 27

november 2020, van <https://natuurkundeuitgelegd.nl/verslag.php>

Onderzoek & Ontwerpen | Technasium.nl. (Z.D.). technasium.nl. Geraadpleegd op 30

november 2020, van <https://www.technasium.nl/content/onderzoek-ontwerpen>

search engine reports. (zed.). *plagiaat checker*. search engine reports. Geraadpleegd op 8

december 2020, van <https://searchenginereports.net/nl/plagiarism-checker>

Gunneweg, D. G. (z.d.). *stabiliteit op een zeilboot*. natuurkunde.nl. Geraadpleegd op 27 januari 2021, van <https://www.natuurkunde.nl/artikelen/445/stabiliteit-op-een-zeilboot>

Zeilersforum.nl: Catamaran of kajuitzeiljacht (1/1). (2008, 3 september). zeilersforum.
<https://zeilersforum.nl/index.php/forum-125/59-overige-algemene-vragen/41763-catamaran-of-kajuitzeiljacht>

Waal, E. (2015, 13 juni). *Framematerialen*. De Fietssite.nl.
<https://defietssite.nl/framematerialen-2/>

Benders, L. (2020, 18 augustus). *Samenvatting (abstract) van een scriptie*. Scribbr.
<https://www.scribbr.nl/scriptie-structuur/management-samenvatting-abstract-van-een-scriptie/>

Sailboatdata.com: Maxi 77. Geraadpleegd op 9 December 2020, 9 maart 2021.
<https://sailboatdata.com/sailboat/maxi-77?units=metric>

Specifieke modulus (specifieke stijfheid) Term Definitie. (z.d.).
www.manufacturingterms.com.
[https://www.manufacturingterms.com/Dutch/Specific-modulus-\(specific-stiffness\).html#:~:text=De%20verhouding%20van%20elasticiteitsmodulus%20aan%20soortelijk%20gewicht%20voor%20een%20materiaal.&text=Specifieke%20modulus%20is%20een%20materiaal,masse-dichtheid%20van%20](https://www.manufacturingterms.com/Dutch/Specific-modulus-(specific-stiffness).html#:~:text=De%20verhouding%20van%20elasticiteitsmodulus%20aan%20soortelijk%20gewicht%20voor%20een%20materiaal.&text=Specifieke%20modulus%20is%20een%20materiaal,masse-dichtheid%20van%20)

Afbeelding voorpagina.
<https://frieschdagblad.nl/2020/9/11/student-werkt-aan-duurzame-sector-op-hernieuwde-zeevaartschool-terschelling>