



HOGERE ZEEVAARTSCHOOL ANTWERPEN

FACULTEIT SCHEEPSWERKTUIGKUNDE

Scheepsweerstand

Pepijn Doppen

Scriptie voorgedragen tot het behalen
van de graad van
Bachelor in de Scheepswerktuigkunde

Promotor: Stefaan Bueken
academiejaar: 2019 – 2020

Voorwoord

Mijn scriptie gaat over het meten van de rompweerstand van de zonneboot. Het doel is om een meetopstelling te realiseren om daarmee te onderzoeken welke romp voor de zonneboot het meest geschikt zou zijn.

Het idee om de scheepsweerstand te meten was afkomstig van mijn mentor Stefaan Bueken. Toen hij dit onderwerp voorstelde, was ik al snel geïnteresseerd. Dit onderwerp sprak mij voornamelijk aan omdat ik, om mijn doel te bereiken, alle praktische aspecten van mijn opleiding zal kunnen toepassen. Dit houdt in dat ik mijn opstelling in Inventor moest ontwerpen en daarna deze ook moest construeren. Het gedeelte waar dat ik vooral tegen op keek was het elektronisch gedeelte. Er moest namelijk een flink programma geschreven worden die alle parameters leest en aanstuurt, wat een flinke uitdaging was gezien mijn gelimiteerde kennis over het programmeren.

Het was voor mij ook belangrijk om bij te leren over het onderwerp scheepsweerstand zelf, en dat ik uiteindelijk iets meer inzicht zou krijgen in waarom water weerstand biedt aan de romp.

Mijn dank gaat naar Mr. Bueken die mij tijdens de gehele duur van mijn thesis heeft begeleid. Ook wil ik expliciet Mr. Maes en Mr. Floren bedanken voor de hulp die zij mij hebben geboden bij de realisatie van het elektronisch gedeelte.

Samenvatting

Het doel van deze thesis is om de rompweerstand bij verschillende rompen van de zonneboot te meten. Op deze manier kunnen we uiteindelijk de romp met de minste weerstand kiezen en deze vervolgens toepassen op de daadwerkelijke zonneboot.

De opstelling zelf bestaat uit een slinger waarop een winch werd gemonteerd. Deze winch zal de romp over het water trekken. De slinger waarop de winch is gemonteerd zou op dat ogenblik naar voren willen gaan, omdat de romp een bepaalde weerstand biedt aan het water. De kracht waarmee de slinger naar voren wordt getrokken moet de rompweerstand voorstellen. Hiervoor wordt een krachtmeter gebruikt waarop de grootte van deze kracht of rompweerstand valt af te lezen.

De snelheid waarop de winch draait wordt weergegeven in, en aangestuurd door het programma Arduino. Het koord dat wordt opgerold door de winch moet ook mooi over de trommel verdeeld worden. Dit wordt gerealiseerd door het gebruik van een lineaire stappenmotor die ook wordt aangestuurd door Arduino.

Abstract

The main purpose of this final paper is to measure the hull resistance of different kind of hulls for the solar boat. This way we can choose a hull for the solar boat with the least hull resistance.

The measuring set-up consists of a sling on which a winch was mounted. This winch will pull the hull over the water. The sling on which the winch is mounted would want to move forward at that point because the hull undergoes resistance. The force with which the sling is pulled forward represents the hull resistance. For this, a force meter is used on which the magnitude of this force or hull resistance can be read.

The speed at which the winch runs is displayed and controlled by Arduino. The cord that is rolled up by the winch must also be nicely distributed over the drum. This is achieved through the use of a linear stepper motor which is also controlled by Arduino.

INHOUDSOPGAVE

INHOUDSOPGAVE	1-v
1 Lijst van figuren	1-viii
1. Inleiding	1-1
2 Scheepsweerstand	2-2
2.1 Aandrijfwerk	2-3
2.2 Effective Horsepower	2-4
2.3 Bepaling EHP	2-5
2.3.1 Towing Tank Experiment	2-5
2.3.2 Computer Modeling.....	2-7
2.4 Total Hull Resistance	2-8
2.5 Weerstanden	2-9
2.6 Viskeuze weerstand.....	2-10
2.6.1 Grenslaag	2-12
2.6.2 Het Reynolds getal.....	2-13
2.7 Golfmakende Weerstand	2-14
2.7.1 Scheepsgolf.....	2-14
2.7.2 Divergerende Golven	2-14
2.7.3 Dwarsgolf.....	2-15
2.7.4 Snelheid en Lengte van het schip	2-16
2.8 Luchtweerstand.....	2-18
2.9 Restweerstanden	2-18
2.9.1 Aanhangel weerstanden.....	2-18
2.9.2 Wind en zeestroom weerstand.....	2-18
2.9.3 Weerstand toegevoegd als gevolg van golven	2-19
2.9.4 Weerstand in ondiep water	2-19
2.10 Verminderen weerstand zonneboot.....	2-19
2.10.1 Draagvleugels.....	2-20
2.10.2 Luchtsmering	2-20
2.10.3 Hull cleaning	2-20
2.10.4 Omnifobische coating	2-21
3 Ontwerpen	3-22
3.1 Eerste ontwerp: Wielmpjes	3-22
3.2 Tweede Ontwerp: Dubbele scharnier	3-23
3.3 Definitieve Ontwerp: Slinger.....	3-24
3.3.1 Materiaal en opmerkingen.....	3-25
3.3.2 Schets.....	3-26
4 Onderdelen	4-27
4.1 Elektromotor	4-27

4.2	Frequentieregelaar.....	4-27
4.2.1	Geleiders	4-28
4.3	Trommel	4-29
4.3.1	Trommel Diameter	4-29
4.3.2	Trommel Lengte.....	4-30
4.3.3	Schets.....	4-30
4.4	Draadgeleider	4-31
4.4.1	Werking stappenmotor	4-32
4.4.2	Stepperdriver	4-32
4.5	Krachtsmeter	4-33
4.5.1	PCE-HS 150N.....	4-33
4.5.2	Meetopstelling.....	4-33
5	Praktisch	5-34
5.1	Terminologie	5-34
5.2	As van de Slinger.....	5-35
5.2.1	Bril	5-36
5.2.2	Lagerpassing	5-36
5.3	Koker rond het lager	5-37
5.4	Trommel	5-37
5.4.1	Flenzen.....	5-38
5.4.2	Schroefdraad	5-39
6	Programmeren.....	6-40
6.1	Doelstelling	6-40
6.2	Arduino	6-40
6.2.1	Schema	6-41
6.3	Snelheidsmeter.....	6-43
6.3.1	Werking	6-43
6.3.2	Hall-effect sensor.....	6-44
6.4	Lineaire Stappenmotor.....	6-44
6.4.1	Werking	6-44
6.4.2	Snelheid.....	6-44
6.4.3	Berekening stappen	6-45
6.4.4	Aansluiting stepperdriver met stappenmotor	6-45
6.4.5	Serie	6-45
6.4.6	Parallel.....	6-46
6.5	PID.....	6-46
6.5.1	Pulsebreedtemodulatie	6-46
6.5.2	RC-filter	6-47
6.5.3	Werking PID.....	6-47

6.5.4	Ziegler-Nichols PID tuning	6-48
6.6	Electromagnetic Interferences.....	6-49
6.6.1	Probleem	6-49
6.6.2	Oplossingen.....	6-51
6.6.3	RC-kring	6-52
6.7	Programma.....	6-54
6.8	Frequentieregelaar.....	6-58
6.8.1	Schema	6-58
6.8.2	Parameter Settings	6-59
7	Conclusie	7-60
8	Bibliografie.....	8-61
9	Bijlagen	9-64
9.1	Rompweerstand vermindering bij grote schepen.....	9-64
9.1.1	Bulbsteven	9-64
9.1.2	Trimmen	9-64
9.2	Aansluiting 8-draads stappenmotor.....	9-65
9.3	VFD pin lay-out	9-66
9.4	Arduino programma	9-67

1 Lijst van figuren

Figure 1 Vermogen.....	2-3
Figure 2 Sleepbasin.....	2-5
Figure 3 EHP curve	2-6
Figure 4 Towing Tank Experiment.....	2-6
Figure 5 Computer Modeling	2-7
Figure 6 Totale rompweerstand curve	2-8
Figure 7 Weerstandsverliezen	2-9
Figure 8 Towing Tank Experiment.....	2-9
Figure 9 Lichaam in Non-Viskeus water	2-10
Figure 10 Lichaam in Viskeus water.....	2-10
Figure 11 Verschil viskeuze- en drukweerstand	2-11
Figure 12 Grenslaag.....	2-12
Figure 13 Laminaire en Turbulente stroming.....	2-12
Figure 14 Dwars- en divergerende golf	2-14
Figure 15 Dwars- en divergerende golf	2-15
Figure 16 Invloed snelheid op golflengte	2-16
Figure 17 Golfweerstand curve	2-17
Figure 18 Luchtweerstand	2-18
Figure 19 Wieltjes ontwerp	3-22
Figure 20 Scheeftrekken motor	3-23
Figure 21 Dubbelwerkend scharnier.....	3-23
Figure 22 Rusttoestand scharnier	3-24
Figure 23 Slinger ontwerp	3-24
Figure 24 Vierkant buisprofiel.....	3-25
Figure 25 Statief	3-26
Figure 26 Slinger	3-26
Figure 27 Kenplaat elektromotor	4-27
Figure 28 VFD keuze.....	4-28
Figure 29 Geleider keuze	4-28
Figure 30 Kenteken motor	4-29
Figure 31 Diameter motor-as.....	4-29
Figure 32 Trommel afmetingen	4-30
Figure 33 Draadgeleider.....	4-31
Figure 34 Stappenmotor met werking.....	4-32
Figure 35 Stepperdriver.....	4-32
Figure 36 Krachtmeter.....	4-33
Figure 37 Meetopstelling	4-33
Figure 38 Slinger ontwerp	5-34
Figure 39 As van slinger ontwerp	5-35
Figure 40 As afmetingen	5-35
Figure 41 Bril draaibank	5-36
Figure 42 Koker voor de lagers	5-37
Figure 43 Trommel	5-37
Figure 44 Binnenmeter	5-38
Figure 45 Trommelflenzen.....	5-38
Figure 46 Schroefdraad tabel	5-39
Figure 47 Arduino AtMega.....	6-40
Figure 48 Arduino schema	6-41
Figure 49 LCD pin-layout.....	6-42
Figure 50 IR-sensor.....	6-43
Figure 51 Serieschakeling stappenmotor	6-45

Figure 52 Parallelschakeling stappenmotor.....	6-46
Figure 53 PWM	6-47
Figure 54 RC-kring	6-47
Figure 55 PID werking	6-47
Figure 56 stabiel oscilleren	6-48
Figure 57 Formules PID	6-48
Figure 58 Verloop snelheidsregeling	6-49
Figure 59 signaal sensor motor off	6-50
Figure 60 Signaal sensor motor on.....	6-50
Figure 61 EMI.....	6-51
Figure 62 Signaal sensor met Laagdoorlaat filter	6-52
Figure 63 Serie RC-kring.....	6-52
Figure 64 parallel RC-kring.....	6-53
Figure 65 Stuurschema	6-58

1. Inleiding

Bij de bouw van het schip is het belangrijk om rekening te houden met de rompweerstand zodat we het schip zo efficiënt mogelijk kunnen maken, afhankelijk van het doel en soort schip dat wordt ontworpen. Zeker bij de bouw van een raceboot moet de rompweerstand zo klein mogelijk zijn om veel hogere snelheden te behalen. In deze scriptie ga ik een meetopstelling maken zodat we de rompweerstand van de zonneboot kunnen bepalen. Uiteindelijk wil ik het effect van de aanpassingen aan de romp kunnen waarnemen om de meest optimale romp te bepalen.

Deze thesis bestaat uit een theoretisch gedeelte waarin ik zal uitleggen wat scheepsweerstand precies is en welke factoren deze beïnvloeden. Vervolgens bespreek ik het ontwerp en de onderdelen die aan bod komen in de meetinstallatie. Hierbij ook een klein woordje uitleg over hoe ik te werk ben gegaan bij de constructie van de meetopstelling. Ten laatste zal ik het elektronisch gedeelte beschrijven, meer bepaald; het arduino programma/schema en de algemene werking, in combinatie met de problemen die ik tegen ben gekomen.

Wat betreft de conclusie is het belangrijk om te vermelden dat deze thesis is afgerond ten tijde van de Covid-19 lockdown. Dit wil zeggen dat er bepaalde aspecten zijn van de thesis die niet volledig afgewerkt of getest konden worden vanwege de strikte verplaatsingsmaatregelen.

2 Scheepsweerstand

Hoe berekenen we de scheepsweerstand, welke factoren spelen hier mee, en hoe kunnen we deze kennis aangrijpen om de zonneboot zo efficiënt mogelijk (lees, zo snel mogelijk), te laten varen. Dat is de vraag die ik in dit hoofdstuk stel. Dit hoofdstuk zal ook de theoretische basis schetsen waarin deze thesis is gegrond. Deze zal later ook terugkomen in het ontwerp en praktische gedeelte. Hoewel de praktische kant van de thesis de invloed van verschillende scheepsrompen zal meten op de weerstand en efficiëntie van de zonneboot, komen er in dit hoofdstuk nog enkele andere zaken aan bod die te maken hebben met de weerstand en efficiëntie van de scheepsromp.

2.1 Aandrijfwerk

Vooraleer ik bespreek welke verschillende factoren de weerstand van de romp beïnvloeden, is het interessant om een kijkje te nemen waarom de scheepsweerstand belangrijk is.

Wanneer een scheepsromp wordt ontworpen is het belangrijk voor de scheepsarchitect om te weten welk vermogen er nodig is om het schip te bekrachtigen om zo aan de optimale operationele eisen te voldoen.

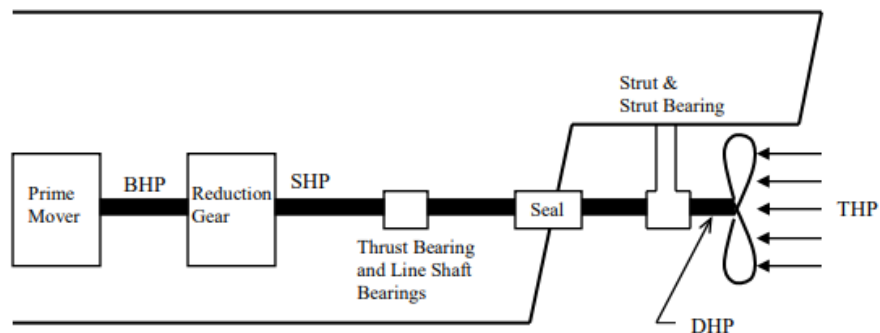


Figure 1 Vermogen

Bovenstaande figuur geeft een goed overzicht. Het toont waar het vermogen vandaan komt en waar men het verliest, en dit is belangrijk bij de keuze van het juist vermogen dat het schip voortstuwt.

- BHP (Brake Horsepower): output vermogen van main engine.
- SHP (Shaft Horsepower): output vermogen van main engine met de verliezen van de reduction gear er vanaf getrokken.
- DHP (Delivered Horsepower): Het uiteindelijke vermogen wat men over heeft met de verliezen van de lagers en de stern tube er bij in gerekend.
- THP (Thrust Horsepower): De draaiende beweging wordt geconverteerd naar nuttige stuwkracht. Hierbij worden de verliezen meegerekend.
 $THP = DHP - \text{Schroefverliezen}$
- **EHP (Effective Horsepower):** Is het vermogen dat nodig is om de scheepsromp met een bepaalde snelheid te verplaatsen zonder propeller. Het is gelijk aan het product van de weerstand en de snelheid van het schip.

$$\mathbf{BHP > SHP > DHP > THP (>EHP)}$$

Bij het ontwerp van het schip houdt men eerst rekening met de EHP. Van daaruit kunnen ze de hoeveelheid Brake Horsepower berekenen.

2.2 Effective Horsepower

Er zijn bepaalde parameters van het schip die vast zijn en onveranderd blijven. Hiermee wordt er bedoeld dat het vermogen van de motor en de propeller, de verliezen van de lagers en de reduceerkast allemaal vaste waarden hebben. Bij effective horsepower is dit daarentegen niet het geval. De hull van het schip is namelijk niet universeel voor elk type schip: Een crude oil tanker heeft bijvoorbeeld een grotere diepgang en is logger uitgebouwd dan een container schip. Als je de totale rompweerstand en de snelheid kent, kan men uit deze waarden de EHP berekenen.

De formule voor Effective Horsepower luidt als volgt:

$$EHP = \frac{R_T \times v \times g}{1000}$$

- R_T = Totale romp weerstand(kg)
- V = Snelheid(m/s)
- G = Zwaartekracht(m/s^2)
- EHP = Effective Horsepower(kW)

Als je de EHP weet kan je beginnen met de berekening van de Hull Efficiency. Van daaruit kan men de volgende efficiencies berekenen:

Gear Efficiency	$\eta_{gear} = \frac{SHP}{BHP} \approx 0.95 - 0.99$
Shaft Efficiency	$\eta_{shaft} = \frac{DHP}{SHP} \approx 0.97 - 0.99$
Propeller Efficiency	$\eta_{propeller} = \frac{THP}{DHP} \approx 0.65 - 0.75$
Hull Efficiency	$\eta_{hull} = \frac{EHP}{THP}$

Om het nog gemakkelijker te maken en veel rekenwerk te besparen zijn alle efficiencies onder een noemer geplaatst: Propulsive Efficiency(η_P) of Propulsive Coëfficiënt(PC).

De Propulsive Efficiency is de verhouding tussen Effective en Shaft Horsepower. Met deze ratio kan de scheepsarchitect een direct vermogen bepalen voor de motor in het schip. Deze efficiëntie ligt tussen 55% en 75%.

$$\eta_P = PC = \frac{EHP}{SHP} = \eta_{Gear} \eta_{Shaft} \eta_{Propeller} \eta_{Hull}$$

2.3 Bepaling EHP

De EHP van een schip kan bepaald worden op 2 manieren:

- Towing Tank Experiment
- Computer Modeling

2.3.1 Towing Tank Experiment

In de praktijk, wanneer een schip wordt ontworpen, wordt de EHP bepaald door de Towing tank experiment. Het schip wordt op kleine schaal in een sleepbasin geplaatst die enkele meters breed en honderden meters lang is.

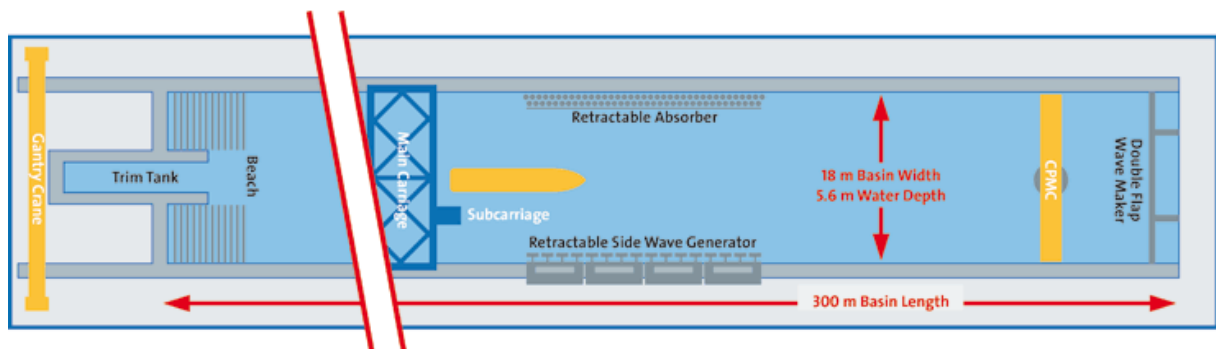


Figure 2 Sleepbasin

Op de randen van het basin loopt een wagon op een rails, die het schip kan voorttrekken en kan volgen. De wagon is uitgerust met meetapparatuur waarmee men de snelheid, vermogen, rompweerstand, etc. kan meten en uitrekenen. De EHP wordt bepaald door het schip te trekken aan een bepaalde snelheid. De computer zal de weerstand meten die het schip ondervindt bij verschillende snelheden. Aan de hand van deze parameters kan de EHP berekend worden van het schip op schaal.

Om de EHP van het schip op werkelijke schaal te brengen, vermenigvuldigt men de EHP met de Scale factor.

$$Scale\ factor = \lambda = \frac{Lenght_{ship}}{Lenght_{model}}$$

Door de EHP bij verschillende snelheden te plotten, bekomt men een curve die er zo uit zou kunnen zien:

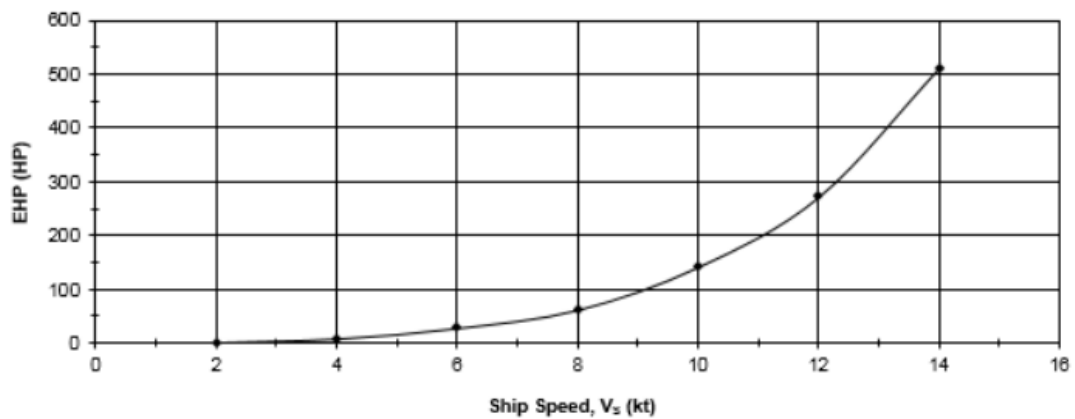


Figure 3 EHP curve

Wat we uit deze curve kunnen concluderen is dat de EHP bij lage snelheid minder snel stijgt in tegenstelling tot de stijging bij hogere snelheden. Om een hogere snelheid te behalen is er dus meer vermogen nodig en dit betekent meer fuel consumptie bij hogere snelheden.

Het doel van deze opstelling is om de schepen, voordat ze gemaakt worden, uit te testen. Hierdoor kunnen ze schepen ontwerpen met een zo optimaal mogelijke efficiëntie.



Figure 4 Towing Tank Experiment

2.3.2 Computer Modeling

Computer Modeling is een techniek waarmee men de stroming van het water gaat simuleren op de computer. Deze techniek wordt ook wel computational fluid dynamics genoemd.

Men gaat het schip simuleren op de computer en het gedrag van het gesimuleerde fluidum bestuderen. Hieruit kan men de EHP berekenen en zo de grafiek opstellen zoals bij de Towing Tank Experiment.

Dit is echter niet de beste methode, omdat het simuleren van het gedrag van water zeer complex is. Daarom geeft men doorgaans de voorkeur aan de Towing Tank Experiment.

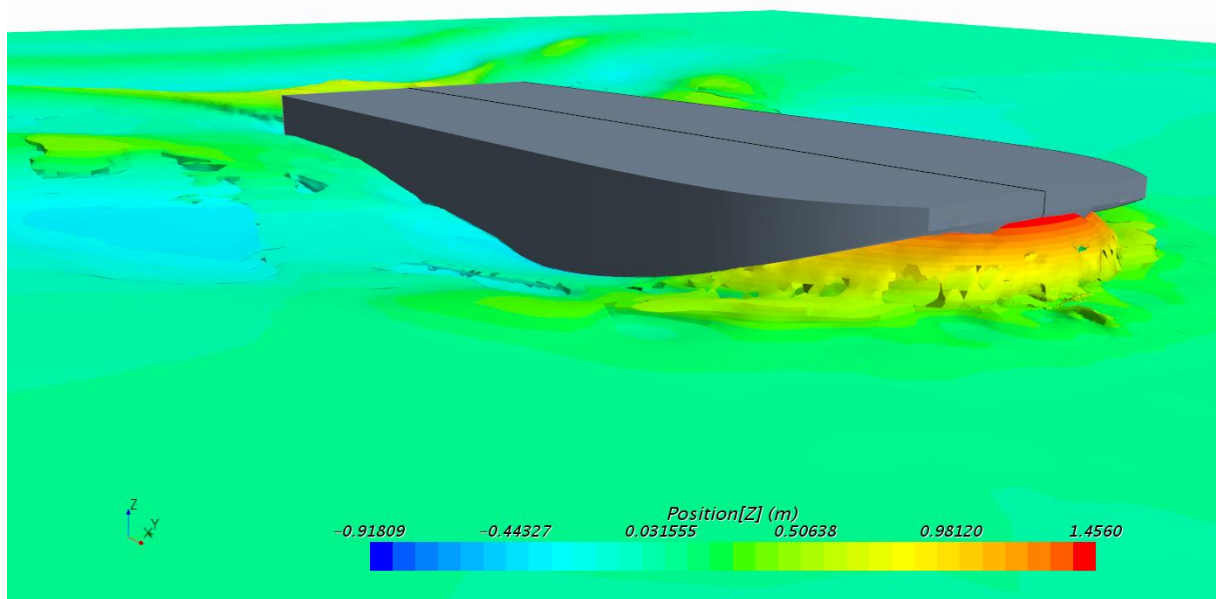


Figure 5 Computer Modeling

2.4 Total Hull Resistance

In het vorige hoofdstuk heb ik besproken dat het product van de rompweerstand en de snelheid de Effective Horsepower wordt. De rompweerstand wordt bij verschillende snelheden gemeten doormiddel van het towing tank experiment. De totale rompweerstand wordt gemeten in kalm water, wanneer een schip aan een bepaalde snelheid vaart. Deze totale tegenwerkende kracht is de som van alle weerstanden die op de romp worden uitgeoefend.

$$R_T = R_V + R_W + R_A$$

- R_T = Total Hull Resistance
- R_V = Viscous Resistance
- R_W = Wave making Resistance
- R_A = Air Resistance

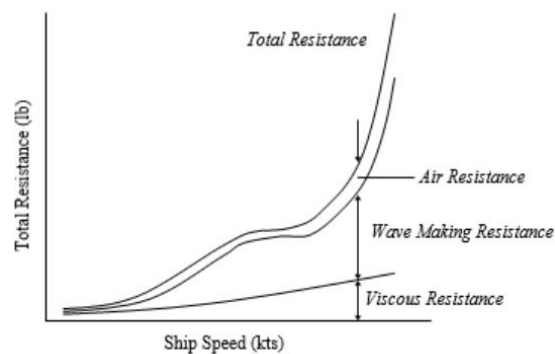


Figure 6 Totale rompweerstand curve

De grafiek toont aan welke invloed de snelheid heeft op de scheepsweerstand. In het begin van de curve merk je op dat naarmate de snelheid toeneemt de rompweerstand niet drastisch verhoogt. Als je de snelheid dan nog opvoert, zal je zien dat de curve een constante weerstand aantoont naarmate de snelheid toeneemt. Als men de snelheid dan nog meer opvoert zal de weerstand met een derde macht toenemen.

2.5 Weerstanden

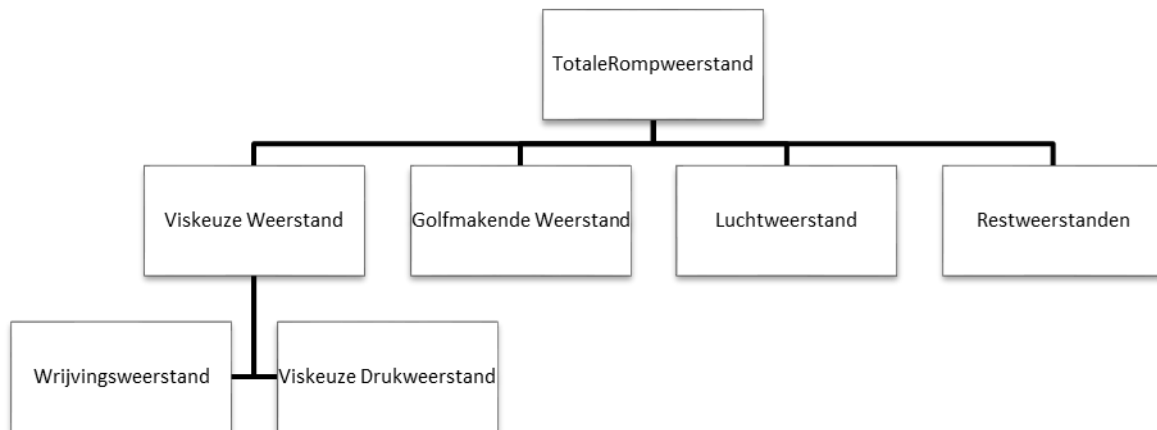


Figure 7 Weerstandsverliezen

In het Towing Tank Experiment meet men de rompweerstand van het schip.

Hierbij wordt de totale rompweerstand ingedeeld in 2 componenten, volgens de International Towing Tank Conference (ITTC).

- Viskeuze weerstand
- Golfmakende weerstand

De luchtweerstand wordt hierbij niet meegerekend, omdat de superstructure verwaarloosd wordt tijdens de testen.

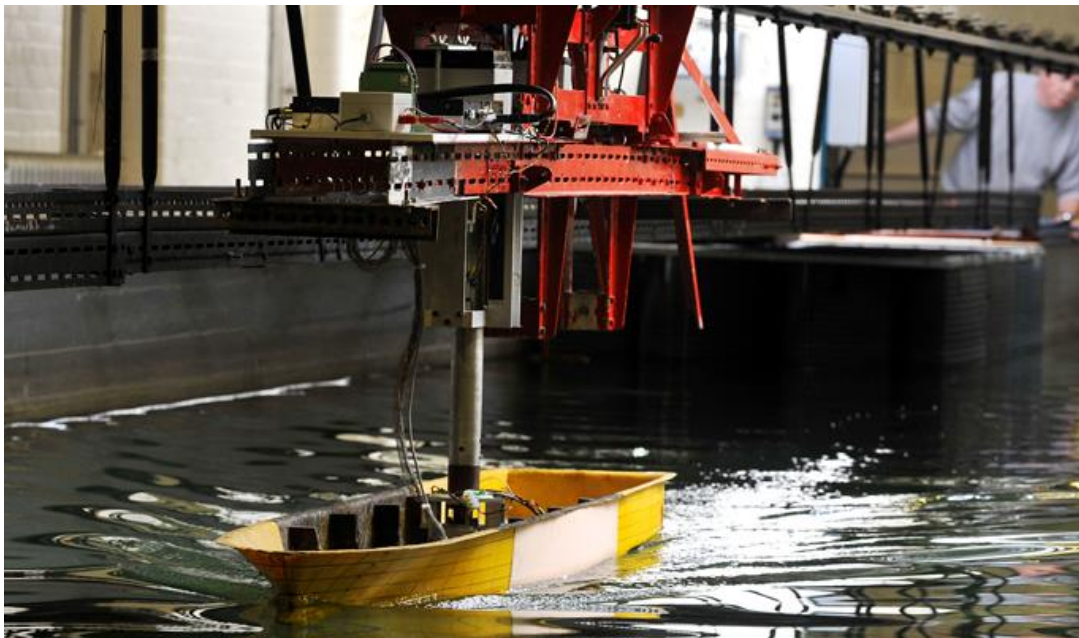


Figure 8 Towing Tank Experiment

2.6 Viskeuze weerstand

Als een schip vaart aan een bepaalde snelheid, ondervindt deze weerstand door de viscositeit van het water en de ruwheid van de romp.

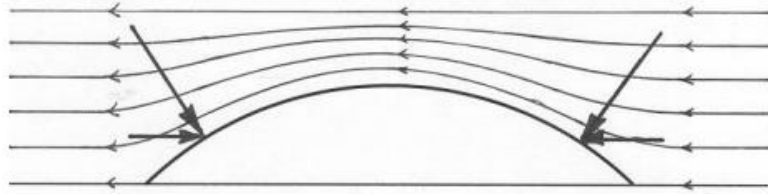


Figure 9 Lichaam in Non-Viskeus water

In ideale omstandigheden, wanneer een schip aan het varen is in een niet-viskeuze vloeistof, zal er een druk werken op het voorschip en op het achterschip.

In ideale omstandigheden zullen deze 2 drukken elkaar opheffen, waardoor het water geen weerstand levert aan het schip.

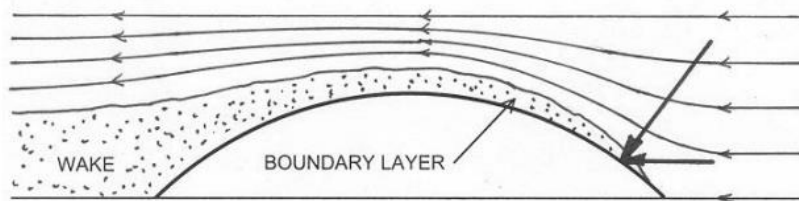


Figure 10 Lichaam in Viskeus water

In de realiteit is dit niet het geval: water beschikt over een viscositeit en zal een grenslaag vormen.

De Viskeuze weerstand wordt opgedeeld in 2 componenten:

- **Wrijvingsweerstand:** De kracht die nodig is om het water vlak langs 'de romp mee te sleuren.
- **Viskeuze drukweerstand:** Doordat een schip niet in een ideale vloeistof vaart, wordt de druk die aan het voorschip wordt geleverd niet gelijk getrokken op het achterschip. Hierdoor is er een drukverschil.

Een schip kan op 2 manieren belast worden: op wrijving- of drukweerstand. Je kunt een crude oil tanker hebben die log is uitgebouwd, of een oorlogschip hebben die slanker is uitgebouwd. Deze 2 schepen die over een compleet andere romp beschikken kunnen beide even veel belast worden op wrijvingsweerstand, maar verschillend belast worden op viskeuzedruk weerstand. Dit komt doordat een crude oil tanker logger is uitgebouwd.

- Oorlogschip: Deze snijdt als het ware een weg door het water, waardoor het water langs de romp gaat wrijven en er een minder groot drukverschil heerst tussen voor- en achterchip.
- Crude oil tanker: Doordat deze log is uitgebouwd, duwt het voorschip het water weg van de romp. Waardoor er een hogere druk heerst aan het voorschip. Wat zorgt voor een groter drukverschil tussen het voorschip en het achterschip.

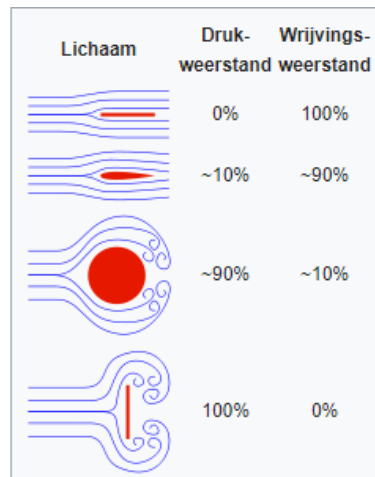


Figure 11 Verschil viskeuze- en drukweerstand

Wanneer het water langs de romp stroomt zal deze weerstand bieden aan het bewegend schip. Het stromend water langs het schip zal van een laminaire stroming naar turbulente stroming overgaan. Hierbij zal de turbulente stroming alle weerstand bezitten en de laminaire stroming zo goed als geen weerstand. Belangrijk om te weten is dat laminaire stroming op het voorschip gebeurt en de turbulente stroming op het achterschip.

Als we deze theorie gaan bekijken bij een oorlogschip en crude oil tanker. Zal de lengte van de laminaire stroming bij een oorlogschip vrij groot zijn tot deze afbreekt naar een turbulente stroming. Terwijl bij crude oil tankers, de lengte van de laminaire stroming verwaarloosbaar klein zijn. In andere woorden; de crude oil tanker zal meer belast worden op viskeuze drukweerstand. Dit wordt duidelijker verder in het hoofdstuk.

Op het moment dat de overgang van laminair naar turbulent wordt gevormd, ontstaat de grenslaag. Deze is te zien als een witte band rond het schip. De grenslaag en de tegenwerkende kracht worden groter naarmate de snelheid toeneemt.

2.6.1 Grenslaag

De grenslaag is een verschijnsel dat optreedt wanneer een gas of een vloeistof langs een wand stroomt.

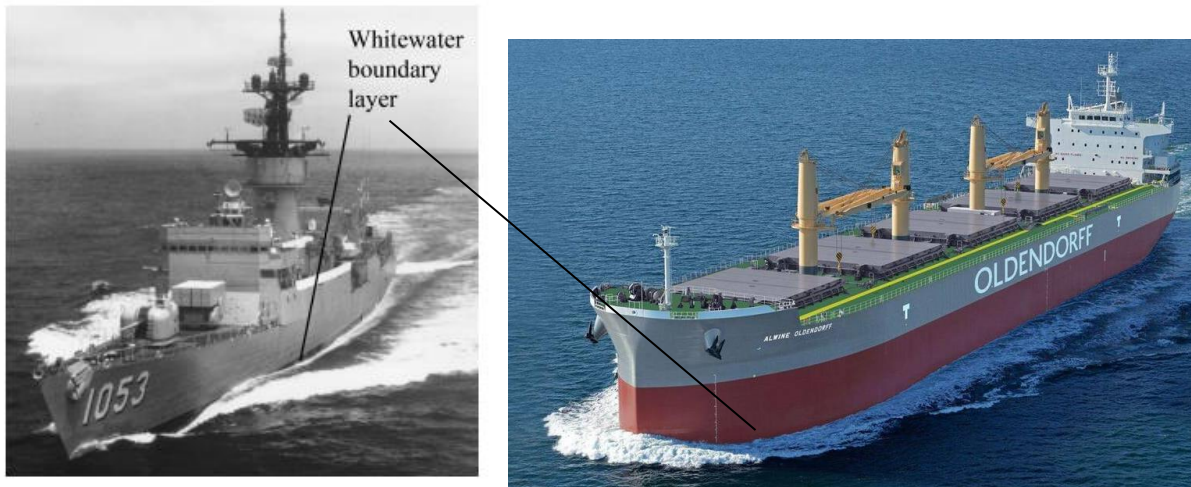


Figure 12 Grenslaag

Wanneer een schip in beweging is, zal op het voorschip voor een korte afstand het water mooi mee vloeien met het schip.

Dit verschijnsel wordt ook wel laminaire stroming genoemd. Dit is een dunne laag vloeistof die parallel met dezelfde snelheid als het schip voortbeweegt. De Laminaire stroming ondervindt zo goed als geen weerstand.

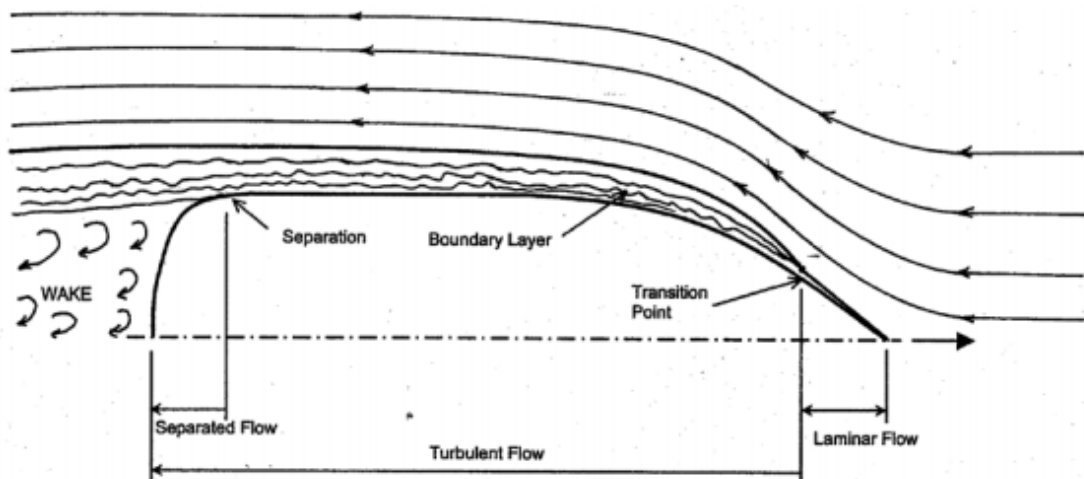


Figure 13 Laminaire en Turbulente stroming

Naarmate de vloeistof verder over de romp beweegt, begint deze laminaire stroming af te breken, tot het overgangspunt. Vanaf dit punt krijg je de overgang naar turbulente stroming. Door de turbulentie van het water ondervindt deze grote weerstand, in de vorm van tegenwerkende stroming omdat de waterdeeltjes niet meer over dezelfde snelheid als het schip beschikken.

2.6.2 Het Reynolds getal

Om de laminaire en turbulente stroming te bepalen maakt men gebruik van het Reynolds getal (R_n). Dit dimensie-loos getal vertegenwoordigt hoe de stroming verloopt en waar het overgangspunt gelegen is.

De formule voor het bepalen van het Reynolds getal is de volgende:

$$R_N = \frac{LV}{\nu}$$

- R_N is het Reynolds getal
- L = Lengte van het schip(m)
- V = Snelheid(m/s)
- ν = kinetische viscositeit water(m^2/s)

Laminaire stroming	$R_n < 5 \times 10^5$
Turbulente stroming	$R_n > 1 \times 10^6$
Overgangspunt	$5 \times 10^5 < R_n < 1 \times 10^6$

2.7 Golfmakende Weerstand

Als een schip in beweging is, zullen er golven ontstaan. Deze golven worden groter naarmate de snelheid van het schip toeneemt. De verloren energie bij het vormen van deze golven wordt ook groter. Deze verloren energie verwijst naar de golfmakende weerstand. Deze factor neemt men in rekening bij de bepaling van de maximale snelheid van het schip.

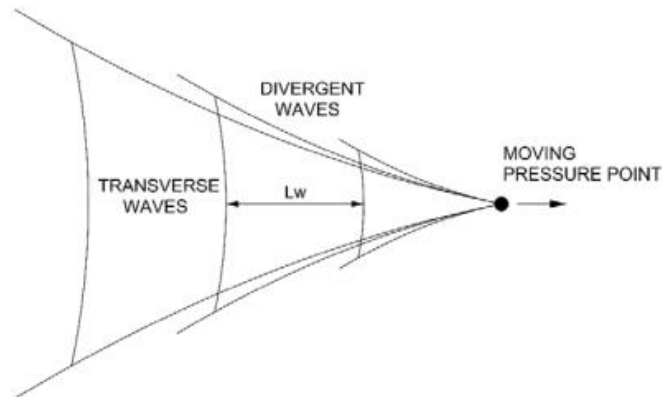


Figure 14 Dwars- en divergerende golf

2.7.1 Scheepsgolf

Een scheepsgolf wordt gecreëerd, doordat een lichaam tussen 2 stoffen met verschillende dichtheid (water en lucht) voortbeweegt.

In het hoofdstuk Wrijvingsweerstand, is er uitgelegd dat op het voorschip een hoge druk ontstaat en op het achterschip een lage druk. Deze drukverstoring in het water zal voor de golven zorgen. Deze golven treden op bij de boeg en achtersteven.

Een bewegend object in het water produceert golfsystemen. Deze worden in 2 categorieën gezet.

- Divergerende golven
- Dwarsgolven

2.7.2 Divergerende Golven

Deze golfpatronen moet de zog(of volgstroom) van het schip voorstellen. Dit zijn de golven die vanaf de boeg en achtersteven zich naar buiten begeven onder een hoek van 19 graden.

Deze hoek blijft onveranderd naarmate de snelheid toeneemt.

Deze 2 golfpatronen van de boeg en de achtersteven zullen niet interfereren met elkaar.

De divergerende golf zal niet veel weerstand bieden aan het schip.

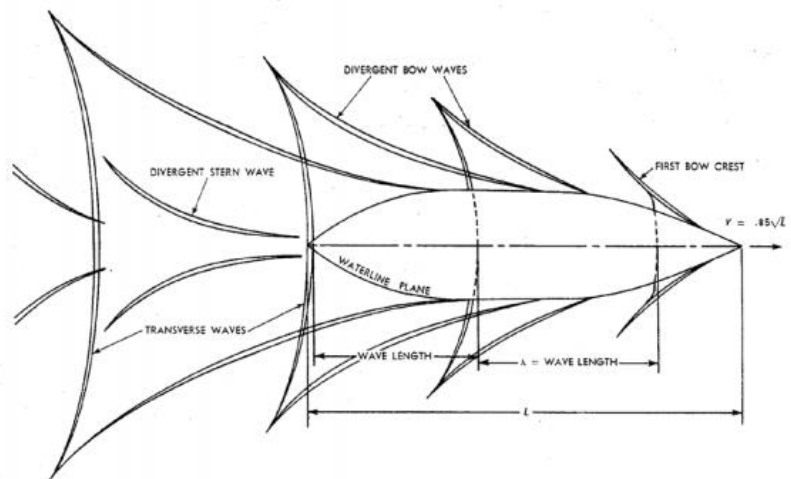


Figure 15 Dwars- en divergerende golf

2.7.3 Dwarsgolf

Dwarsgolfpatronen vormen het grootste gedeelte van de weerstand. Deze gaat gepaard met de lengte en de snelheid van het schip. Deze golfpatronen bewegen met dezelfde snelheid als het schip. Hoe sneller het schip vaart, des te groter is de afstand tussen deze golven.

$$L_W = \frac{2 \times \pi \times V^2}{g}$$

- L_W = Golflengte(m)
- V = Snelheid van het schip(m/s)
- G = Zwaartekracht(m/s^2)

Deze golven worden gecreëerd door de boeg en achtersteven en kunnen hierdoor elkaars golven versterken of verzwakken doordat deze in fase of in tegenfase bewegen.

- Golven in fase = hump = golfweerstand groot
- Golven in tegen fase = hollow = golfweerstand klein

2.7.4 Snelheid en Lengte van het schip

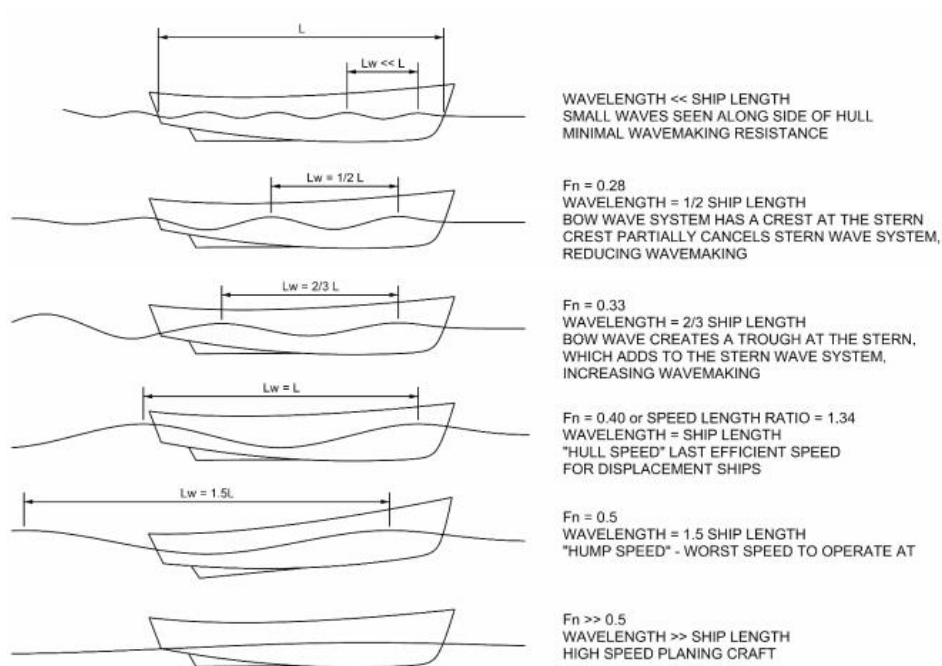


Figure 16 Invloed snelheid op golflengte

Bovenstaande figuur toont de golfpatronen bij verschillende snelheden. Bij lage snelheden zullen er kleine golven met een lage golflengte ontstaan en is de golfweerstand minimaal.

Op dat moment heeft de viskeuze weerstand meer invloed.

Wanneer de snelheid toeneemt zal de golflengte ook toenemen. Hier zullen de verschillende snelheden de golven deels versterken of verzwakken.

De meeste efficiënte snelheid is wanneer de lengte van de golf gelijk is aan die van het schip. Hierbij zullen de boeg- en hekgolven de golven achter het schip reduceren, waardoor de golfweerstand minimaal blijft. De snelheid waarop de golflengte en de lengte van het schip hetzelfde zijn, word ook wel hull speed genoemd.

Bij een snelheid hoger dan de hull speed zal de golflengte nog vergroten en zal het schip onder een bepaalde trim gaan varen. Op dit moment zal het schip zeer veel weerstand ondervinden en zal de romp van het schip onder erg veel stress staan.

Naarmate het schip nog sneller gaat, zal het schip zich weer recht trekken en zal de golfweerstand afnemen. Het is echter onwaarschijnlijk dat grote schepen genoeg vermogen hebben om deze snelheid te bereiken.

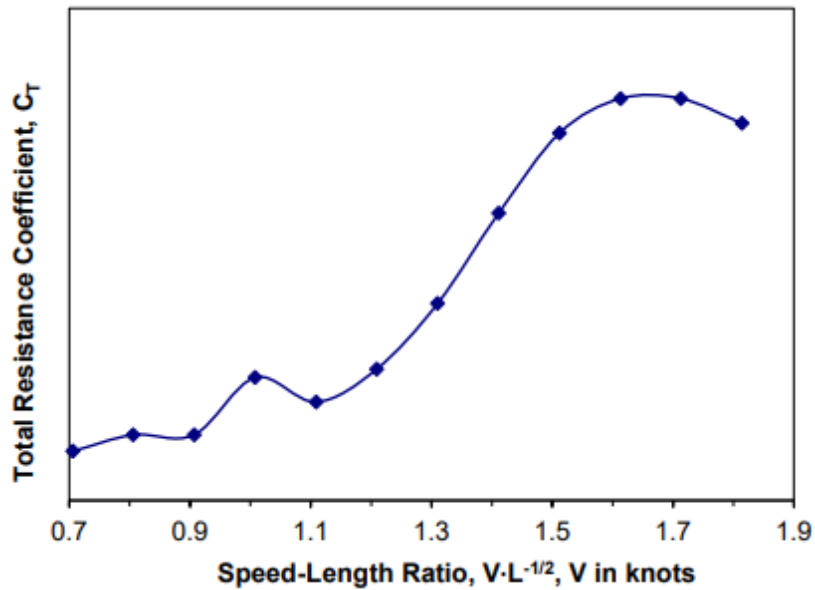


Figure 17 Golfweerstand curve

Door de golfweerstand te plotten krijgt men een curve die er uitziet volgens bovenstaande grafiek. Belangrijk bij het lezen van de curve is dat alle toppen gebieden zijn waar de boeg- en hekgolven elkaar versterken en de golven bijgevolg veel weerstand bieden. In alle dalen van de curve verzwakken de golven elkaar en dat zijn de meest efficiënte gebieden.

Hieruit kan men ook de Hull speed bepalen. In deze grafiek zal de Speed-lenght ratio ongeveer 1,1-1,2 bedragen gezien dit het laatste efficiënt gebied is waar het schip zich kan begeven.

2.8 Luchtweerstand

De luchtweerstand is de weerstand die de lucht veroorzaakt op een schip, zonder wind. Schepen met een groot bovenwater oppervlak zullen verantwoordelijk zijn voor zo'n 10% van de totale rompweerstand. Om de luchtweerstand te verminderen moet men het bovenwater oppervlak verkleinen of de brug en de romp meer aerodynamisch maken.

Helaas zijn de vermogens-voordelen en de brandstofbesparingen niet groot genoeg ten opzichte van de bouwkosten van een aerodynamisch schip. Om die reden wordt er bij de bouw van het schip geen rekening gehouden met de luchtweerstand.

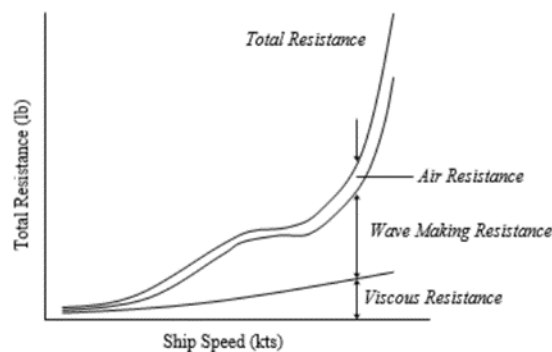


Figure 18 Luchtweerstand

2.9 Restweerstand

2.9.1 Aanhangsel weerstanden

De aanhangsel weerstand is de weerstand veroorzaakt door alle aanhangsels op het onderwaterschip zoals: roer, propeller, sea chest, kimkielen, offer anodes, etc.

Deze aanhangsels hebben vooral invloed op de wrijvingsweerstand van het schip. Deze kan verantwoordelijk zijn voor ongeveer 2-14% van de totale rompweerstand.

2.9.2 Wind en zeestroom weerstand

De wind en oceaan stroom heeft ook een grote invloed op de totale rompweerstand. Deze kunnen de snelheid van het schip zeer sterk belemmeren. De wind kan 20% van de totale rompweerstand betekenen. Een tegenwerkende stroming op het schip heeft ook negatieve effecten op de weerstand en het brandstof verbruik.

2.9.3 Weerstand toegevoegd als gevolg van golven

Deze weerstand is de oorzaak van de wind en stormen op zee. De verloren energie is in de vorm van wrijvingsweerstand, doordat de oceaangolven voor een groter onderwaterschip zorgen. Hierbij zal het schip ook meer belast worden door rolling, pitching en heaving, wat de rompweerstand verhoogt.

2.9.4 Weerstand in ondiep water

Als een schip met hoge snelheid in ondiep water vaart zal het water onder de romp versnellen. Doordat het water versnelt, zal er een lage druk ontstaan onder het schip. Hierdoor treedt het Squat-effect op. Dit betekent dat er een lage druk ontstaat onder het schip waardoor het schip dichterbij de zeebodem zit dan verwacht.

Door het Squat-effect zal het schip een grotere diepgang maken en zal het schip meer belast worden door wrijving. De golfmakende weerstand verhoogt in dit scenario ook omdat het schip meer energie verliest bij de creatie van de golven.

2.10 Verminderen weerstand zonneboot

Het theoretische gedeelte toont aan dat de viskeuze weerstand en golfmakende weerstand de grootste boosdoeners zijn in verband met de rompweerstand en efficiëntie. Dus moet er een oplossing gevonden worden om deze factoren uit te schakelen/verminderen. Hoofdzakelijk moet er een oplossing gevonden worden, hoe we de zonneboot nog sneller kunnen maken.

De factoren in dit hoofdstuk bespreken voornamelijk hoe de weerstand verminderd kan worden bij kleinschalige schepen, gezien het doel van deze thesis immers het verminderen is van de weerstand bij de zonneboot. Bij grotere schepen moeten we rekening houden met additionele factoren die de totale rompweerstand beïnvloeden. Over deze andere factoren is er in de bijlage een klein woordje uitleg te vinden, ter volledigheid.

Hieronder bespreek ik nog even kort hoe de efficiëntie mogelijks verbeterd zou kunnen worden van de zonneboot, zonder aanpassing van de romp (zie hiervoor de hoofdstukken hieronder).

2.10.1 Draagvleugels

De zonneboot kan men beschouwen als een speedboat. Men gaat zoveel vermogen in de schroef steken waardoor bijna de gehele romp uit het water wordt getild. Dit verschijnsel wordt ook wel planeren genoemd en gebeurt wanneer, bij een bepaalde snelheid, de romp meer over het water glijdt in plaats van zich erdoor heen wringt.

Het planeren van schepen gaat makkelijker als de onderkant van de romp vlak is zoals een zodiac. Omdat de zonneboot niet over een vlakke onderkant beschikt zal deze moeite hebben om uit het water getild te worden. Om die reden kan men draagvleugels monteren. De draagvleugels zullen de romp bij een bepaalde snelheid omhoog duwen waardoor de boot op de vleugels steunt. Hierdoor zal de viskeuze weerstand aanzienlijk verminderen, omdat we het natte oppervlak reduceren tot enkel deze draagvleugels. Wanneer de romp uit het water getild wordt zullen de draagvleugels door de golven snijden met als tweede gevolg dat ook de golf makende weerstand aanzienlijk vermindert.

De werking van draagvleugels kan men vergelijken met de vleugels van een vliegtuig. De bovenzijde van de vleugels zijn boller uitgewerkt met als gevolg dat het water aan de bovenzijde een langere weg moet afleggen ten op zichte van de onderzijde. Doordat deze een langere weg aflegt is er een versnelling aan de bovenkant, en een versnelling gaat gepaard met een onderdruk. Dit betekent dat bij een bepaalde snelheid de druk zo laag wordt aan de bovenzijde dat druk aan de onderzijde van de vleugel de romp omhoog tilt.

2.10.2 Luchtsmering

Door luchtbelletjes aan te brengen onder de romp van de zonneboot zal het contact tussen romp en water verminderen. Het schip ligt als het ware op een kussen van lucht, het natte oppervlak wordt aanzienlijk kleiner, en hierdoor vermindert de wrijvingsweerstand. Dit systeem wordt ook wel Air Supported Vessel(ASV) genoemd.

2.10.3 Hull cleaning

De makkelijkste manier om wrijvingsweerstand te verminderen is het schoonhouden van het onderwaterschip. Het kan tot 15% brandstof besparen, als de romp van het schip, schoon is.

2.10.4 Omnifobische coating

Zoals in het hoofdstuk viskeuze weerstand werd vermeld, kleeft er water aan de romp van de boot vast. Dit zorgt er uiteindelijk voor dat dit water ook een bepaalde weerstand bezorgt aan het bewegende schip en -in ons geval- de zonneboot. Door gebruik te maken van waterafstotende verf kunnen we deze viskeuze weerstand elimineren. De coating stoot het water van de romp af zodat het water niet aan de romp kan kleven, en hierdoor de wrijvingsweerstand gaat verminderen.

3 Ontwerpen

Er zijn voor de opstelling een aantal ontwerpen aan bod gekomen. Eerst zal ik de ontwerpen, of bepaalde mogelijke keuzes bespreken die niet werden geïmplementeerd, en om welke redenen. Ik geloof dat dit meer duidelijkheid zal scheppen betreffende het ontwerp dat het uiteindelijk is geworden. Deze zal ik op het einde van dit hoofdstuk voorstellen.

3.1 **Eerste ontwerp: Wieltjes**

Het originele plan was om de motor op wieltjes op een rails te plaatsen, zodat de elektromotor alleen maar naar voor en naar achter kan bewegen.

Achterop de rails bevindt zich een muur, waarop we de krachtmeter kunnen opmonteren die daarbij ook nog vast zit aan de bewegende elektromotor.

Het uitsteekstel van de elektromotor is de trommel waarop het koord wordt opgerold.

Zie onderstaande figuur voor een duidelijk beeld van de werking hiervan:

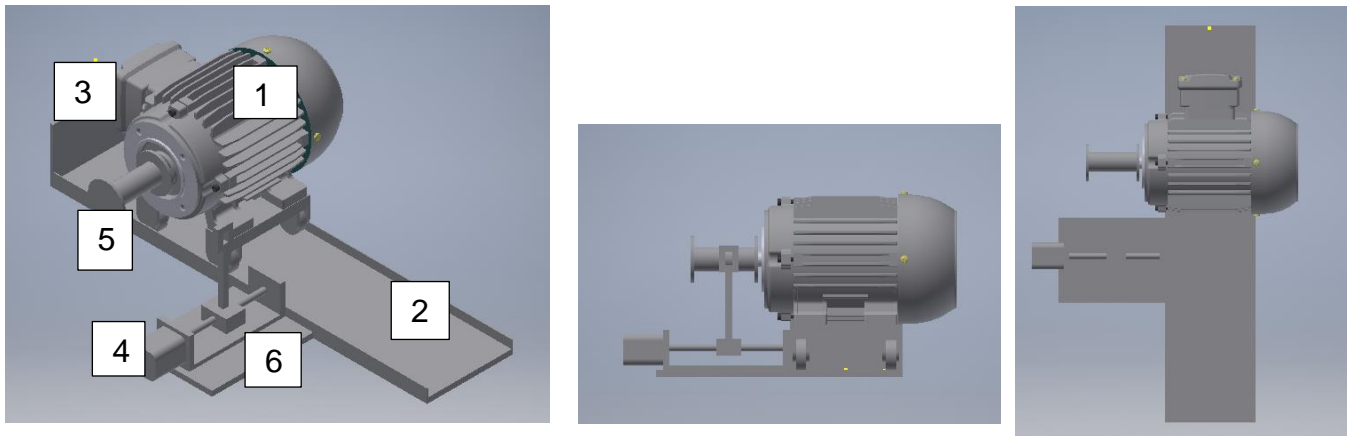


Figure 19 Wieltjes ontwerp

- | | |
|---|---|
| 1 | Elektromotor op wielen |
| 2 | Rails |
| 3 | Muur waarop rekstrook of dynamoveer bevestigd wordt |
| 4 | Lineaire stappenmotor |
| 5 | Trommel |
| 6 | Draadgeleider |

Het probleem met dit ontwerp is dat wanneer men dit zou testen, ik bang was dat de motor zou kunnen scheeftrekken wanneer het koord van de winch aan de zonneboot zou trekken.

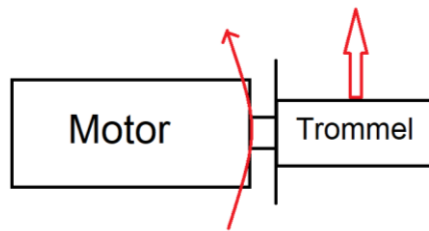


Figure 20 Scheeftrekken motor

3.2 Tweede Ontwerp: Dubbele scharnier



Figure 21 Dubbelwerkend scharnier

Bij de motorbevestiging is het de bedoeling dat de motor vrij naar voor en naar achteren kan bewegen. Dit moet zodat de krachtmeter kan aantonen met welke kracht de motor wordt getrokken.

Hierdoor kwam het idee om de motor op een dubbele scharnier te plaatsen.

Deze zou dan op en neer bewegen, wanneer er aan het koord van de winch zou getrokken worden.

Het probleem dat ik nu had was dat we eerst de inertie kracht moesten overwinnen vooraleer de krachtmeter begon te meten. Dit was op te lossen door de rusttoestand van het scharnier naar het hoogste punt te brengen.

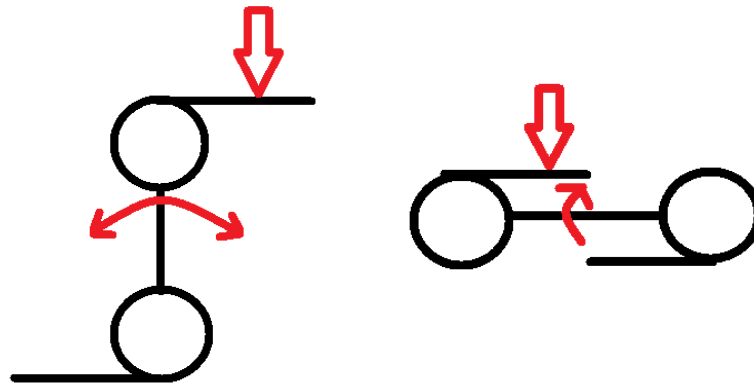


Figure 22 Rusttoestand scharnier

Het voordeel van deze opstelling is dat het een financieel voordelige oplossing is. De motor kan op deze manier ook niet scheeftrekken, gezien deze op vaste scharnieren bevestigd zou zijn.

3.3 Definitieve Ontwerp: Slinger

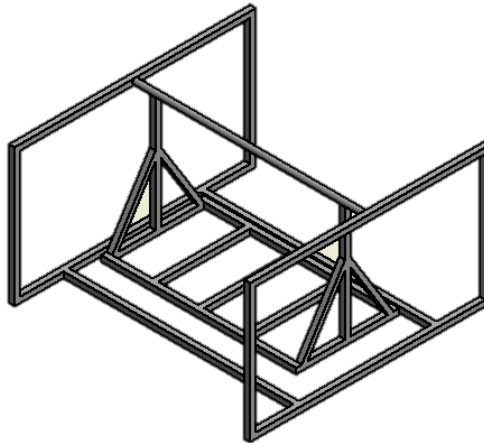


Figure 23 Slinger ontwerp

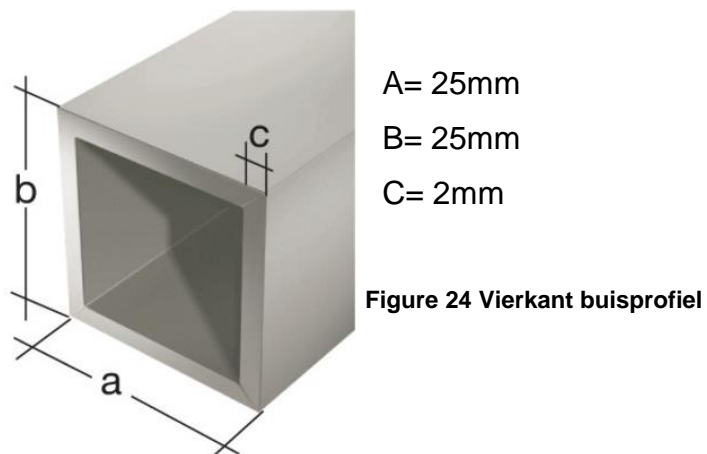
Het uiteindelijke ontwerp is een slinger geworden. Op de slinger zal de motor met de draadgeleider gemonteerd worden. De krachtmeter zal aan de slinger en een vast punt worden vastgezet. Wanneer de winch op de slinger aan de romp trekt, zal de slinger naar voor willen gaan, maar deze voorwaartse beweging wordt belemmerd door de krachtmeter. De kracht die hier wordt gemeten moet de rompweerstand voorstellen.

Dit ontwerp heeft de voorkeur omdat deze vrij makkelijk te realiseren is en de problemen die we zouden hebben bij de andere ontwerpen hier niet kunnen voorkomen. Het probleem bij het wieltes ontwerp is dat de motor scheef kon trekken, bij de slinger ontwerp zou dit niet kunnen. Dit komt doordat nu de motor vast op de slinger gemonteerd is en de kracht meter gelegen is aan de kant van de trommel.

Wat betreft het ontwerp met het dubbele scharnier is het uiteindelijke ontwerp de tegenoverstelde versie hiervan. Het grote verschil bij het uiteindelijke ontwerp is dat we ons geen zorgen hoeven te maken over het overwinnen van de inertiekracht. Daarentegen is het uiteindelijke ontwerp ook het meest kostenbesparend gezien het enige wat we hier nodig hebben de 2 lagers voor de slinger zijn.

3.3.1 *Materiaal en opmerkingen*

- Ik heb bij het ontwerpen van de opstelling gebruik gemaakt van een vierkant buisprofiel.



- De diameter van de assen waarop de lagers zitten, hangen af van de lagers die ik heb gekregen.
- Indien het frame niet stabiel genoeg is, kan ik altijd nog hoekverstevingen plaatsen om het wiebelen te verminderen.

3.3.2 Schets

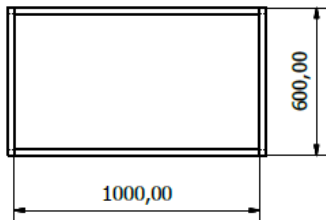
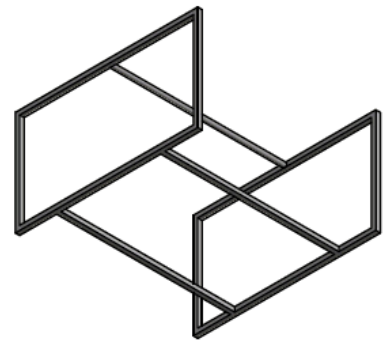
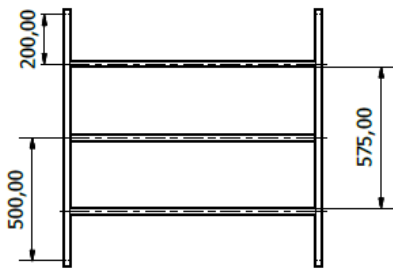


Figure 25 Statief

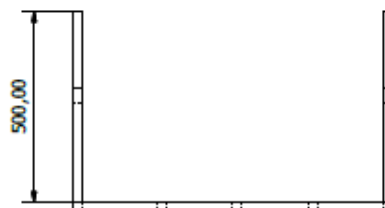
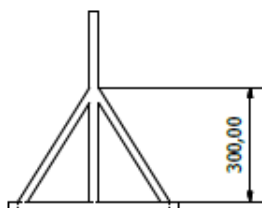
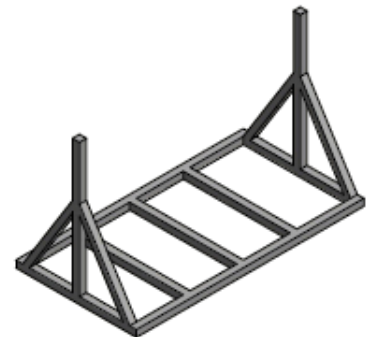
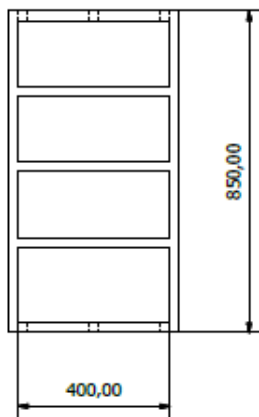


Figure 26 Slinger

4 Onderdelen

4.1 Elektromotor

De elektromotor moet minstens 50kg trekken, dus is het van belang dat de elektromotor genoeg vermogen heeft om deze last te kunnen trekken.

Berekening vermogen:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{F \times d}{t} = F \times v = (9.81N/kg \times 50kg) \times \left(\frac{50km/h}{3.6}\right) = 6812.5W = 6.8kW$$

Kenteken elektromotor:

220-240 Y bij 50Hz => 7.5kW ; 2910tr/min

380-420 Δ bij 50Hz => 7.5kW ; 2910tr/min

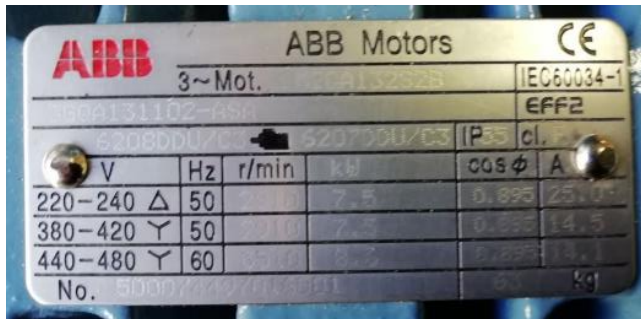


Figure 27 Kenplaat elektromotor

4.2 Frequentieregelaar

Voor het bepalen van de juiste frequentieregelaar moet men de FLA(Full-Load-Amperage) van de motor weten en in mijn geval is dit 14.5A(zie kenteken). Als je deze waarde kent, dan moet deze vermenigvuldigd worden met 2 en dan krijg je de Ampere Frame (AF) van de VFD. (Ampere Frame is de maximum stroom die de breaker voor een lange tijd kan weerstaan)

$$AF = FLA \times 2 = 14.5A \times 2 = 29A$$

Inverter Type	Motor Output (kW)	Moulded Case Circuit Breaker (MCCB) *1 or Earth Leakage Circuit Breaker (ELB) *2		Magnetic Contactor (MC) *3		
		Reactor connection		Reactor connection		
		without	with	without	with	
Three-Phase 400V	FR-D740-012	0.4	30AF 5A	30AF 5A	S-N10	S-N10
	FR-D740-022	0.75	30AF 5A	30AF 5A	S-N10	S-N10
	FR-D740-036	1.5	30AF 10A	30AF 10A	S-N10	S-N10
	FR-D740-050	2.2	30AF 15A	30AF 10A	S-N10	S-N10
	FR-D740-080	3.7	30AF 20A	30AF 15A	S-N10	S-N10
	FR-D740-120	5.5	30AF 20A	30AF 20A	S-N20	S-N14, S-N18
Single-Phase 200V	FR-D740-160	7.5	30AF 30A	30AF 30A	S-N20	S-N20
	FR-D720S-008	0.1	30AF 5A	30AF 5A	S-N10	S-N10
	FR-D720S-014	0.2	30AF 5A	30AF 5A	S-N10	S-N10
	FR-D720S-025	0.4	30AF 10A	30AF 5A	S-N10	S-N10
	FR-D720S-042	0.75	30AF 15A	30AF 10A	S-N10	S-N10
	FR-D720S-070	1.5	30AF 30A	30AF 15A	S-N10	S-N10
	FR-D720S-100	2.2	30AF 40A	30AF 30A	S-N20, S-N21	S-N10

Figure 28 VFD keuze

Uit de berekening is gebleken dat dit AF 29A is. Als ik dan in de tabel ga kijken klopt het type VFD die aan de hoge school beschikbaar is, met het type uit de tabel. De tabel laat ook zien bij welk motor vermogen de VFD geschikt is. In dit geval is dat 7.5kW en dit komt overeen met de elektromotor.

4.2.1 Geleiders

In de manual van de frequentieregelaar kan men ook de nodige dikte voor de geleiders vinden die nodig is voor het veilig gebruik van de frequentieregelaar.

Three-phase 400V class (when input power supply is 440V)

Applicable Inverter Model	Terminal Screw Size *4	Tightening Torque N·m	Crimping Terminal		Cable Size							
					HIV Cables, etc. (mm ²) *1			AWG *2		PVC Cables, etc. (mm ²) *3		
			R/L1 S/L2 T/L3	U, V, W	R/L1 S/L2 T/L3	U, V, W	Earth (ground) cable	R/L1 S/L2 T/L3	U, V, W	R/L1 S/L2 T/L3	U, V, W	Earth (ground) cable
FR-D740-012 to 080	M4	1.5	2-4	2-4	2	2	2	14	14	2.5	2.5	2.5
FR-D740-120	M4	1.5	5.5-4	2-4	3.5	2	3.5	12	14	4	2.5	4
FR-D740-160	M4	1.5	5.5-4	5.5-4	3.5	3.5	3.5	12	12	4	4	4

Figure 29 Geleider keuze

4.3 Trommel

De trommel is aangesloten op de elektromotor en gaat het koord oprollen. Het belangrijkste voor de trommel is dat deze een snelheid kan behalen van maximum van 50km/h.

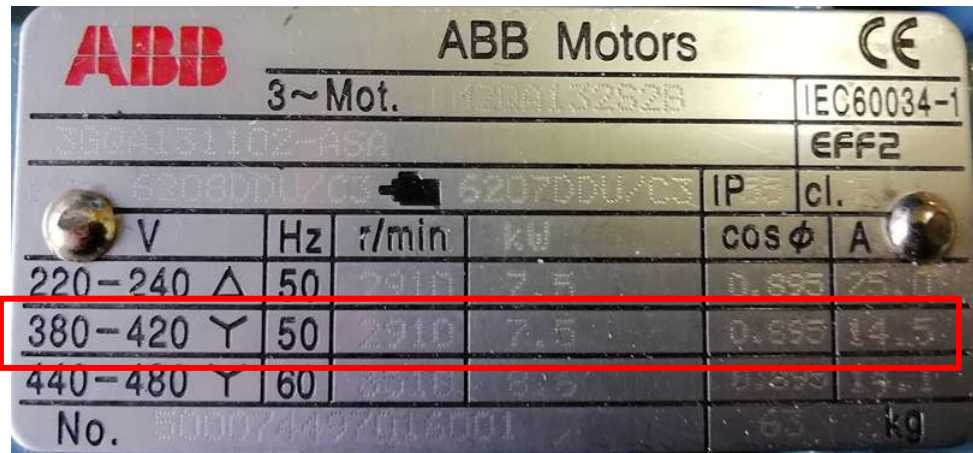


Figure 30 Kenteken motor

Aan het plaatje te zien werkt de motor op 380-420V en bereikt hierbij een toerental van 2910tr/min met een vermogen van 7.5kW. Aangezien ik een frequentieregelaar heb, kun je de toeren opvoeren en hierbij de diameter van de trommel verkleinen. De frequentie regelaar is in staat de frequentie van een aangeboden voeding te veranderen.

Hierbij zal de spanning mee variëren en zo het koppel behouden.

4.3.1 Trommel Diameter

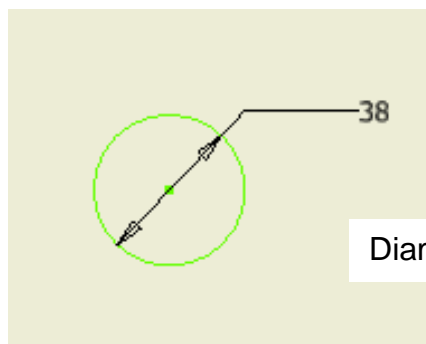


Figure 31 Diameter motor-as

Berekening snelheid van trommel bij een diameter van 10cm:

$$v = \frac{\pi \times d \times n}{60} = \frac{\pi \times 0.1m \times 2910rpm}{60} = 15.378m/s \times 3.6 = 54.85km/h > 50km/h$$

Het komt erop neer dat een trommeldiameter van 10cm bij een frequentie van 50Hz overeenkomt met 54.85km/h. Deze berekening was eerder indicatie van hoe snel de trommel zou gaan bij een diameter 10cm.

Mijn idee was om 50km/h te behalen rond de 70Hz, zodat we ook konden testen bij lage snelheden. Hierdoor zou de motor niet op extreem lage toeren moeten draaien om een lage snelheid te behalen. Hierdoor zou de motor namelijk te weinig koeling krijgen en te heet worden.

Berekening snelheid van trommel bij een diameter van 6cm:

$$v = \frac{\pi \times d \times n}{60} = \frac{\pi \times 0.06m \times 2910rpm}{60} = 9.14m/s \times 3.6 = 32.91km/h$$

Bij een frequentie van 50Hz bekomen we een snelheid van 32.91km/h

$$n = \frac{60 \times v}{\pi \times d} = \frac{60 \times (\frac{50km/h}{3.6})}{\pi \times 0.06m} = 4420.97rpm$$

Dit is het toerental bij 50km/h

Om 4420.97rpm naar hertz te verkrijgen vermenigvuldig je dit met 0.01667.

$$f = n \times 0.016667 = 4420.97 \times 0.16667 = 73.68Hz$$

4.3.2 Trommel Lengte

Ik heb tijdens het ontwerp rekening gehouden met de breedte van de slinger.

De lengte van de trommel is dus 30cm.

4.3.3 Schets

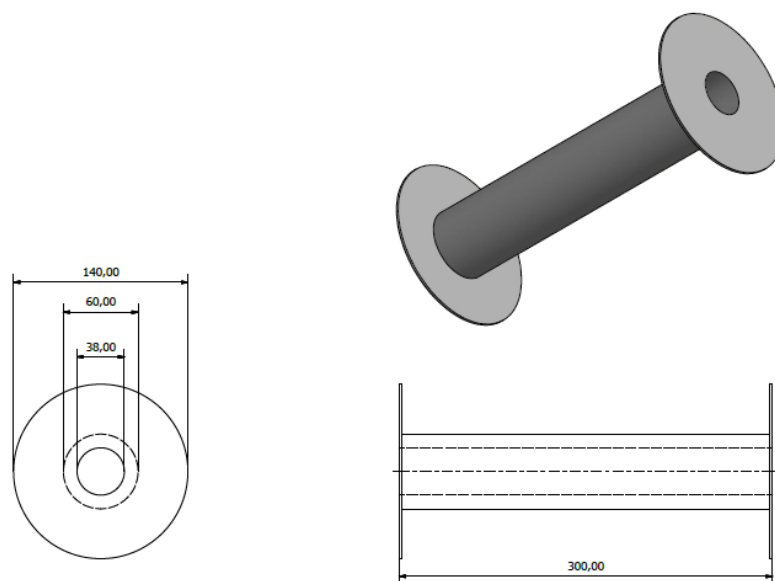


Figure 32 Trommel afmetingen

4.4 Draadgeleider

Het doel van de draadgeleider is om het touw te geleiden over de trommel, waardoor deze niet in de knoop geraakt. Mijn idee was om gebruik te maken van een lineaire stappenmotor die door een arduino zal worden aangestuurd.



Figure 33 Draadgeleider

Deze opstelling bestaat uit:

- 1 stuk stalen rail
- 2 stuks lagerblokken
- 2 stuks Aluminium Rail Shaft Support
- 1 stuk Rvs Lood Schroef Staaf met Moer
- Schuifbus
- Flexible Shaft Coupling
- T8 moersteun
- Motorsteun(Hoekijzer)

De geleiderblok op de schroefdraad is met de schuifbus op de rail verbonden door middel van een plaat met vier bouten. Deze plaat wordt op 2 punten ondersteund, waardoor deze zeer stabiel staat. Op deze plaat is een oogbout gelast die de draad op de trommel gaat geleiden.

Alle onderdelen zijn vastgeschroefd op een houten plaat zodat het een geheel wordt.

4.4.1 Werking stappenmotor

Een stappenmotor bestaat uit 4 statorspoelen en een permanente magneet als rotor. Door de wikkelingen van de stator beurtelings te bekrachtigen zal de rotor draaien. Het voordeel van een stappenmotor is dat je de hoekverdraaiing zeer nauwkeurig kunt beheersen.

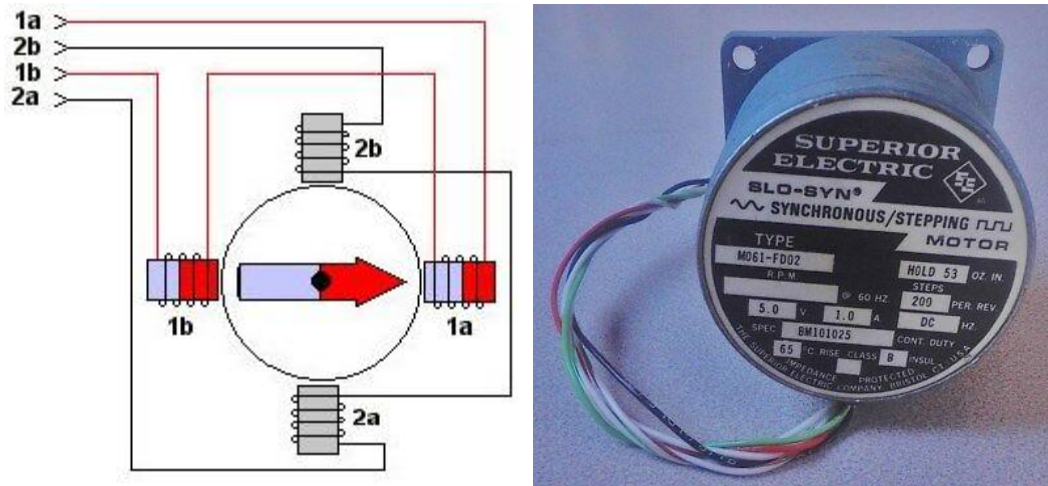


Figure 34 Stappenmotor met werking

4.4.2 Stepperdriver

De stappenmotor wordt aangestuurd door een Stepperdriver. Een Stepperdriver maakt het een stuk gemakkelijker voor de programmeur om een stappenmotor aan te sturen. Deze tool gaat de pulsen zelf verdelen over de spoelen waardoor de rotor draait. Dit bespaart veel tijd en vermindert programmeer werk. Zie ook onderstaande figuur.



Figure 35 Stepperdriver

4.5 Krachtmeter

4.5.1 PCE-HS 150N



Figure 36 Krachtmeter

De krachtmeter zit vast tussen de slinger en de muur met behulp van een musketon en een laadhaak.

Dit is een dynamometer die tot 150kg kan meten. Het voordeel van dit type is, dat deze de gemiddelde waarde van verschillende metingen kan bepalen wat handig kan zijn voor mijn proef. Het is ook in staat om in verschillende eenheden te meten.

4.5.2 Meetopstelling

Zie hieronder een simplistische voorstelling van hoe de meetopstelling eruit zal zien en waar de dynamometer geplaatst wordt.

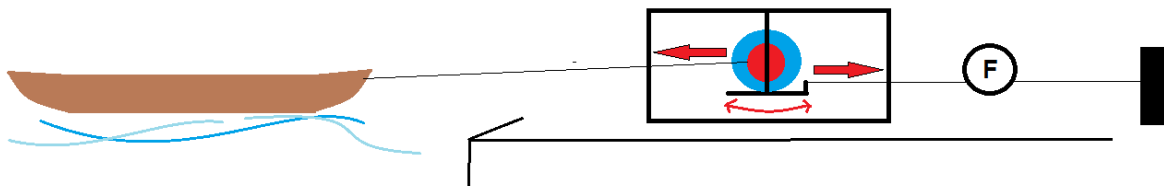


Figure 37 Meetopstelling

5 Praktisch

Voor mijn praktisch gedeelte was ik vrij goed voorbereid. Ik heb eerst een schets gemaakt met de nodige afmetingen zodat ik het staal al op maat kon laten zagen. Dit heeft mij veel tijd bespaard bij de realisatie van het laswerk.

Het volledige praktische constructie proces heb ik bij het bedrijf

“Scheepsherstellingen Moordtgat” mogen realiseren. Ik had hier de mogelijkheid om ongestoord te werken aan mijn praktische gedeelte gezien ik hier eerder heb gewerkt als student. Ik had hier de mogelijkheid om aan een stuk door te werken en zij beschikten bovendien over alle materialen voor mijn opstelling. Zij hebben mij de lagers, de lange as, dikwandige pijp en de stalen plaat geschonken.

In dit hoofdstuk bespreek ik kort hoe ik te werk ben gegaan en de moeilijkheden die ik ondervond.

5.1 Terminologie

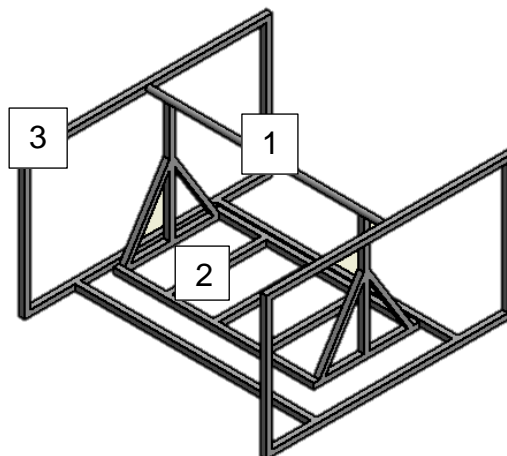


Figure 38 Slinger ontwerp

- | | | |
|----|---------------|--|
| 1. | As met lagers | Deze verbindt de slinger met het statief en bevat ook de lagers waardoor de slinger rondslingert. |
| 2. | Slinger | De slinger is verbonden met de as door middel van kokers die vast rond de lagers van de as zitten. |
| 3. | Statief | Statief is het frame van de meetopstelling, deze moet al het gewicht en de krachten opvangen. |

5.2 As van de Slinger

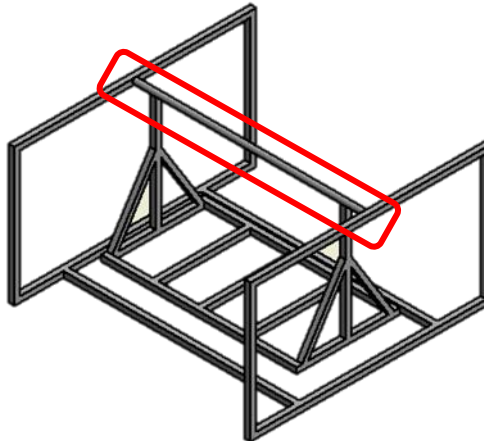


Figure 39 As van slinger ontwerp

Ik ben begonnen met de as dat het statief en de slinger met elkaar verbindt te maken. De as-afmetingen hingen af van de binnendiameter van de lagers. Deze 2 lagers beschikte over een binnendiameter van 20mm.

Gebaseerd op deze waarden ben ik uitgekomen op een as van 30mm in diameter en 1000mm in lengte.

Het plan was om de uiteindes 100mm af te draaien om zo een diameter van 20mm te bekomen.

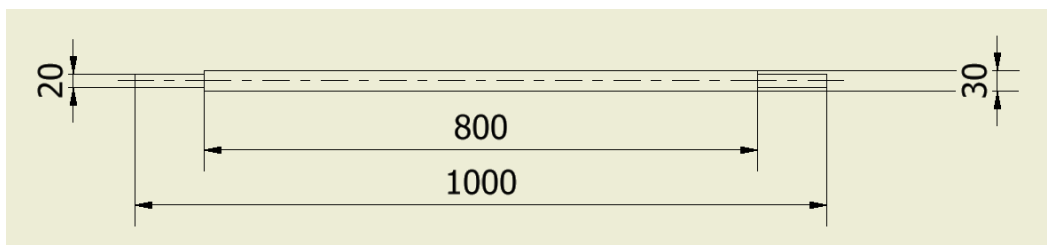


Figure 40 As afmetingen

Het moeilijkste wat ik tijdens dit werk ondervond was het inspannen van het werkstuk. Ik heb een tijdje moeten spelen met de klauwplaat en het werkstuk om de lange staaf zo min mogelijke te laten rondzwaaien. Toen het werkstuk een stuk stabiel draaide kon ik beginnen met het boren van het centergat (nadat het werkstuk was gevlakt). Nu kon ik het meedraaiende center in het centergat plaatsen en beginnen met het langsdraaien. Dit proces heb ik voor beide uiteindes herhaald.

5.2.1 *Bril*

Tijdens het inspannen van het lange werkstuk werd ik erop gewezen dat je normaal gezien bij een lang werkstuk gebruik maakt van een bril. Deze bevestig je aan de langsslede of een vast punt op het bed. Dit geeft de constructie een extra ondersteunend punt zonder eerst een centergat te boren.

Je hebt twee varianten:

- Vaste bril: Deze wordt op het bed aangespannen en zorgt voor een extra ondersteund punt.
- Meelopende bril: Geeft een ondersteunend punt op de plek, waar dat je aan het draaien bent en wordt hierdoor ook op de langsslede bevestigd.



Figure 41 Bril draaibank

5.2.2 *Lagerpassing*

Voor de lange as is een vaste passing nodig. Dit om er voor te zorgen dat de slinger aan de as niet naar links en naar rechts kan bewegen. Ik heb mijn as zo dicht mogelijk naar 20mm proberen te krijgen. Hierna kon ik doormiddel van een pijp die steunde op de buitenkant van het lager, het lager door de as te tikken.

Ik heb geprobeerd naar een 20 k5(+23 +2) passing te streven.

5.3 Koker rond het lager

De koker rond het lager, heeft als doel de draaiende beweging naar de schommel over te brengen. Deze moest ook vast op de lager zitten zodat de schommel statisch op een plek blijft. Voor dit werkstuk heb ik twee stukken van een dikwandige pijp gezaagd, beide van 100mm in lengte.



Figure 42 Koker voor de lagers

Beide werkstukken zitten vast op de lagers. Een van de lagers heeft een vaste passing en moest in de pijp geperst worden, terwijl de andere koker iets makkelijker over het lager geleid wordt. Bij deze heb ik wat loctite over het lager gesmeerd, zodat dit lager vaster in de koker zit. Hierna konden de lagers in de kokers geplaatst worden, waardoor deze klaar was om aan het frame te worden gelast.

5.4 Trommel

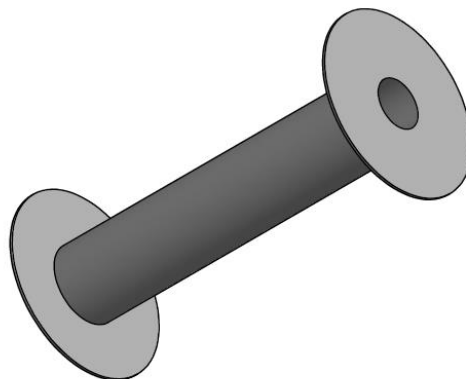


Figure 43 Trommel

Na het finaliseren van de as kon ik beginnen aan de trommel. Hierbij heb ik een as van 300mm bij 70mm diameter gebruikt. Het langsdraaien van de trommel van een diameter 70mm naar 60mm ging vrij vlot.

Na het langsdraaien moest er een centergat geboord worden. Ik begon met een kleine boor, maar eindigde met een boor van 3cm. De schets geeft een doorlopend gat in de trommel. Dit kon echter niet gerealiseerd worden omdat ik niet beschikte over een boor die lang genoeg was om helemaal door het werkstuk te gaan.

Om deze reden is er een boring van 100mm diep.

De trommel zelf is direct aangesloten op de as van de motor. Dit betekent dat er een gat van 38mm gerealiseerd moet worden. Voor het gat was een passing van 38 H7 nodig. Dit betekent dat dit een symmetrische passing is die exact over de as moet geleiden.

Met de motor trommel moest ik heel nauwkeurig te werk gaan en heb ik gebruik gemaakt van een micrometer. De micrometer is bedoeld voor binnendiameters en meet tot op een duizendste mm nauwkeurig de oneffenheden in het gat. De micrometer is te vergelijken met een meetklok, alleen is deze bedoeld voor binnendiameters.



Figure 44 Binnenmeter

5.4.1 Flenzen

De trommel bevat een trapje op beide uiteindes van een diameter 55mm en 5mm breed.

De 2 flenzen zijn gemaakt met een plasmacutter en beschikken over een buitendiameter van 140mm en binnendiameter van 50mm.

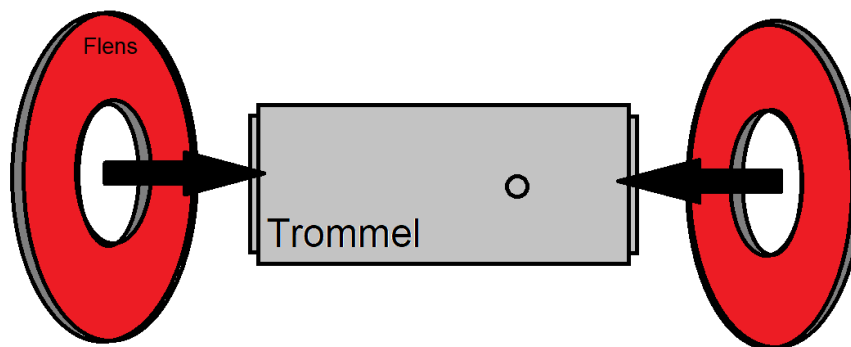


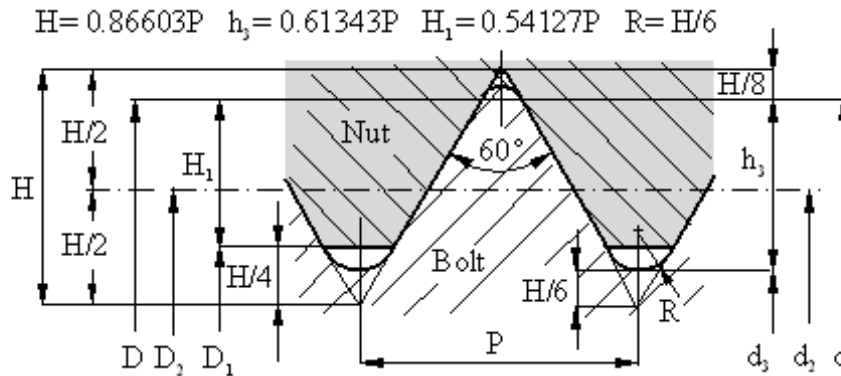
Figure 45 Trommelflenzen

5.4.2 Schroefdraad

Het laatste wat er nog aan de trommel moest gedaan worden, was het boren van een gat en het tappen van de schroefdraad voor het borgboutje.

Dit boutje zou dan op de motor-as duwen waardoor de trommel nog eens extra stevig op de as bevestigd zou zijn.

Het is een M10 borgboutje, met een lengte van 10mm. Hiervoor moest er een gat geboord worden van 8.5mm(zie tabel hieronder).



metric screw threads ISO 724 (DIN 13 T1)								
Nominale diameter $d = D$	Spoed P	voer radius r	flank diameter $d_2 = D_2$	kern diameter d_3	D_1	draad hoogte h_3	H_1	boor diameter mm
M 1.00	0.25	0.036	0.838	0.693	0.729	0.153	0.135	0.75
M 1.10	0.25	0.036	0.938	0.793	0.829	0.153	0.135	0.85
M 1.20	0.25	0.036	1.038	0.893	0.929	0.153	0.135	0.95
M 1.40	0.30	0.043	1.205	1.032	1.075	0.184	0.162	1.10
M 1.60	0.35	0.051	1.373	1.171	1.221	0.215	0.189	1.25
M 1.80	0.35	0.051	1.573	1.371	1.421	0.215	0.189	1.45
M 2.00	0.40	0.058	1.740	1.509	1.567	0.245	0.217	1.60
M 2.20	0.45	0.065	1.908	1.648	1.713	0.276	0.244	1.75
M 2.50	0.45	0.065	2.208	1.948	2.013	0.276	0.244	2.05
M 3.00	0.50	0.072	2.675	2.387	2.459	0.307	0.271	2.50
M 3.50	0.60	0.087	3.110	2.764	2.850	0.368	0.325	2.90
M 4.00	0.70	0.101	3.545	3.141	3.242	0.429	0.379	3.30
M 4.50	0.75	0.108	4.013	3.580	3.688	0.460	0.406	3.80
M 5.00	0.80	0.115	4.480	4.019	4.134	0.491	0.433	4.20
M 6.00	1.00	0.144	5.350	4.773	4.917	0.613	0.541	5.00
M 7.00	1.00	0.144	6.350	5.773	5.917	0.613	0.541	6.00
M 8.00	1.25	0.180	7.188	6.466	6.647	0.767	0.677	6.80
M 9.00	1.25	0.180	8.188	7.466	7.647	0.767	0.677	7.80
M 10.00	1.50	0.217	9.026	8.160	8.376	0.920	0.812	8.50
M 11.00	1.50	0.217	10.026	9.160	9.376	0.920	0.812	9.50
M 12.00	1.75	0.253	10.863	9.853	10.106	1.074	0.947	10.20
M 14.00	2.00	0.289	12.701	11.546	11.835	1.227	1.083	12.00

Figure 46 Schroefdraad tabel

6 Programmeren

6.1 Doelstelling

De doelstelling voor dit onderdeel was om een programma te schrijven dat de snelheid meet en regelt van het koord waaraan getrokken wordt.

Hierbij moet de stappenmotor ook zo ingesteld worden dat deze het koord mooi op de trommel geleidt. Ik gebruik Arduino om alles aan te sturen.

Dit programma bestaat uit 3 delen die uiteindelijk worden samengevoegd in een programma.

- Snelheidsmeter
- Lineaire stappenmotor
- PID(0-5V)

6.2 Arduino

Met behulp van Arduino is het mogelijk om op een makkelijke manier een systeem op te bouwen. De Arduino reageert op een digitaal en/of analoog signaal en kan ook een output leveren. Met deze in- en uitgaande signalen kan de Arduino informatie verwerken en componenten aansturen.

De Arduino ATmega 2560 is het paneel dat wordt gebruikt omdat deze over meer interrupt pins beschikt dan de normale Arduino Uno.

Deze laatste beschikt slechts over 2 interrupt pins en de daarentegen over ATmega over 6. Voor het ontwerp heb ik er in totaal 3 nodig.



Figure 47 Arduino AtMega

De interrupt pins reageren doormiddel van de functie ISR (=Interrupt Service Routine). Deze geven een signaal af wanneer een signaal van HOOG naar LAAG gaat en omgekeerd(=flankdetectie). Deze poorten had ik nodig om de sensoren te kunnen lezen. In het onderdeel programma wordt iets duidelijker waarom de interrupt pins belangrijk zijn.

6.2.1 Schema

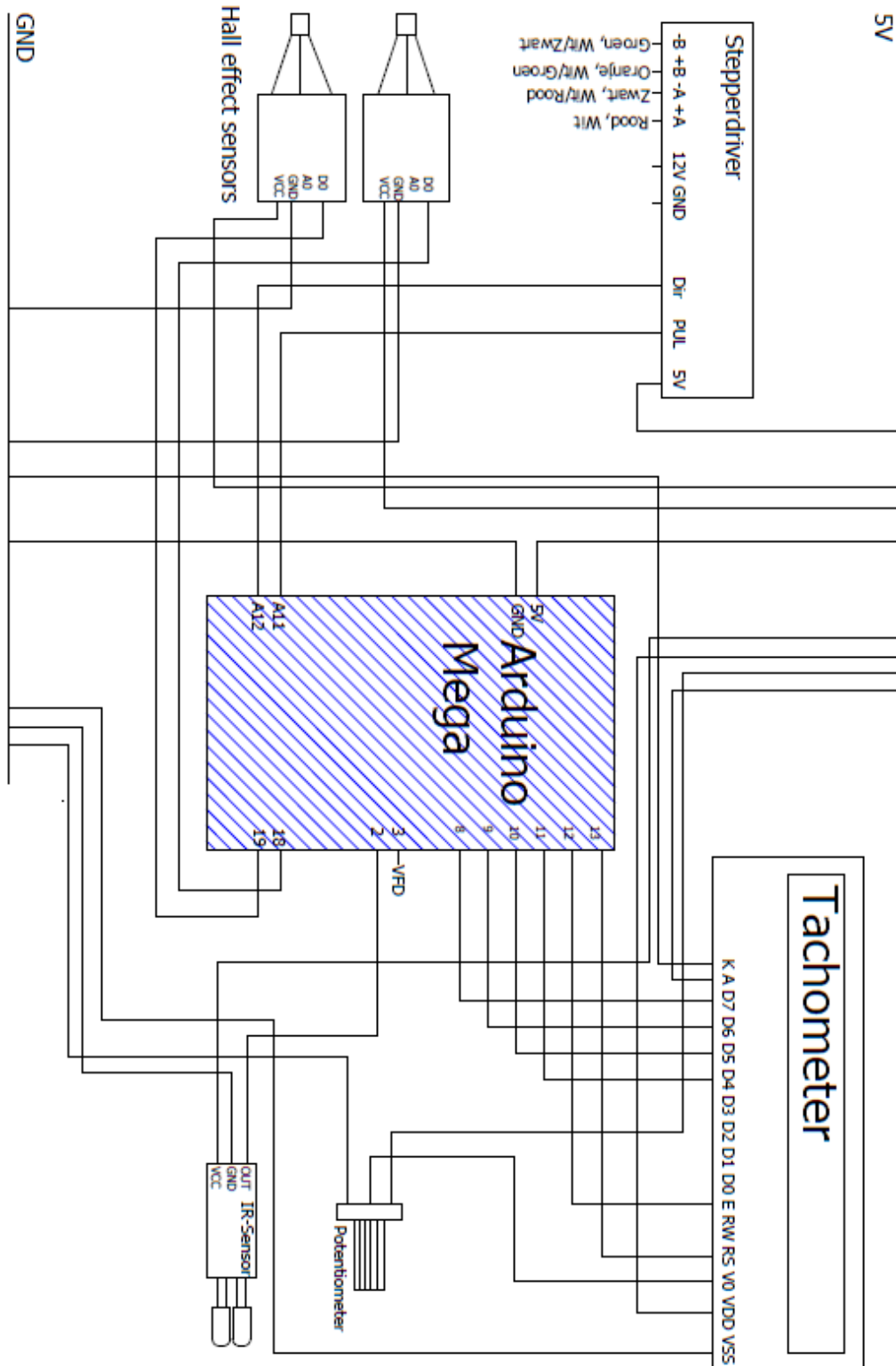


Figure 48 Arduino schema

Snelheidsmeter

1. LCD
2. IR-sensor/Hall-effect sensor
3. Potentiometer

Lineaire Stappenmotor

1. 2 x Hall effect sensor
2. Stepperdriver
3. Stappenmotor

PID

1. Poort: D3 en GND

Alle sensoren moeten gevoed worden met 5V en naar de Ground worden gebracht. Hier worden de sensoren bekrachtigd en kunnen ze te werk gaan. Daarna wordt de signaalpin van de sensor naar een interrupt-pin geleid.

Op de ArduinoMEGA zijn dit de Interruptpins: 2, 3, 18, 19, 20, 21.

Zoals je ziet beschikt de LCD over erg veel aansluitpunten en al deze geleiders kunnen interfereren met elkaar. Om die reden maken we gebruik van een Serial LCD. Deze beschikt over slechts een 3-tal aansluitpunten wat voordeliger is bij de aansluiting. Gezien deze LCD maar over een beperkt aantal geleiders beschikt zullen deze ook niet met elkaar kunnen interfereren.

Gezien de onderbreking van de Covid-19 lockdown is de serial LCD nog niet functioneel. Om die reden staat de gewone LCD in het schema.

Onderstaande foto geeft weer waar de verschillende pinnen voor staan. De contrast word aangesloten aan de middelste pin van de potentiometer. Hierdoor kan het scherm verscherpt worden zodat de tekst leesbaar is. Het programma voor de aansturing van de LCD is terug te vinden in de Arduino Library. Door gebruik te maken van het programma LiquidCrystal kan de LCD aangestuurd worden.

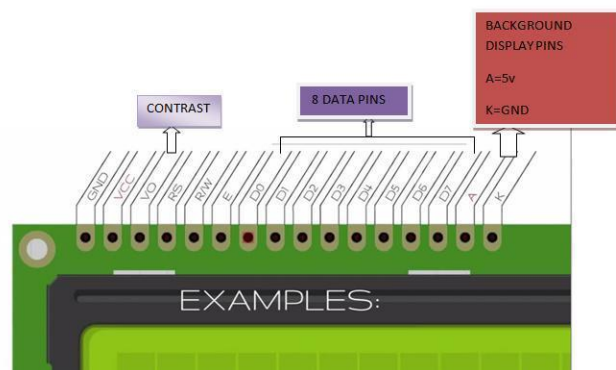


Figure 49 LCD pin-layout

Er vertrekken 2 geleiders van een analoge poort naar de stepperdriver. Deze 2 poorten zijn geprogrammeerd als 2 digital outputs en deze zullen een signaal geven wanneer de stappenmotor moet draaien alsook in welke richting. Ten laatste wordt de interruptpoort 3 van de Arduino naar de VFD gestuurd. Deze poort zal een 0-5V signaal doorsturen naar de VFD om op die manier de snelheid van de elektromotor te regelen.

6.3 Snelheidsmeter

6.3.1 Werking

Op de trommel van de motor wordt een reflecterend stripje op een zwarte achtergrond geplaatst. Wanneer de motor draait zal de reflecterende strip langs de IR-sensor draaien.

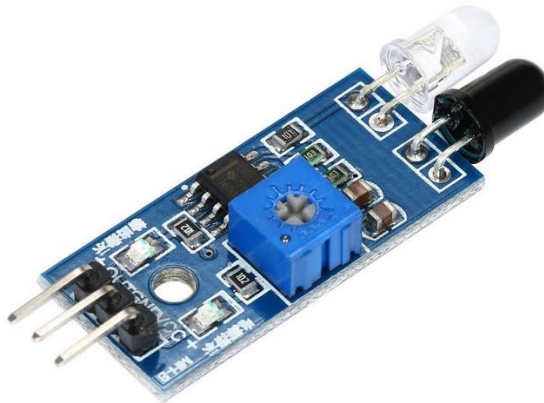


Figure 50 IR-sensor

De IR-sensor bestaat uit een IR transmitter(witte led) en -receiver(Zwarte led). De transmitter geeft Infrarood stralingen af en de receiver ontvangt deze stralingen wanneer deze weerkaatst worden. De receiver geeft dan een hoog signaal aan op de Vout pin. Wanneer de receiver niets ontvangt zal de Vout pin een laag signaal krijgen.

De snelheidsmeter zal een signaal doorsturen wanneer het reflecterende stripje langs de IR-sensor gaat. Het programma gaat de tijd meten voor 1 omwenteling in milliseconden. Deze tijd wordt daarna gedeeld door 1 omwenteling waardoor het aantal toeren per milliseconden wordt bekomen. Deze waarde wordt dan vermenigvuldigd door 60.000 milliseconden, waardoor de rpm's worden bekomen. Daarna moet de rpm doormiddel van een formule naar km/h worden gebracht.

$$V = \frac{r}{100} \times \omega \times \frac{3600}{1000}$$
$$V = \frac{d}{2 \times 100} \times \frac{2 \times \pi \times n}{60} \times 3,6$$
$$V = d \times n \times \frac{2 \times \pi \times 3,6}{2 \times 60 \times 100}$$
$$V = d \times n \times 0.001885$$

V = Kilometer Per Uur(km/h)
d = Trommel Diameter(cm)
r = Trommel Straal(cm)
n = Toeren Per Minuut(Tr/min)
 ω = Hoeksnelheid(rad/s)

6.3.2 Hall-effect sensor

Tijdens het testen van de snelheidsmeter, waren de metingen echter niet correct. De IR-sensor ving onnodig veel signalen op. Hierdoor werden waardes weergegeven van over de 20000tr/min.

We merkten op dat de IR-sensor ook een signaal doorstuurde wanneer deze langs het zwarte oppervlak draaide. Ook knipperde het led-lampje meerdere malen terwijl deze normaal gezien slechts eenmaal moest knipperen, namelijk wanneer deze langs de reflecterende strip kwam.

Ik probeerde de sensor nog wat te regelen met de potentiometer, maar dit had geen succes. Dit leidde uiteindelijk tot de conclusie dat deze sensor te gevoelig was en dat een hall-effect sensor beter zou zijn.

De hall-effect sensor heeft hetzelfde werkingsprincipe als een IR-sensor. Het enige verschil is dat de hall-sensor een hoog signaal doorstuurt wanneer er een magneet voor staat. Al snel werd duidelijk dat de hall-sensor veel stabielere werkte en deze geen onnodige signalen doorstuurde. Jammer genoeg was het probleem nog steeds niet opgelost.

Later in dit hoofdstuk wordt duidelijk wat daadwerkelijk het probleem was.

6.4 Lineaire Stappenmotor

6.4.1 Werking

De stappenmotor is aangesloten aan een draadeinde die van een roterende naar een op- en neergaande beweging zal gaan. Om de op- neergaande beweging te realiseren, zijn er op de uiteindes van de draadgeleider hall sensors en op het bewegend gedeelte magneten geplaatst.

De stappenmotor zal van richting veranderen wanneer de magneet in aanmerking komt met de hall sensor.

6.4.2 Snelheid

Op de stepperdriver kan ingesteld worden hoeveel pulsen er nodig zijn voor een omwenteling. Deze staat op 200 pulsen.

Het programma is zo ingesteld dat wanneer de trommel een omwenteling maakt de stappenmotor een aantal stappen naar links of naar rechts draait, afhankelijk van de dikte van het koord.

6.4.3 Berekening stappen

Gegevens:

- Spoed draadeind = 8mm
- Dikte koord = 0.9mm
- $D_{Trommel} = 60\text{mm}$
- $L_{Trommel} = 300\text{mm}$
- 200 pulsen/omw

Gevraagd:

- Steps = ?

Berekening:

$$\text{Afstand bij 1 stap} = \frac{\text{Spoed draadeind}}{200 \text{ pulsen/omw}} = \frac{8}{200} = 0.04 \text{ mm per stap}$$

$$\text{Aantal stappen voor 0.9mm} = \frac{\text{Dikte koord}}{0.04 \text{ mm per stap}} = \frac{0.9}{0.04} = 23 \text{ stappen} \cong 25 \text{ stappen}$$

Conclusie:

De stappenmotor moet 25 stappen naar links/rechts bewegen wanneer de hall-sensor een signaal krijgt. Hierdoor zal de lineaire stappenmotor het koord mooi over de trommel geleiden.

6.4.4 Aansluiting stepperdriver met stappenmotor

De stappenmotor beschikt over 8 uitgaande geleiders maar de stepperdriver slechts over 4 aansluitpunten.

Om dit probleem op te lossen moet je de windingen zo aansluiten dat je van 8 naar 4 draads gaat. Er zijn hiervoor 2 mogelijke oplossingen, beide met verschillende doeleinden, namelijk serie of parallel.

6.4.5 Serie

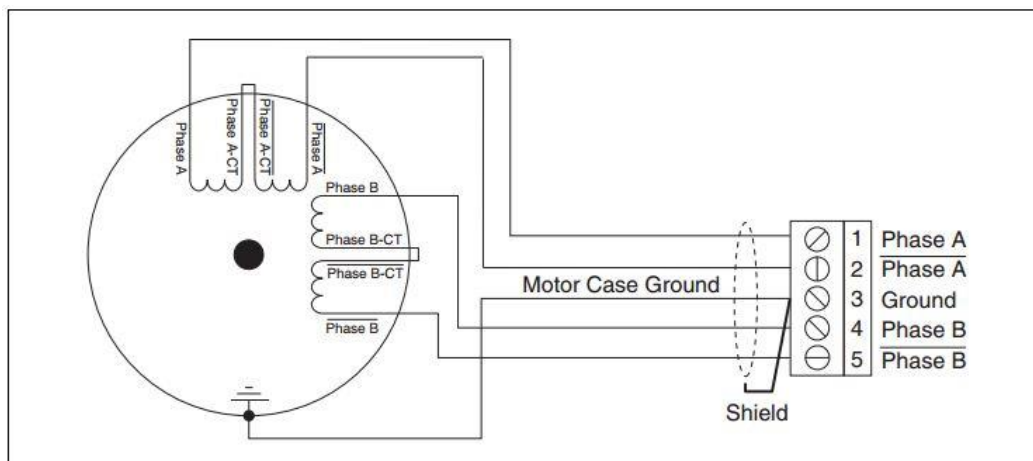


Figure 51 Serieschakeling stappenmotor

Wanneer motorkoppel meer prioriteit heeft op de snelheid is de serieschakeling het meeste geschikt.

6.4.6 Parallel

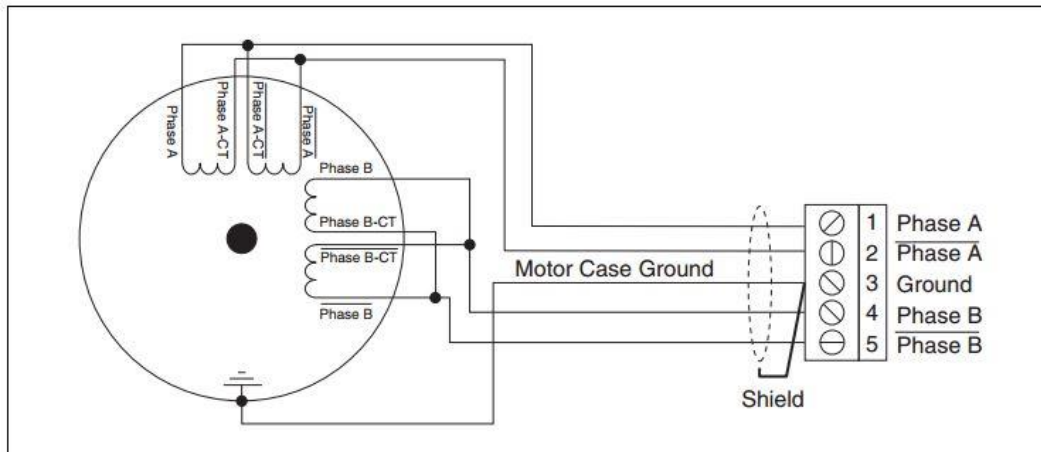


Figure 52 Parallelschakeling stappenmotor

Door de windingen in parallel te schakelen zal deze voor hogere snelheden zorgen ten koste van het koppel. De stroom zal oplopen om het koppel gelijk te houden.

Ik heb de stappenmotor in parallel geschakeld omdat de winch de draad met hoge snelheid oprolt. Daarom is het belangrijk dat de stappenmotor die snelheid kan volgen.

6.5 PID

De PID in het systeem gaat het toerental regelen van de elektromotor doormiddel van een 0-5V regeling. De PID is intern verbonden met de tachometer en zal een bepaalde voltage doorsturen naar de frequentieregelaar zodat de gevraagde snelheid wordt bereikt.

6.5.1 Pulsebreedtemodulatie

De 0-5V regeling wordt gerealiseerd door de arduino met behulp van PWM.

PBM of PWM(Pulse Width Modulation) zijn pulsen met een vaste frequentie waarvan de breedte van de puls varieert. Door de breedte van de puls te veranderen, oftewel de arbeidscyclus, is het mogelijk om een spanningsregelaar te maken.

$$U = \text{Amplitude Spanning (5V)} \times \text{Arbeidscyclus}$$

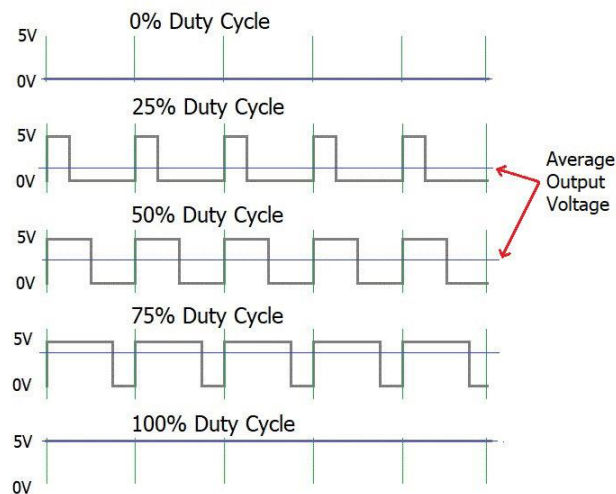


Figure 53 PWM

6.5.2 RC-filter

Door de PWM komt er een On-Off signaal binnen in de frequentieregelaar en zou het kunnen zijn dat de frequentieregelaar moeilijkheden zou krijgen om dit On-Off signaal te accepteren. Om dit probleem op te lossen is er een RC-filter aangebracht om deze rechthoekige signalen wat sinusvormiger te maken.

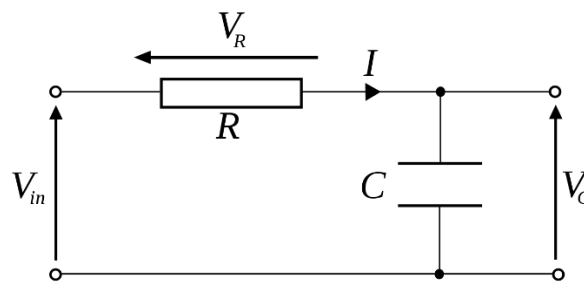


Figure 54 RC-kring

6.5.3 Werking PID

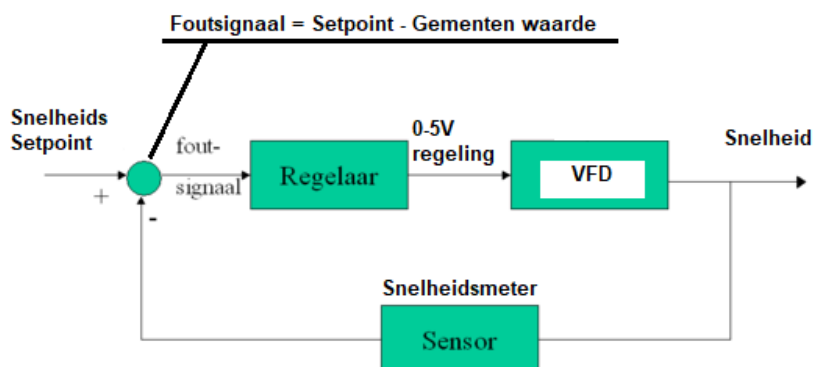


Figure 55 PID werking

PID staat Voor Proportioneel, Integrerend en Differentiërend, en dit systeem regelt de snelheid doormiddel van het verschil tussen de gemeten waarde en setpoint. Dit wordt ook wel het foutsignaal genoemd. Het foutsignaal kan bijgestuurd worden door de Kp-, Ki- en Kd-waarde aan te passen om uiteindelijk een foutsignaal van 0 te behalen.

6.5.4 Ziegler-Nichols PID tuning

In het programma kan de K_p , K_i en K_d waarde aangepast worden om op die manier een stabiel systeem te realiseren. Om het programma te stabiliseren wordt de Ziegler-Nichols Methode toegepast.

Deze methode houdt in dat de P-regelaar zo gaat instellen dat het systeem stabiel oscilleert. Om een P-regelaar te realiseren moet de K_i en K_d op 0 worden gezet. De K_p -waarde waarbij het systeem oscilleert wordt ook wel de maximale Gain genoemd (K_{cr}). Deze waarde is nodig voor het instellen van de PID.

Daarna wordt gekeken naar de tijd tussen de 2 golftoppen (de periode).

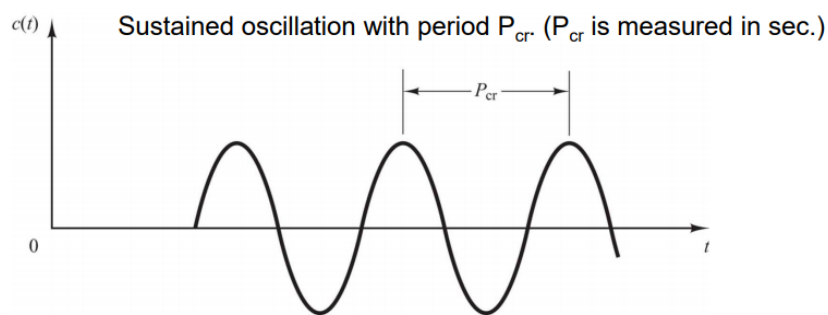


Figure 56 stabiel oscilleren

Als de Maximale Gain en de periode gekend is, kunnen de uiteindelijke PID waardes berekend worden.

Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Figure 57 Formules PID

Deze methode geeft een goede richtlijn voor de K-waardes die nodig zijn om het systeem stabiel te krijgen. Achteraf kunnen deze nog gefinetuned worden om een mooier verloop te krijgen.



Figure 58 Verloop snelheidsregeling

Op de bovenstaande afbeelding is het verloop van de snelheidsregeling van de meetopstelling te zien. Aan de linker kant was ik bezig met de Ki-waarde aan te passen en de rechterkant is het resultaat van een goede PI-regeling (verwaarloos de overshoot). De Kd-waarde is 0 omdat wanneer de Kd-waarde werd opgevoerd het systeem meteen in overshoot ging, wat leidde tot een onstabiele werking.

6.6 Electromagnetic Interferences

6.6.1 Probleem

Het grootste probleem was echter nog dat de toerenteller niet naar behoren werkte wanneer de motor draaide. Gezien de toerenteller niet juist werkte deden de PID, LCD en de stappenmotor ook niets.

Uiteindelijk hebben we de arduino uit de elektrokast gehaald omdat we vermoedden dat de arduino storingen zou kunnen opvangen van de frequentieregelaar. De Arduino Mega werd aan de andere kant geplaatst van de opstelling. Hierdoor zou deze ver van al het vermogen verwijderd zijn.

Door deze aanpassing werkte de tachometer een klein beetje stabiel, maar nog steeds gaf deze de onjuiste waarde aan. Doormiddel van de oscilloscoop kon ik zien of het signaal wel goed was. Je merkte gelijk op dat het signaal nog steeds zwaar werd verstoort wanneer de motor aan het draaien was. Dit was dan ook de oorzaak van de onjuiste metingen, omdat de arduino alle stijgende lijnen beschouwde als een signaalpuls.

Signaal van de toerental-sensor wanneer motor stilstaat.

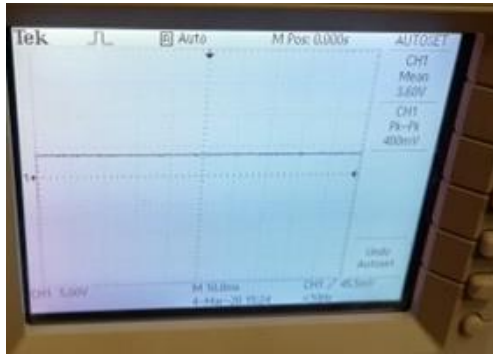


Figure 59 signaal sensor motor off

Signaal van de toerental-sensor wanneer motor draait

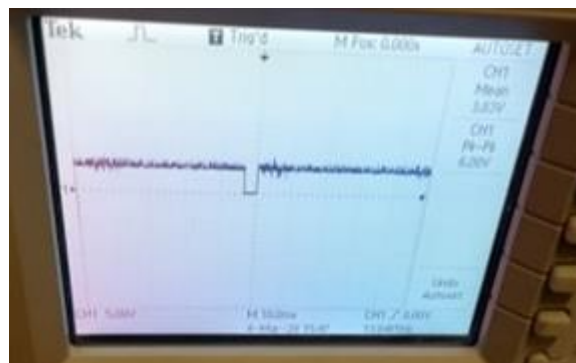


Figure 60 Signaal sensor motor on

Het verschijnsel wat hier optreedt wordt ook wel Elektromagnetische Interferentie genoemd(EMI). Deze interferentie treedt op omdat elektronische apparaten magnetische velden kunnen uitstralen. Deze magnetische velden kunnen ontvangen worden door andere producten wat de werking kan belemmeren.

Electromagnetic Interference

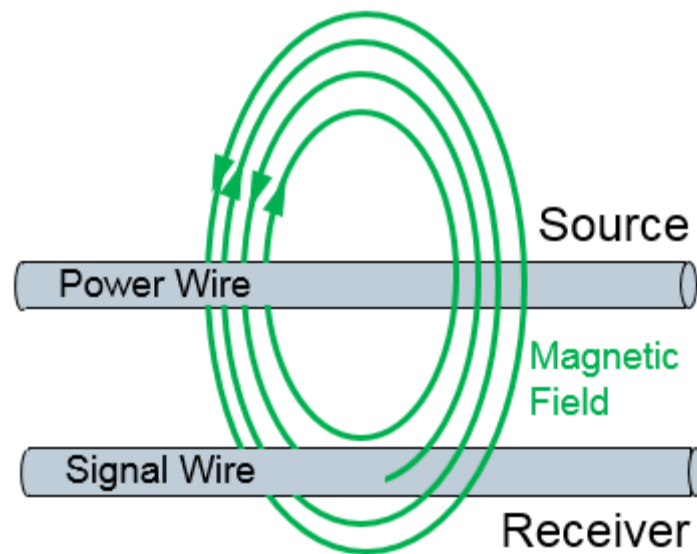


Figure 61 EMI

In dit geval was het duidelijk dat de motor de oorzaak was van de interferenties waardoor de arduino niet correct werkte.

De elektromotor trekt een hoge stroom, en doordat er stroom vloeit in de geleider zal er een magnetisch veld ontstaan rond deze geleider. Als er een datakabel in buurt staat van dit magnetisch veld kan deze een spanning opwekken in die nabijgelegen datakabel. Hierdoor ontvangt het signaal ongewenste spanningen, wat het programma niet kan verwerken.

Om het programma goed te laten werken, moest er een oplossing gevonden worden om deze interferenties te verwijderen.

6.6.2 Oplossingen

- Kabellengte verkleinen.
- Afstand vergroten tussen de Arduino en de storingsbron.
- Gebruik van shielded kabels: Dit zal de geïnduceerde stroom, wat een gevolg is van het magnetisch veld dat wordt opgewekt, een uitweg geven naar de ground. Deze shields moeten samen op 1 punt geaard worden zodat ground loops (stromen naar elkaar vloeien) word vermeden.

Al deze oplossingen zijn getest maar zonder enig resultaat. Uiteindelijk hebben we gebruik gemaakt van een Low-pass filter, waardoor heel het systeem correct werkte. De low-pass filter filtert alle hoge frequenties(storingen) weg, waardoor een mooi recht verloop verkregen wordt.

Belangrijk om te weten is dat de low-pass filter net voor de ingang van de arduino geïnstalleerd moet worden. De reden hiervoor is dat deze op deze manier geen storingen meer kan opvangen nadat het signaal gefilterd is. Alle low-pass filters van de sensoren zijn daarom ook vast gesoldeerd op de screw terminal van de arduino.

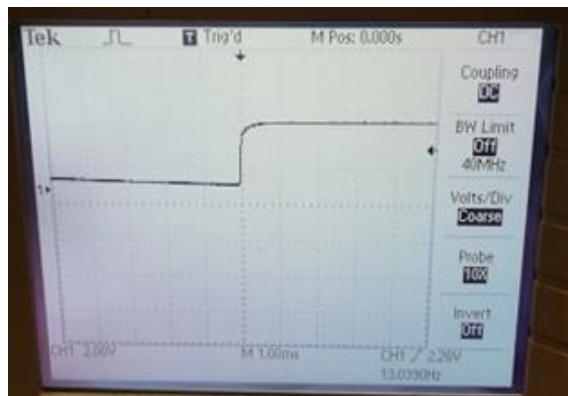


Figure 62 Signaal sensor met Laagdoorlaat filter

6.6.3 RC-kring

Een RC-kring is een schakeling bestaande uit een weerstand en een condensator. Deze 2 componenten kunnen in serie of in parallel met elkaar staan.

- In serie gedraagt de schakeling zich als een laagdoorlaatfilter. Dit betekent dat vanaf een bepaalde frequentie deze het signaal niet meer doorlaat.

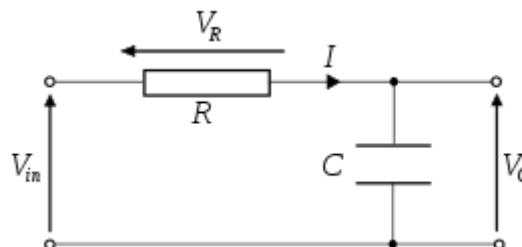


Figure 63 Serie RC-kring

- In parallel zal deze de lage frequenties blokkeren en alleen de hoge frequenties doorlaten.

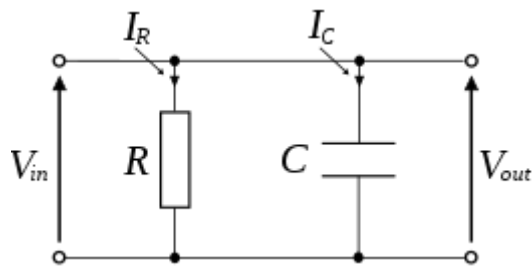


Figure 64 parallel RC-kring

De frequentie vanaf die de filter doorlaat of blokkeert wordt ook wel de kantelfrequentie genoemd of cut-off frequentie. Deze frequentie hangt af van de weerstand en condensator die gebruikt wordt en kan berekend worden door middel van de volgende formule:

$f_R = \frac{1}{2 \times \pi \times R \times C}$	f_R = Kantelfrequentie (HZ) R = Filterweerstand (Ω) C = Condensatorwaarde (F) (farads)
--	---

In de opstelling is er gebruik gemaakt van laagdoorlaatfilters met een 100Ω weerstand en $1\mu\text{F}$ condensator omdat de stringen in het programma een aanzienlijk hogere frequentie aannemen dan het daadwerkelijke signaal. Deze stringen kunnen makkelijk weg gefilterd worden doormiddel van een laagdoorlaatfilter.

6.7 Programma

PID = rood

Snelheidsmeter = blauw

Lineaire stappenmotor = groen

```
float value = 0;
float rev = 0;
float v;
int rpm;
int oldtime = 0;
int time;
```

```
unsigned long duration;
#include <PID_v1.h>

double Setpoint ; // Gewenste waarde
double Input; // rpm meter
double Output ; //VFD
//PID parameters
double Kp = 0.13, Ki = 0.2, Kd = 0;
//create PID instance
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd,
DIRECT);
```

```
#define HALL_SENSOR_A 20
#define HALL_SENSOR_B 21
#define DIR A12
#define STEP A11
#define stepsPerRevolution 200 // Aantal pulses
voor 1 omwenteling
// Variables
int pd = 200; // Pulse Delay period
boolean setdir = HIGH; // Set Direction
```

Eerste gedeelte van het programma worden alle pinnen en constanten benoemd.

De float functie kan 7 decimale getallen weergeven terwijl de double 15 kan weergeven. We kunnen aannemen dat een double nauwkeuriger is dan een float.

Bij de PID wordt voor de K-waardes een double gebruikt, dit betekent dat de K-waardes kommagetallen accepteren.

#define is een andere manier om je pinnen te benoemen; dit zou eventueel ook kunnen met de int() functie.

In het volgende gedeelte worden de interrupts behandeld. Zoals in het begin van het hoofdstuk werd vermeld, detecteert deze functie de flank van een bepaald signaal. Maar dit is niet de reden waarom deze functie wordt gebruikt voor de sensoren. De reden hiervoor is dat als de sensor nauwkeurig moet werken, deze geen signaal mag missen omwille van de grootte van het programma. Om die reden worden de interrupts gebruikt. De functie zorgt ervoor dat heel het proces stop word gezet en de arduino alleen nog maar aandacht heeft voor de interruptservices routine. Daarom is het belangrijk dat er niet al te veel activiteiten gebeuren in deze interruptservice routine. Hierdoor zou je programma rondom de interrupt minder goed kunnen werken.

```
// Interrupt Handlers
```

```
void limit_a () {
```

```
    // Reverse motor
```

```
    setdir = !setdir;
```

```
}
```

```
void limit_b () {
```

```
    // Reverse motor
```

```
    setdir = !setdir;
```

```
}
```

```
void isr()
```

```
{
```

```
    rev++;
```

```
    for (int i = digitalPinToInterrupt(2); i < 25; i++) {
```

```
        digitalWrite(STEP,LOW);
```

```
        delay(1);
```

```
        digitalWrite(STEP,HIGH);
```

```
        delay(1);
```

```
    }
```

```
}
```

Uitroepteken betekent inverteren, dus telkens wanneer een hall sensor bekrachtigd wordt zal de draairichting geïnverteerd worden, dus omkeren.

De void isr() zegt wat er moet gebeuren in de interruptservice routine. Wanneer de interrupt geactiveerd wordt door pin 2 waarop de toerenteller op aangesloten is, zal de stappenmotor 25 stappen draaien. Dit komt doordat de STEP op de sterpperdriver geactiveerd word, waardoor deze een signaal doorstuurt.

<pre> void setup() { Serial.begin(9600); Setpoint = 30; //Snelheid instellen //Turn the PID on myPID.SetMode(AUTOMATIC); //Adjust PID values myPID.SetTunings(Kp, Ki, Kd); //PID instellen // Setup the stepper controller pins as Outputs pinMode(DIR, OUTPUT); pinMode(STEP, OUTPUT); // Setup the Hall Effect switches as Inputs pinMode(HALL_SENSOR_A, INPUT); pinMode(HALL_SENSOR_B, INPUT); // Attach interrupt pins to handlers attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(HALL_SENSOR_A), limit_a, FALLING); attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(HALL_SENSOR_B), limit_b, FALLING); attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), isr, RISING); } </pre>	<p>In de void setup worden alle poorten ingesteld als input of output. Bij de hall-sensors moet men nog schrijven wat ze moeten detecteren en welke poort ze aannemen.</p> <p>DIR, regelt de draairichting van de stappenmotor</p> <p>STEP zorgt ervoor dat de stappenmotor een signaal krijgt wanneer die moet draaien</p> <p>Om de interruptpoorten aan te wijzen wordt de functie digitalPinInterrupt gebruikt.</p> <p>.</p>
---	---

- Alle sensoren worden beschouwd als inputs.
- DIR en STEP zitten op de stepperdriver. Deze gaan de stappenmotor aansturen en worden beschouwd als outputs.
- De hall sensors voor de lineaire stappenmotor detecteren de vallende flank, en voor de toerenteller de stijgende flank.
- De gewenste snelheid kan men hier ook instellen bij de Setpoint(grijs).

<pre> void loop() { digitalWrite(DIR, setdir); delay(1000); detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2)); time = millis() - oldtime; //finding total time for one rev rpm = (rev / time) * 60000UL; //calculating the rpm v = rpm * 60 * 0.001884;// calculating km/h oldtime = millis(); rev = 0; attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), isr, RISING); Input = v; //PID calculation myPID.Compute(); //Write the output as calculated by the PID function analogWrite(3, Output); //VFD is set to digital 3 this is a pwm pin. //Send data by serial for plotting Serial.print(Input); Serial.print(" "); Serial.println((Output / 256) * 5); Serial.print(" "); Serial.println(Setpoint); Serial.print(" "); Serial.println(rpm); Serial.print(" "); Serial.println(v); } </pre>	<p>Eerst word de draairichting ingesteld van de stappenmotor waarop die moet beginnen, DIR staat op dezelfde toestand als setdir, en setdir hebben we benoemd in het begin. Deze staat op HIGH.</p> <p>Dan gaat de toerenteller in werking(pin 2). Deze gaat de interrupt activeren en het toerental meten en uitrekenen(zie hoofdstuk snelheidsmeter).</p> <p>Daarna gaat de PID beginnen, en zal deze door middel van de gemeten snelheid(v), een benodigde spanning doorsturen naar de VFD(pin 3). Al het rekenwerk van de PID wordt gedaan door de functie Compute(). Zonder deze functie kan de PID niks uitrekenen.</p> <p>Op het laatst worden alle belangrijke parameters verstuurd naar de serial monitor.</p> <p>Door de loop begint de code weer vanaf het begin. Er is een delay aan toegevoegd zodat alle data op de serial monitor goed leesbaar is.</p> <p>In bijlage is de code te vinden zonder uitleg.</p>
--	--

Op de serial monitor kan men de volgende parameters lezen:

- Setpoint
- Snelheid in Rpm
- Snelheid in km/h
- De PID spanning

6.8 Frequentieregelaar

In het stuurschema moet de elektromotor via drukknoppen aangestuurd worden en de elektromotor de mogelijkheid geven om met behulp van een wisselschakelaar de draairichting te veranderen. Om aan deze eisen te voldoen zal er op de VFD een aantal parameters veranderd worden. Op het laatste zal er een overzicht zijn van alle parameters die aangepast moet worden.

6.8.1 Schema

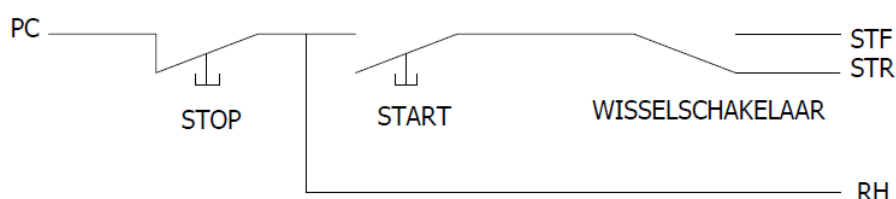


Figure 65 Stuurschema

PC	PC is intern verbonden in de VFD met 24V DC
STF	Forward Operation Start
STR	Reverse Operation Start
STOP	Normaal Gesloten Drukknop
START	Normaal Open Drukknop
RH	RH staat voor High Speed en deze gaat men converteren naar een stop functie met behulp van de parameters.
Wisselschakelaar	2 standen schakelaar voor draairichting aan te passen

Het schema stelt een start-stop schema voor. Hierbij zal de stop continu bekrachtigd worden door 24V. Wanneer de RH een On-Off signaal ontvangt, zal het systeem stoppen. Doormiddel van de wisselschakelaar kan men kiezen in welke richting de motor draait als men vervolgens op de startknop duwt. Wanneer de start- en de stopknop tegelijkertijd worden ingedruwd zal de motor niet draaien.

6.8.2 Parameter Settings

Basis Instellingen	
Pr.1	Maximale frequentie
Pr.2	Minimum frequentie
Pr.3	Motorfrequentie (zie kenteken)
Pr.7	Acceleratie tijd
Pr.8	Deceleratie tijd
Pr.9	Maximale stroom (zie kenteken)
Pr.19	Motorspanning (zie kenteken)

Extern opstarten door drukknoppen	
Pr.250	Zet naar 9999 zodat men kan starten met een drukknop.
Zet Pr.25 In Pr.178 en 182	Dit zorgt ervoor dat Poort RH op de VFD een stop functie krijgt.

0-5V regeling	
Pr.79	Op de interface van de VFD moet de LED van EXT branden. Indien deze niet brandt zal deze niet werken via de 0-5V. Om die reden drukt men op PU/EXT. Als dit niet werkt zet men 2 bij Pr.79.
Pr.73	Zet op 1 zodat de 0-5V regeling staat ingesteld voor de frequentie te regelen.
Pr.561	Deze parameter is voor de activatie van de PTC thermistor. Deze beschikt over dezelfde ingang als de 0-5V regeling, namelijk pin 2. Deze moet om die reden uitgeschakeld worden. Dus moet men 9999 instellen in Pr.561.
Pr.125	De frequentie bij 5V stel je hier in.

7 Conclusie

De meetopstelling werkt zoals deze in de scriptie staat beschreven. De toerenteller gaat de snelheid meten van het koord en vervolgens kan de PID deze toeren van de elektromotor constant houden met behulp van de 0-5V regeling. De lineaire stappenmotor zal na elke andere toer 25 stappen verdraaien. Alle parameters die gemeten en berekend worden in het programma zijn weergegeven in de Serial monitor van de Arduino.

Met behulp van het theoretische kader betreffende de rompweerstand kan ik al een indicatie geven welke romp ik zou verwachten dat het meest geschikt zou zijn. In het geval van de zonneboot zal de romp die het slankste en minste diepgang heeft de minste rompweerstand geven. Deze factoren zullen er voorzorgen dat het natte oppervlak van de romp minimaal blijft met als gevolg dat de wrijving en de golfmakende weerstand zo klein mogelijk is. Het belangrijke is dat de romp zo slank mogelijk is uitgevoerd zodat de laminaire stroming over een langere lengte intact blijft tot deze afbreekt naar een turbulente stroming.

Ook al hebben we de fysieke testen niet kunnen uitvoeren om ons theoretisch kader te onderbouwen, staat de meetopstelling er wel, wat het leeuwendeel van de thesis was. Een volgende student zou op dit punt de nodige testen gemakkelijk kunnen uitvoeren om alsnog te bepalen welke romp het meest geschikt is voor de zonneboot. Ik hoop daarom dat deze thesis en de meetopstelling die ik heb gerealiseerd alsnog een goede bijdrage kan leveren aan de constructie van de zonneboot en deze kan optimaliseren.

8 Bibliografie

2H Microstep driver - STEAM Projects. (z.d.). *Makeblock*. Geraadpleegd 14 mei 2020, van

<https://www.makeblock.com/project/2h-microstep-driver>

260451.pdf. (z.d.). Geraadpleegd 14 mei 2020, van

<https://be3a.mitsubishielectric.com/fa/fr/dl/9751/260451.pdf?fbclid=IwAR3AQC9s5NPHALTDf5uWHfRJHrvsjrXcUGb-uuhqGzid010OuLiobiZnZzk>

Arduino Forum - Index. (z.d.). Geraadpleegd 14 mei 2020, van <https://forum.arduino.cc/>

Banovs, M., Unbedahts, A., & Rijkuris, G. (2013). *Influence of Ship's Hull and Engines*

Monitoring on Maritime Safety Improvement - ProQuest.

<Http://Search.Ebscohost.Com/Login.aspx?Direct=true&AN=109054418&db=a9h&site=ehost-Live>. <https://search.proquest.com/openview/8f059d445eaa72871cf067780cf55e53/1?pq-origsite=gscholar&cbl=626460>

Binnenmeter Hogetex / Techno-Post. (z.d.). Geraadpleegd 14 mei 2020, van

<https://www.hogetex.com/binnenmeter-825>

Boortjes om M3 T/M M12 schroefdraad voor te boren. (z.d.). Geraadpleegd 14 mei 2020, van

<https://www.klusidee.nl/Forum/boortjes-om-m3-t-m-m12-schroefdraad-voor-te-boren-t102928.html>

Computational Fluid Dynamic (CFD) for Estimating Vessel Hull Performance. (z.d.).

Geraadpleegd 14 mei 2020, van <https://bristolharbortgroup.com/our-services/vessel-design/computational-fluid-dynamics/>

De vaste of meelopende bril bij een draaibank. (z.d.). Machines Crispyn. Geraadpleegd 14 mei

2020, van <https://www.verspanen.be/blogs/verspaneniseenvak/de-vaste-of-meelopende-bril-bij-een-draaibank/?source=facebook>

Difference Between 4-Wire, 6-Wire and 8-Wire Stepper Motors - National Instruments. (z.d.).

Geraadpleegd 14 mei 2020, van

https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z000000PAkPSAW&fbclid=IwAR2WDCBD1Bk-Dk3JISwuuwWWFaCVFPyrAT8FucRj4FjlobCPR3JpB7ul_20

Dulimex bommerscharnier dubbelwerkend RVS - deurbeslagstore.be. (z.d.). Geraadpleegd 14 mei 2020, van <https://www.deurbeslagstore.be/dulimex-bommerscharnier-dubbelwerkend-rvs.html>

Dynamometer PCE-HS 150N | PCE Instruments. (z.d.). Geraadpleegd 14 mei 2020, van https://www.pce-instruments.com/dutch/meettechniek/meetapparatuur-voor-alle-parameters/dynamometer-pce-instruments-dynamometer-pce-hs-150n-det_1053252.htm

Experimental Study of Total Hull Resistance of Pentamaran Ship Model with Varying Configuration of Outer Side Hulls | Elsevier Enhanced Reader. (z.d.). <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.123>

facilities-towing-tank. (z.d.). SHM Blog. Geraadpleegd 14 mei 2020, van <https://www.shmgroup.com/blog/actions-needed-for-sustainability-in-maritime-transport-part-4/facilities-towing-tank/>

Knowledge Centre Manoeuvring in Shallow and Confined Water. (z.d.). Geraadpleegd 14 mei 2020, van http://www.shallowwater.ugent.be/EN/kc_fac_st_EN.htm

Scheepsweerstand. (2019). In *Wikipedia*. <https://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Scheepsweerstand&oldid=55111304>

SLO-SYN_SS2000MD7_MD7-128_Step_Drive_Translator_Manual.pdf. (z.d.). Geraadpleegd 14 mei 2020, van https://www.kollmorgen.com/sites/default/files/public_downloads/SLO-SYN_SS2000MD7_MD7-128_Step_Drive_Translator_Manual.pdf?fbclid=IwAR0U3Kq1jaCQ4uqINZp8ehua9NCocUFSWPupW0nli7J6hM8vePftTJQkSCx0

SuperiorM06.pdf. (z.d.). Geraadpleegd 14 mei 2020, van <https://www.techkits.com/SuperiorM06.pdf?fbclid=IwAR1-GNaXlkChpL-mBg-qWAEc4woOhFd9z3LzUJLZEb9OU160jSRKkWO6MZA>

Washuta, N. J., Masnadi, N., & Duncan, J. H. (2016). *Near-Surface Boundary Layer Turbulence Along a Horizontally-Moving, Surface-Piercing Vertical Wall*.

weerstand @ zeiltheorie.nl. (z.d.). Geraadpleegd 14 mei 2020, van

<http://www.zeiltheorie.nl/weerstand.html?fbclid=IwAR19DLLwku4fF2Xf96zd6G-BcIEP9UO6mX1x3ANNNCudTfA23LROzfLud1I>

Werking en aansluiting van stappenmotoren - Fraxeon Technical Solutions. (z.d.). Geraadpleegd 14 mei 2020, van <https://www.fraxeon.com/werking-en-aansluiting-van-stappenmotoren>

Workshop, D. (2019, september 3). *Controlling Stepper Motors with Hall Effect Switches*.

DroneBot Workshop. <https://dronebotworkshop.com/stepper-motor-hall-effect/>

(z.d.). Geraadpleegd 14 mei 2020, van <https://www.hsva.de/our-facilities/large-towing-tank.html>

9 Bijlagen

9.1 Rompweerstand vermindering bij grote schepen

9.1.1 *Bulbsteven*

De bulbsteven op een schip zal de stroming van het water beïnvloeden, waardoor deze de golfweerstand kan verminderen.

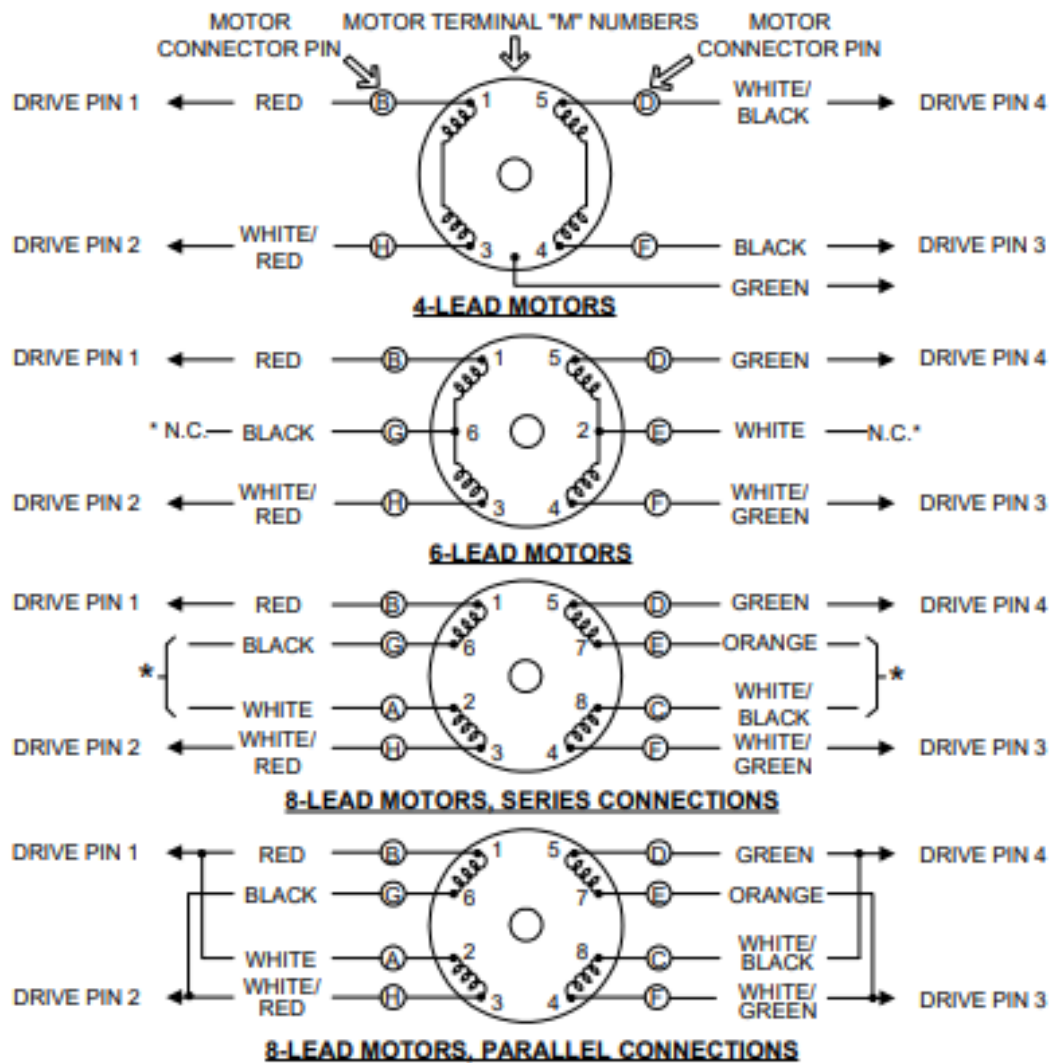
Men weet dat er golven worden gecreëerd door de boeg en deze golven leveren weerstand aan het schip. Door aan de boeg een bulbsteven te plaatsen zal deze ook een eigen golfsysteem creëren. Het golfsysteem van de bulbsteven is in tegenfase met die van de boeg waardoor de bulbsteven de golven van de boeg vermindert.

Met behulp van de bulbsteven kan het schip hogere snelheden behalen. Deze toepassing heeft vooral effect op grote schepen en bij minimaal 6 knopen.

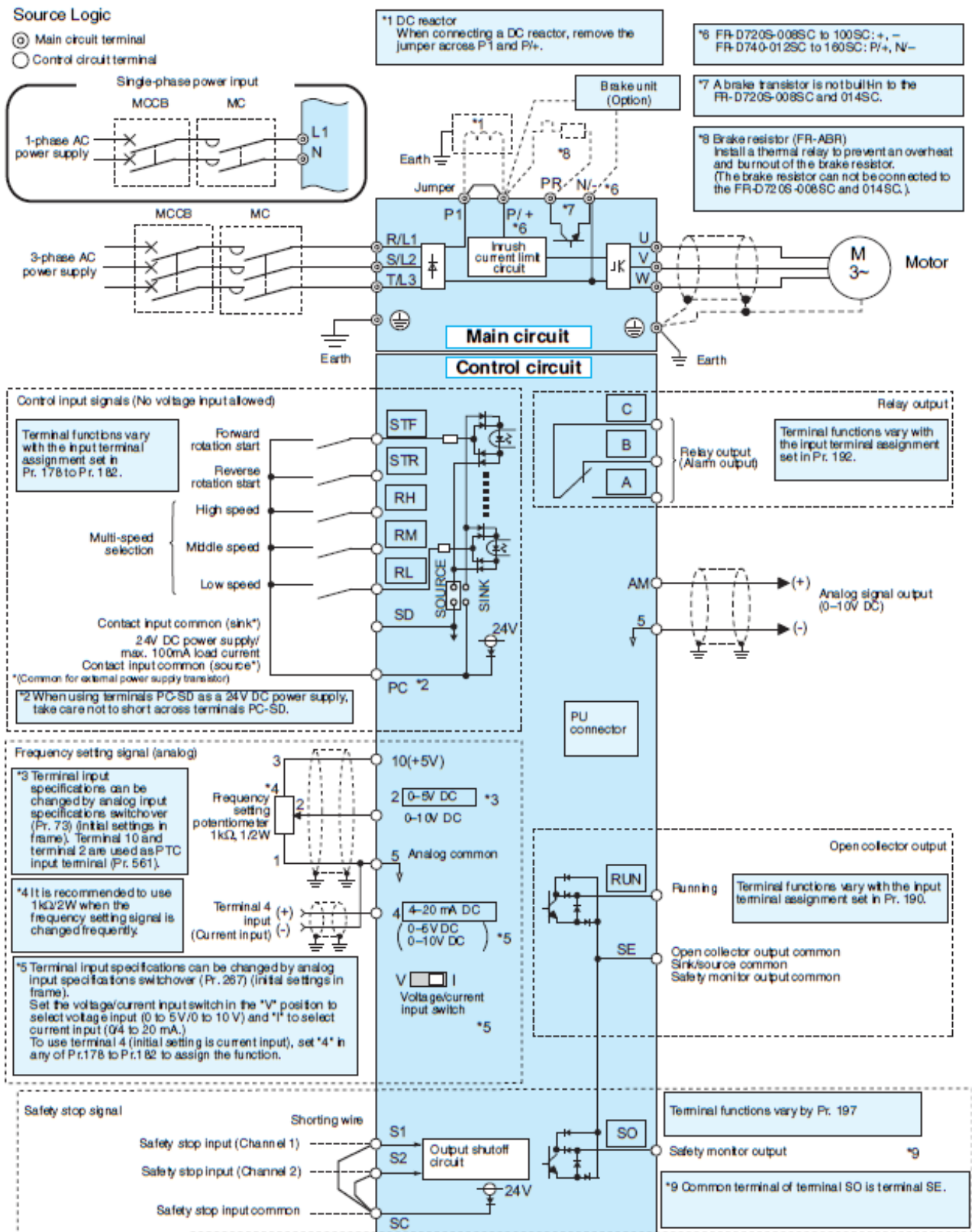
9.1.2 *Trimmen*

Bij bepaalde schepen (container schepen = lage diepgang) is het voordelig om het schip een beetje naar voren te trimmen(koplast), hierdoor zal de bulbsteven goed onderwater zitten waardoor men volledig gebruik kan maken van de eigenschappen van de bulbsteven. Hierdoor komt het achterschip uit het water wat er voor zorgt dat het natte oppervlak wordt verkleind alsook de weerstand.

9.2 Aansluiting 8-draads stappenmotor



9.3 VFD pin lay-out



9.4 Arduino programma

```
float value = 0;
float rev = 0;
float v;
int rpm;
int oldtime = 0;
int time;
unsigned long duration;
#include <PID_v1.h>
double Setpoint ; // will be the desired value
double Input; // rpm meter
double Output ; //VFD
//PID parameters
double Kp = 0.13, Ki = 0.2, Kd = 0;
//create PID instance
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

#define HALL_SENSOR_A  20
#define HALL_SENSOR_B  21
#define DIR    A12
#define STEP    A11
#define stepsPerRevolution 200
// Variables
int pd = 200;    // Pulse Delay period
boolean setdir = HIGH; // Set Direction
// Interrupt Handlers

void limit_a () {

    // Reverse motor
    setdir = !setdir;

}

void limit_b () {

    // Reverse motor
    setdir = !setdir;

}

void isr()
{
    rev++;
    for (int i = digitalPinToInterrupt(2); i < 25; i++) {
        digitalWrite(STEP,LOW);
        delay(1);
        digitalWrite(STEP,HIGH);
        delay(1);
    }
}
```

```

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Setpoint = 30; //Snelheid instellen
  //Turn the PID on
  myPID.SetMode(AUTOMATIC);
  //Adjust PID values
  myPID.SetTunings(Kp, Ki, Kd);//PID instellen

  // Setup the stepper controller pins as Outputs
  pinMode(DIR, OUTPUT);
  pinMode(STEP, OUTPUT);

  // Setup the Hall Effect switches as Inputs
  pinMode(HALL_SENSOR_A, INPUT);
  pinMode(HALL_SENSOR_B, INPUT);

  // Attach interrupt pins to handlers
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(HALL_SENSOR_A), limit_a, FALLING);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(HALL_SENSOR_B), limit_b, FALLING);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), isr, RISING);
}

void loop()
{
  digitalWrite(DIR, setdir);
  delay(1000);
  detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2));
  time = millis() - oldtime; //finding total time for one rev
  rpm = (rev / time) * 60000UL; //calculating the rpm
  v = rpm * 60 * 0.001884; // calculating km/h
  oldtime = millis();
  rev = 0;

  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), isr, FALLING);

  Input = v;
  //PID calculation
  myPID.Compute();
  //Write the output as calculated by the PID function
  analogWrite(3, Output); //VFD is set to digital 3 this is a pwm pin.
  //Send data by serial for plotting
  Serial.print(Input);
  Serial.print(" ");
  Serial.println((Output / 256) * 5);
  Serial.print(" ");
  Serial.println(Setpoint);
  Serial.print(" ");
  Serial.println(rpm);
  Serial.print(" ");
  Serial.println(v);
}

```