

Vaartverliesmodel

Onderzoeksrapport

Auteur: I.W.M. D'Hont
Opdrachtgever: Wagenborg Shipping
Bedrijfsbegeleiders: Dhr. F. van den Anker

Onderwijsinstelling: HZ University of Applied Sciences
Opleiding Maritiem Officier

Eerste examiner: J.H. Luteijn
Tweede examiner: M.C. Meerburg

Datum: 29-06-2019
Revisie – Status: 2.0 Definitief





Figuur 1-1 Africaborg (Wagenborg, 2017)

Vaartverliesmodel

Onderzoeksrapport

Datum:	29-06-2019
Revisie - Status:	2.0 Definitief
Auteur:	I.W.M D'Hont
Studentnummer:	00060982
Opleiding:	HBM – Maritiem Officier – Specialisatie Stuurman
Studiejaar:	2018-2019; leerjaar 4
Semester:	8
Afstudeerperiode:	01-07-2016 – Juni 2019
Onderwijsinstelling:	HZ University of Applied Sciences, Marof Academy Edisonweg 4, 4382 NW Vlissingen
Eerste examiner:	J.H. Luteijn
Tweede examiner:	M.C. Meerburg
Afstudeerbedrijf:	Wagenborg Shipping Marktstraat 10, 9930 AA Delfzijl
Stagebegeleider:	Dhr. F van den Anker



I.W.M. D'Hont



F. van den Anker

I.W.M. D'Hont 2019

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de auteur.

Voorwoord

Voor u ligt mijn afstudeerscriptie die geschreven is als afstudeerder aan de University of Applied Sciences te Vlissingen. Met deze scriptie wil ik mijn opleiding met een positief resultaat afsluiten.

Om de laatste fase van mijn opleiding Maritiem Officier met de specialisatie stuurman volledig af te sluiten dien ik over de benodigde opleiding specifieke beroepscompetenties op een vereist niveau te beschikken. Dit wordt aangetoond door middel van deze afstudeerscriptie.

Dit onderzoek bevat een vaartverliesmodel voor de A-serie van Wagenborg shipping en een omschrijving van de verschillende stappen die genomen moeten worden om tot een vaartverliesmodel te komen. Deze opdracht is mij aangeboden door Wagenborg shipping waarbij dhr F. van den Anker als Nautical Assistant die over SPOS gaat is aangewezen als mijn stagebegeleider. Graag wil ik ook iedereen binnen het bedrijf bedanken voor de goede hulp en raad en daarbij de volgende personen in het bijzonder:

- Dhr. F. van den Anker Nautical Assistant
- Dhr. T.B. Klimp Fleet Director
- Dhr. P. Oosterhof FMD Director
- Dhr. W. Duursema Fleet development engineer
- Dhr. M. Hoving Sr. Operational Manager, ex master
- De bemanning van alle deelnemende schepen

Daarnaast wil ik ook graag mijn stagebegeleider dhr. J. Luteijn bedanken voor de begeleiding en adviezen.

Deze afstudeerstage is voor mij erg leerzaam geweest omdat ik voor het overkomen van enkele obstakels mij zelf hebt verdiept in theorie die niet onder de standaard stuurman pakket behoort. Daarnaast heb ik ook veel geleerd over het schrijven van nette HBO waardige verslagen.

Samenvatting

De rederij Wagenborg Shipping heeft in de periode van 2006 tot 2012 een serie van 21 schepen heeft laten bouwen bij Hudong Zhonghua Shipbuildin Co. Ltd, China. Daarmee is de A-serie de grootste serie van Wagenborg. Deze schepen maken gebruik van het weather en routening tool SPOS. Om dit programma optimaal te benutten en te laten presteren is het belangrijk dat het geïmplementeerde vaartverliesmodel zo nauwkeurig mogelijk is. Gezien het aantal A-series dat Wagenborg bezit kan het optimaliseren van dit model erg waardevol zijn.

In dit onderzoeksrapport wordt een studie verricht naar het vaartverlies van de A-serie tijdens oceaan passages. Daarvoor is de volgende onderzoeksvraag opgesteld.

Hoeveel vaart verliezen de onderzochte schepen als gevolg van wind en golven?

Allereest is een literatuurstudie gedaan om te onderzoeken hoe er voor deze schepen op praktische wijze een vaartverliesmodel ontwikkelend kan worden wat ook praktisch bruikbaar is voor de bemanningsleden. Tijdens het verrichten van deze literatuuronderzoek werd ook gelijktijdig een Excelmodel ontwikkeld welke het vaartverlies kan berekenen met de beschikbare data van de vloot. Dit model is digitaal bijgevoegd aan dit onderzoeksrapport.

Eén van de belangrijkste en moeilijkste onderdelen is het bepalen van de zogenoemde goedweersnelheid. Deze is van groot belang, omdat men zonder een nauwkeurige goedweersnelheid geen of een onnauwkeurig totaal vaartverlies uitrekent.

De 2^{de} stap in het onderzoek is aan de hand van winddruk en drifthoek berekeningen de windfactor van het totaal vaartverlies te berekenen om zodoende het totaal op te splitsen in een windfactor en golffactor.

Na het ontwikkelen van het Excelmodel is de vloot begonnen met de metingen. Hierbij is aan alle A-serie die in de periode daarop volgende periode van 3 a 4 maanden een oceaanreis hebben gemaakt om een Excelsheet bij te houden met metingen. Deze data is verwerkt met het ontwikkelde Excelmodel. Daarna is het resultaat van iedere meeting ingevoerd in een dataverzamelsheet wat de gemiddeldes uitgerekend voor wind en golfhoogtes. Dit gebeurt in stappen van 45 graden van de relatieve invalshoek.

Abstract

De shipping company Wagenborg Shipping has built 21 A-series vessels between 2006-2012 at the Hudong Zhonghua Shipbuilding Co. Ltd shipyard in China. This means that the A-series is the biggest Series of Wagenborg shipping. These vessels use a weather and routing tool called SPOS. To optimise the performance of SPOS it's imperative to have an accurate Speed loss profile implemented in the SPOS programme. Given the amount of A-series that Wagenborg possesses, optimising this can be very valuable.

In this research rapport a study will be conducted towards the loss of speed in wind and waves during ocean passages from the A-series. The following main question was drawn for this thesis:

How much speed do the subjected vessels lose in wind and waves?

First off all a literature study has been conducted to research the most practical way to develop a speed loss profile which is also usable for the crew members. During the literature study a Excel model has been developed in Excel to calculate the speed loss with the available data form the fleet. This model is added as a digital annex to this report.

One of the hardest components is to determine the so called perfect scenario speed. This is the reference point from which the total speed loss is calculated. Without an accurate and reliable reference point it would be an inaccurate model at best.

The second step is to determine the total speed loss due to wind. This consist out off a wind pressure and drift angle factors. With this we can split the total speed loss in a wind and wave factors.

After developing the Excel sheet the fleet of A-series vessels who were at an ocean crossing started taking the required measurements over a period of 3 to 4 months. This data is processed and the results entered in a separate excel sheet that calculated the averages for all wind speeds and wave heights in steps of 45 degrees from the apparent angle.

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	4
1.1	Royal Wageningen.....	4
1.2	Probleemanalyse.....	4
1.3	Doelstelling	5
1.4	Randvoorwaarden en afbakeningen	6
1.5	Eisen opdrachtgever	6
2	Theoretisch kader.....	7
2.1	Het schip	7
2.2	Variabelen	8
2.3	Bepaling goedweersnelheid	11
2.4	Trim en diepgangsafwijkingen.....	13
2.5	Berekenen windfactor.....	14
3	Methodiek.....	16
3.1	Onderzoeksactiviteiten	16
4	Resultaten	19
4.1	Design draft speed profile	21
4.2	Windfactor berekeningen	23
4.3	Vaartverliesmodel	25
5	Conclusie	26
6	Discussie.....	27
7	Aanbevelingen.....	28
	Bibliografie	29

Figurenlijst

Figuur 1-1 Africaborg (Wagenborg, 2017)	1
Figuur 1-1: SPOS. (Meteogroup, 2017).....	5
Figuur 2-1: Azoresborg	7
Figuur 2-2 Oceaan stromingen SPOS (Meteogroup, 2017)	9
Figuur 2-3 Borstels (Wagenborg, 2017) Figuur 2-4 Aangroei (Wagenborg, 2017).....	10
Figuur 2-5 Cavitieschroef (bijdam.nl, 2017)	10
Figuur 2-6 Model test data A-series (Hudong-Zhonghua Shipbuilding Group, 2010).....	12
Figuur 2-7 Trim Tabel A-serie (Wagenborg, 2017)	13
Figuur 2-8 Windfactor berekening	14
Figuur 3-1 Drifthoek berekening	18
Figuur 4-1 Resultaten	19
Figuur 4-2 Wind 50Kn	20
Figuur 4-3 Golven 2m	20
Figuur 4-4 Pitch tabel (Smit, 2012).....	21
Figuur 4-5 Design Draft Speed Curve	22
Figuur 4-6 Invoer data	25

1 Inleiding

1.1 Royal Wagenborg

Wagenborg is een rederij die in 1898 is opgericht door Egbert Wagenborg en nu 118 jaar later geleid wordt door de 4^{de} generatie Rob Wagenborg en Egbert Vuursteen. Op 26 april 1999 verwierf de onderneming het predicaat Koninklijk.

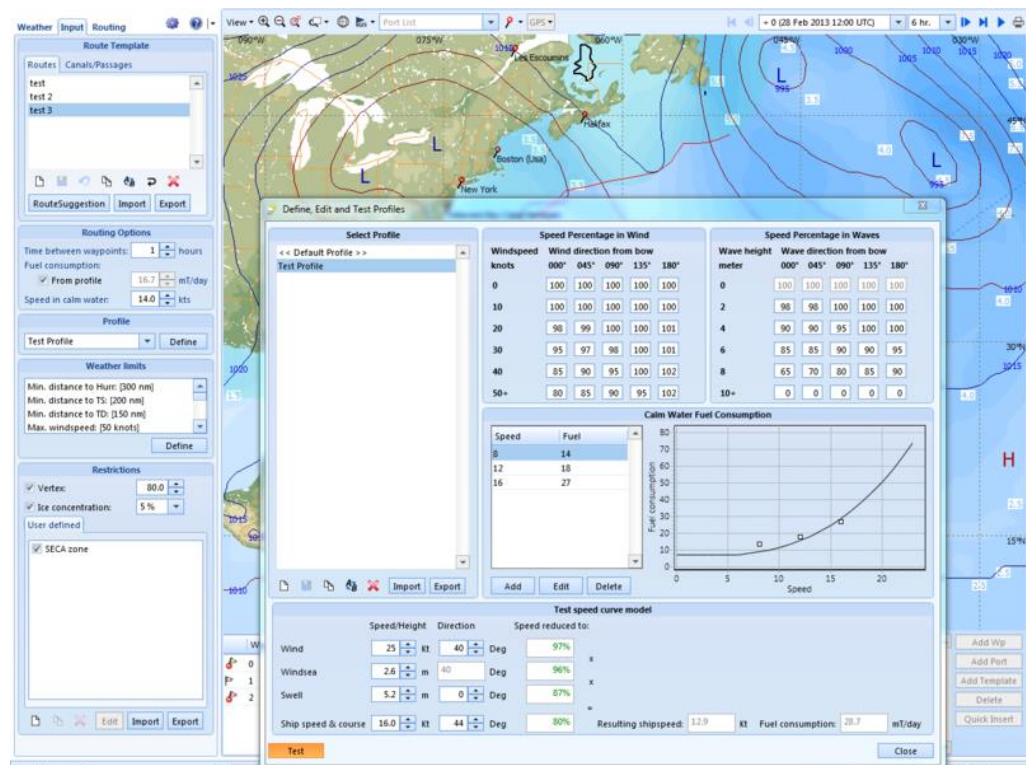
In de loop der jaren heeft het bedrijf zich uitgebreid met vele activiteiten. Momenteel heeft Wagenborg de volgende divisies;

- Wagenborg Shipping heeft ruim 170 schepen in de vaart
- Wagenborg Nedlift houdt zich bezig met kraanverhuur, speciaal transport en projecten
- Wagenborg Passagiersdiensten voert veerbootdiensten uit tussen Holwerd en Ameland en tussen Lauwersoog, Esonstad en Schiermonnikoog
- Wagenborg Wadtaxi vaart op dienstregeling en op afspraak tussen diverse bestemmingen aan de Waddenzee
- Wagenborg Stevedoring
- Wagenborg Offshore
- Wagenborg Foxdrill
- Wagenborg Towage

Het bedrijf profileert zich als een deskundige transport bedrijf in de breedste zin van het woord. Daarnaast profileren ze zich als een bedrijf wat denkt in oplossingen in plaats van problemen. Dit heeft in 2009 in combinatie met de doop van de Mv Beatrix in het bijzijn van de toenmalige hare majesteit de koningin Beatrix geleid tot de nieuwe slogan **Sign of Solutions**. (Wagenborg, 2017)

1.2 Probleemanalyse

Alle schepen van Wagenborg Shipping BV. gebruiken het optimalisatie en routeringsprogramma SPOS (Ship Performance Optimisation System). Dit is een uitgebreid programma voor weer- en routeplanning. Dit programma berekent met behulp van vaartpercentages Figuur 1-1: SPOS. op basis van weer, oceaanstroming en scheepskarakteristieken de optimale route en alternatieve routes. Helaas is de standaardinstelling van de scheepskarakteristieken een scheepsmodel dat verre van relevant is voor de schepen van Wagenborg. Het gevolg is dat SPOS met een te klein vaartverlies rekent in toenemende golfhoogtes. Uiteraard komt dit de ETA (Estimated time of arrival) berekening en planning niet ten goede. Dit kan ook voor een toenemend brandstofverbruik zorgen als men later in de reis het extra onvoorziene tijdverlies moet goedmaken of als men langzamer had kunnen varen, wanneer men te vroeg aankomt en ten anker moet.



Figuur 1-1: SPOS. (Meteogroup, 2017)

Het vaartverliesmodel moet voor de desbetreffende schepen specifiek ontwikkeld worden. Eén van de problemen die daarvoor moet worden opgelost is bepalen hoe je kunt berekenen welke snelheid een schip loopt wanneer dit met een bepaalde telegraaf/pitch stand in perfecte omstandigheden vaart. Na het maken van deze berekening kan de zogenaamde goedweersnelheid door het water worden vergeleken met de werkelijke snelheid. Hieruit volgt het totale vaartverlies. Deze dient vervolgens te worden opgesplitst in snelheidverlies door wind en golven. Door dit een groot aantal keer te herhalen tijdens verschillende golfhoogtes en invalshoeken ontstaat een vaartverliesmodel.

1.3 Doelstelling

De doelstelling is het ontwikkelen van een vaartverliesmodel voor de A-serie welke praktisch bruikbaar is voor de vloot. Dit is noodzakelijk voor een nauwkeurigere ETA berekening, waardoor de verschillende divisies op kantoor betere planningen kunnen maken. Door een nauwkeurig vaartverliesmodel te ontwikkelen door middel van een kwantitatief onderzoek kan de routeplanning worden verbeterd. Verder heeft het ook positieve effecten op de veiligheid, omdat men met een grotere nauwkeurigheid kan bepalen hoe men een depressie kan ontlopen.

1.3.1 *Onderzoeksvraag*

Hoeveel vaart verliezen de onderzochte schepen als gevolg van wind en golven?

1.3.2 *Deelvragen*

Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden, zijn deelvragen opgesteld. Deze zijn als volgt geformuleerd.

- Deelvraag 1: Welke variabelen binnen het kader van het onderzoek bestaan er en welke eventuele aannames worden gesteld?
- Deelvraag 2: Wat is de theoretische snelheid van het schip in ontwerptoestand in ideale omstandigheden?
- Deelvraag 3: Hoe groot is de invloed van de windfactor in het totale vaartverlies?

1.4 Randvoorwaarden en afbakeningen

Als randvoorwaarden zijn gesteld:

- De diepgang tussen zomermerk en ontwerpdiepgang.
- De trim tussen 0,5 meter voorover en 1 meter achterover.
- Het reisgebied tijdens metingen op de oceaan.
- Alle benodigde data voor dit onderzoek worden beschikbaar gesteld, waaronder medewerking van de geselecteerde schepen.
- Alle metingen zijn onder praktisch gelijke omstandigheden van wind, golf, koers en pitch gemeten.

1.5 Eisen opdrachtgever

Wagenborg shipping verwacht uit dit onderzoek een bruikbaar vaartverliesmodel dat geïmplementeerd kan worden in SPOS. Figuur 1-1: SPOS. Daarbij is het belangrijk dat dit model bruikbaar is voor de schepen van Wagenborg.

2 Theoretisch kader

In dit hoofdstuk staat het theoretisch kader ook wel het literatuuronderzoek genoemd. Hierin worden theorieën besproken en de benodigde en bekende kennis omtrent het onderzoek beschreven. Eerst wordt er algemene informatie van het type schip waarvoor het vaartverliesmodel wordt ontwikkeld beschreven. Er wordt dan eerst gekeken naar welke variabelen bekend zijn en invloed hebben op het onderzoek. Vervolgens wordt de ontwikkeling van het *Design draft speed profile* waarmee de goed weer snelheid van het schip kunnen bepalen uitgebreid behandeld. Als derde item worden de berekeningen voor de windfactor behandeld en als laatste de trim- en diepgangafwijkingen en correcties.

2.1 Het schip

Om een beter beeld te creëren voor welk schip dit model wordt ontwikkeld zal hieronder een aantal basisspecificaties worden vernoemd.

2.1.1 A-serie

De A-serie is een 17323DWAT multi-purpose general cargo ship waarvan Wagenvorg tussen 2006 en 2012 een serie van 21 schepen heeft laten bouwen bij Hudong Zhonghua Shipbuildin Co. Ltd, China. Het is daarmee de grootste serie van Wagenvorg. De schepen zijn uitgerust met tussendekken, hydraulische luiken en drie 60 tons Liebherr kranen. De aandrijving wordt voorzien door een Wartsila 6L46F 7500kW motor. Via een reduction gearbox, waar ook de as-generator op is aangesloten, wordt het toerental gereduceerd van 600 aan de krukas/vliegwielen naar 135 op de schroefas. Verder heeft het schip een 4-blads CPP (controllable pitch propeller) van Wartsila/Lips met een diameter van 4800mm. Het schip heeft verder een conventionele boeg met bulb en heeft een kruissnelheid van $\pm 14\text{Kn}$ en een maximale vaart van $\pm 17\text{Kn}$ in ballast (Wagenvorg, 2017).



Figuur 2-1: Azoresborg

2.2 Variabelen

In dit paragraaf worden variabelen waarvan de exacte grote onbekend of onvoorspelbaar is besproken. Er wordt er ook gekeken naar wat er kan worden gezegd over deze variabelen en welke aannames gedaan zijn. Ook wanneer er besloten wordt niks te doen met een variabele moet deze wel erkent en beschreven worden. Denk hierbij aan de randvoorwaarden.

2.2.1 *Log*

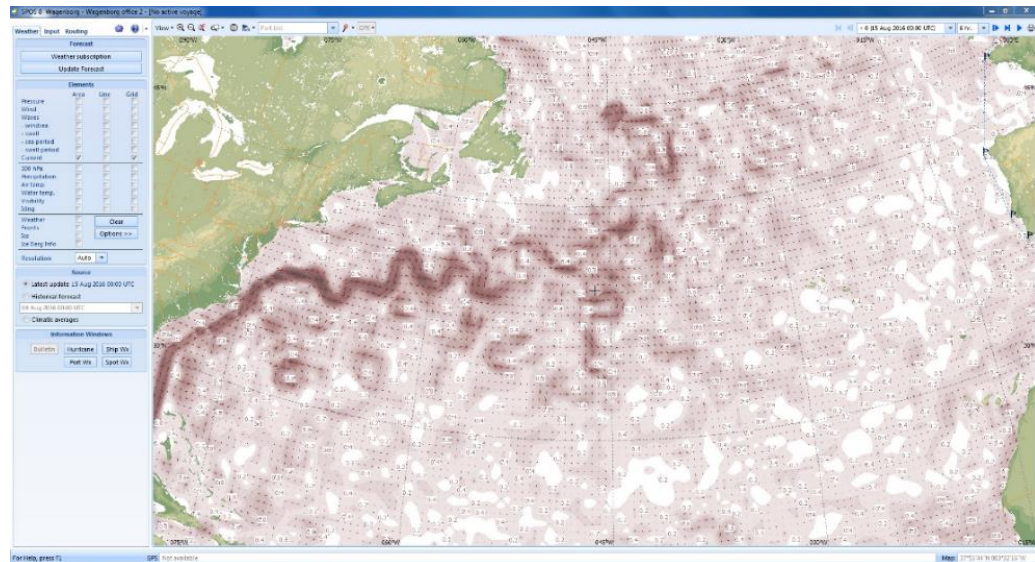
Bij het bepalen van de afgelegde afstand door het water wordt natuurlijk gebruik gemaakt van het log. Wageningen schepen worden uitgerust met een SLS 4120 Log van Sam Electronics. Dit log is onderhevig aan een aantal foutmarges en variabelen. Het Log heeft een nauwkeurigheid van 0,2kN in vlakke zee (Sam Electronic, 2017). Men zal de snelheid door het water zien fluctueren als men in golfslag komt. Dit is wel weer grotendeels te compenseren door de afgelegde afstand door het water over een langere tijd in gelijke omstandigheden te meten. Een 2^{de} issue met het gebruik van het log is dat er bij toenemende golfhoogtes lucht onder de boeg en dus onder het log kan komen. Dit wordt versterkt doordat het transducer vrij ver naar voren in het vlak zit. Indien dit gebeurt, geeft het Log een foutmelding en geen bruikbare data meer (Sam Electronic, 2017).

2.2.1.1 *Keuze tussen afstand volgens GPS en Log*

Bij het kiezen tussen GPS of Log voor de afgelegde afstand heeft het Log natuurlijk de voorkeur voor dit onderzoek, omdat je tijdens het berekenen van het vaarverlies de vaart door het water nodig hebt en niet de vaart over de grond. Bij het log zitten er geen grove fouten in de metingen door oceaan- en oppervlaktestromingen. Zoals hierboven beschreven komen er wel storingen in het log door zwaar stampend schip. Indien er geen log data beschikbaar is, wordt de keuze gemaakt om GPS data te gebruiken en deze zo goed als mogelijk te corrigeren.

2.2.1.2 *GPS afstand correctie*

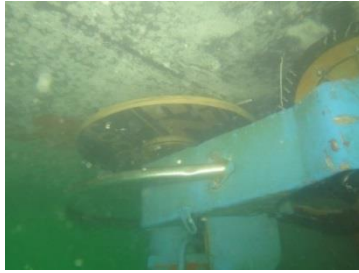
Tijdens het verwerken van de data is er geen gps data gebruikt. Dus een correctie tussen GPS en log is niet van toepassing geweest. Er bestaat er ook nog oppervlakte stromingen veroorzaakt door de wind. Hier is helaas weinig concrete data van kunnen vinden. Dit zal een onbekende variabele blijven die niet meegenomen wordt in het onderzoek. Daarnaast is het ook nog maar de vraag of oppervlaktestroming wel van invloed is als deze zelfde wind ook golven veroorzaakt. Er zou dus ook gesteld kunnen worden dat deze weerstand in de golfweerstand zit.



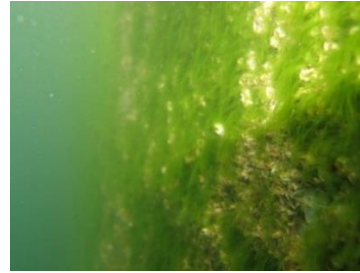
Figuur 2-2 Oceaan stromingen SPOS (Meteogroup, 2017)

2.2.2 Aangroei

Eén van de grootste remmende factoren bij schepen is aangroei. Hierbij hechten slijmlagen, pokken en andere aangroei zich aan de huid van het schip. Omdat de snelheid waarmee de aangroei zich ontwikkelt altijd anders is, is het moeilijk om hier iets over te zeggen. Dit komt door onder andere zeewatertemperaturen, vaargebied en de staat van de antifouling. Zelfs als je voor ieder specifiek schip een eigen vaartverliesmodel ontwikkelt, verandert de mate van aangroei constant. Omdat de invloed van aangroei groot is kan deze variabele niet zomaar als onbekend gelabeld worden en dat deze daardoor niet wordt meegerekend. Bij een schip met veel aangroei kan de toegenomen weerstand zomaar 30% en tot 80% in extreme gevallen bedragen (Molland, 2013). Hierom is besloten om een wel overwogen aanname te doen voor de aangroei. Hierbij is besloten om op basis van mondeling toegelichte ervaringen van kapiteins en superintendents een relatief lage toename in weerstand van 5% te hanteren (Mark Hoving, 2017). Deze lage toegenomen weerstand is te verklaren d.m.v. de volgende aspecten: de schepen hebben allen kathodische bescherming d.m.v. opgedrukte stroom en antifouling. Kathodische bescherming werkt volgens het principe van potentiaal verlaging. Daarnaast varen de schepen van Wagenborg veelvuldig van zout naar zoet water. Denk hierbij aan vaargebieden zoals het Sint Lawrence en de Baltic. Ook varen de schepen door onder andere dit vaargebied in de winter ook veel door het ijs. Dit heeft als effect dat de huid wordt schoon geschraapt door het ijs. De nadelige factor hierin is dat de antifouling ook beschadigd wordt. Als laatste worden de schepen bij extreme aangroei geborsteld. Deze 5% wordt toegepast op de weerstand van de werkelijk gelopen snelheid. Met de formule $P = F \cdot v$ wordt de weerstand berekend. Daarbij is P het geleverde motorvermogen in Watt (W), F de totale weerstand in Newton (N) en v de snelheid in m/s. Ter correctie van de weerstand om te herleiden naar de proefvaart data. Wordt de actuele F dus met 5% verlaagd.



Figuur 2-3 Borstels (Wagenborg, 2017)



Figuur 2-4 Aangroei (Wagenborg, 2017)

De Jan van Gent
(kapitein eigenaar)

Na 2.5 weken te
anker in tropische
omstandigheden

2.2.3

Staat van de schroef

Naast aangroei op de huid kan er ook aangroei op de schroef zijn die de efficiëntie en prestaties beïnvloeden. Bij een schroef kan ook nog cavitatie ontstaan. Dit houdt in dat er door onderdruk aan de voorzijde van de schroef kleine luchtbelletjes imploderen. Dit kan een schroef ernstig beschadigen en zodoende het rendement van de schroef beïnvloeden. Voor de staat van de schroef geldt hetzelfde als bij aangroei. De ervaring van Wagenborg is dat de schepen bijzonder weinig last hebben van cavitatie. (Mark Hoving, 2017) Dit komt mede door een goed ontwikkelde CPP en omdat er in de praktijk zelden tot nooit met 100% pitch wordt gevaren. Omdat het daarnaast onmogelijk is voor mijn onderzoek om van alle schepen een actuele rendementfactor van de schroef te berekenen wordt dit verder niet meegenomen in het onderzoek.



Figuur 2-5 Cavitatie schroef (bijdam.nl, 2017)

2.2.4

Windstoten

Bij het bepalen van het verlies van snelheid dient men rekening te houden met 2 hoofdfactoren. Verlies door golfslag en verlies door winddruk. Hierbij is golfslag veruit de grootste factor. Men mag wind zeker niet uitsluiten. Bij wind gelden ook nog de windstoten. Een windstoot is een kortstondige wind van minder dan 20seconden die minimaal 9 knopen harder “waait” dan de reguliere windkracht op dat moment. (observing, 2019) Windstoten zijn onregelmatig en daarnaast ook van erg korte duur. Er is daarom besloten om windstoten niet mee te nemen in het verdere onderzoek.

2.2.5

Accuratesse waarneming bemanning

Uiteraard is het moeilijk om vanaf een bijvoorbeeld 20 meter hoge brug te zien of een golf nu 5 of 6 meter hoog is. Daarnaast geef je bij windmetingen natuurlijk voorkeur aan een windmeter i.p.v. de beoordeling van de stuurman van de wacht. Tijdens de eerste data feedback is gekeken worden of er grote verschillen zijn tussen waarneming bemanning, gemeten waarnemingen en weersvoorspellingen. Als er grote verschillen is gekeken naar mogelijke oorzaken.

2.2.6 *Verschillen tussen 2 zusterschepen*

Wanneer met de Arubaborg een geladen speed profile is ontwikkeld wordt dit gebruikt voor alle A-serie schepen met dezelfde motor. Men moet zich wel realiseren dat geen enkel schip, motor of schroef hetzelfde is, ondanks dat ze volgens dezelfde specificaties zijn gebouwd. Zo wordt bijvoorbeeld ook de verstelbare schroef tijdens proefvaart geheel op het specifieke schip afgesteld. Deze verschillen zijn onbelangrijk omdat het uiteindelijk percentage van vaarverlies voor elk schip met dezelfde romp geldt.

2.3 **Bepaling goedweersnelheid**

Zoals vermeld in hoofdstuk 1.2 is één van de grootste obstakels het bepalen van de goedweersnelheid. De voornaamste reden daarvoor is het feit dat er van schepen geen geladen/design draft speed profile bekend is. De proefvaart bij aflevering is namelijk in ballast conditie. Daarnaast kan een verschil in trim ook een groot verschil geven in snelheid en verbruik.

2.3.1 *Design draft speed profile*

Het design draft speed profile geeft aan welke snelheid een schip in ideale situaties aanneemt. Het is economisch en contractueel gezien niet mogelijk de schepen in geladen/ontwerp toestand een proefvaart te laten uitvoeren waarbij in kleine stappen de pitch stand wordt opgevoerd om zodoende speed profile te ontwikkelen.

2.3.1.1 *Goedweer snelheid referentie*

Een groot deel van de eerste weken bij Wagenborg zijn besteed aan het onderzoeken hoe er door middel van een design draft speed profile de goedweersnelheid kunnen bepalen. Het probleem waar de snelheid aan kon worden gerefereerd. In de sea trials en door iedereen binnen het bedrijf werd altijd snelheid gerefereerd aan het vermogen. Gezien de formule: $P=F*v$ is dit logisch. De motor dient namelijk een bepaald vermogen op te wekken om de weerstand op te heffen. Zo zijn de eerste weken dan ook gebruikt om meer kennis te vergaren over de berekeningen omtrent motorrendementen en vermogens. (Kuiken, Diesel Motoren deel 1, 2007) (Kuiken, Diesel Motoren deel 2, 2007) (Wagenborg Shipping, Jan-Willem Ploeg - Superintendent, 2017) Dit bleek een dood spoor omdat het bijzonder lastig is om in praktijk tijdens de wacht wanneer de log en weer data geregistreerd werden een accurate vermogensmeting te nemen. Dit had verschillende redenen. Zo is er geen torque meter geïnstalleerd op de Wagenborg schepen met uitzondering van de Arubaborg waar een torque meter van Wartsila op zit. Hiervan is helaas geen read-out op de brug. Daarnaast varen de schepen ook met een fixed RPM. Dit houdt in dat het toerental altijd constant is. De motor (A-serie) draait hierbij 600RPM en de schroefas 135RPM. Hierbij maakt voor het toerental niet uit of men stil licht in de haven of op volle kracht vaart. De vaart wordt geregeld door de spoed van de schroef te wijzigen (d.m.v. een CPP). Hierbij past de load zich aan om de gevraagde pitch bij een vast toerental te behouden. Gezien het feit dat de weerstand die het schip ondervindt alleen praktisch constant is in een perfecte omstandigheid van geen golven en 0m/s wind, kan de load dus sterk fluctueren tijdens zeegang. Het is dan ook niet realistisch om de stuurman te vragen aan het einde van elke wacht de machinekamer ('s nachts varen de schepen met onbemande machinekamer) om de gemiddelde load tendens op te gaan nemen van de tijden waarover gemeten is. Zodoende is het dus voor dit

onderzoek praktisch niet mogelijk de goedweersnelheid te refereren aan het vermogen.

Er is gezocht naar een ander referentie. Hiervoor is pitch gekozen. In werkelijke omstandigheden is het niet 100% correct om snelheid te refereren aan pitch. Dit komt omdat de slip van de schroef in praktijk niet constant is door wind golven etc. Omdat het snelheidsverlies aan de hand van een goedweersnelheid berekend wordt wil men dus weten welke snelheid het schip zou aannemen met een bepaalde pitchstand in perfecte omstandigheden. Dit betekent dat voor dit design draft speed profile de slip van de schroef constant genomen wordt. Omdat pitch makkelijk af te lezen is op de brug geeft dit in de praktijk ook de meest werkbare metingen.

2.3.1.2 *Ontwikkeling Speed/Pitch profile*

Uiteindelijk is de keuze gemaakt om snelheid aan pitch te refereren. Nadat geconstateerd is dat het benaderen van een geladen/design speed profile door het volgen van de schepen in goedweer condities te onnauwkeurig was, is besloten de scheepsnelheid bij een bepaalde pitch stand te berekenen aan de hand van de model testen die uitgevoerd zijn door *Shanghai ship and shipping research institute*. Hierbij wordt op basis van advies door *Conoship* gesteld dat de afgegeven thrust lineair is aan de telegraafstand. Men moet om de verhouding te bepalen eerst weten in welk punt de pitch op 100% ingesteld is. Dit is het MCR (maximum continuous rate) punt. Uit de proefvaart gegevens is bekend dat met aftrek van 230 kW voor de asgenerator het afgegeven vermogen aan de schroefas 6386kW is. Er kan nu m.b.v. de Pd kolom in Ts geïnterpoleerd worden hoeveel thrust het 100% punt is. Voor de A-serie komt dit uit op 647.48 kN. Daarna wordt doormiddel van interpolatie de verschillende snelheden berekend. Zie *figuur 2-6*. (Meer, 2017)

Vs	Ns	Ns	Pe	Pd	Ts	Qs	Kt/J**2
Kn	rps	rpm	KW	KW	KN	KN*m	-
14.00	1.871	112.24	2272.9	3296.1	399.32	280.42	.700
14.50	1.933	115.96	2532.7	3607.7	420.24	297.11	.675
15.00	2.018	121.10	2877.3	4231.5	474.06	333.67	.736
15.50	2.135	128.08	3401.4	5181.1	553.72	386.29	.826
16.00	2.277	136.63	4144.1	6456.5	652.72	451.25	.910
16.50	2.433	145.96	5046.6	8024.4	765.27	525.00	.985
17.00	2.587	155.20	6019.0	9791.3	885.61	602.43	1.055
17.50	2.733	164.01	6999.2	11695.7	1007.71	680.98	1.120

Figuur 2-6 Model test data A-series (Hudong-Zhonghua Shipbuilding Group, 2010)

Nu is berekend welke snelheid er bij een bepaalde telegraafstand hoort, maar het is de verhouding tussen pitch en snelheid die belangrijk is. De telegraafstand hoeft niet 100% overeen te komen met de pitch stand, daarom is bij verschillende schepen de pitch curve van de proefvaart opgevraagd. Deze geeft de relatie tussen telegraafstand en pitchstand weer. Daarmee is de pitch versus snelheid kromme bekend.

2.4 Trim en diepgangsafwijkingen

Zoals bekend is hebben trim en diepgang grote invloed op de weerstand van een schip. Met als gevolg dat bij veranderde diepgang of trim het verbruik of snelheid kan verschillen. Dit betekent dat het theoretisch onjuist is om een vaartverliesmodel te ontwikkelen dat geldig is van ontwerpdiepgang (7.6m) tot wintermerk (9.69m) en trim van 1m achterover tot 0.5m voorover. Je rekent dus naar een model dat een gemiddelde is van alle data binnen dit kader. Je weet alleen niet waar dit gemiddelde ligt. Daarom is alle data doormiddel van de trimtabel om te rekenen naar één standaard. Deze zal het ontwerppunt zijn van 7.6m gelijkgastig. Mede omdat het goedweersnelheidsmodel dus ook voor de ontwerpdiepgang wordt ontwikkeld.

Wagenborg heeft met gecompliceerde CFD(computer Fluid Dynamics) modellen een trimtabel omtrent brandstof toenames laten ontwikkelen. Dit is verreweg de meest accurate data omtrent toename in verbruik en weerstand van A-serie die beschikbaar en bekend is.

Voor het corrigeren van de diepgangen en trim wordt het percentage toegenomen brandstofverbruik tot de 3^{de} macht omgerekend naar de toegenomen weerstand tot de 2^{de} macht. Omdat uit de trimtabel het toegenomen brandstofverbruik in tonnen per dag gehaald wordt, dient dit eerst omgerekend te worden naar percentages en deze vervolgens tot de 2/3 macht verheffen. Met de toegenomen weerstand wordt de gecorrigeerde goed weer snelheid berekend volgens $P=F*v$. Hiervoor wordt bij P het load percentage * MCR genomen.

[illegible]

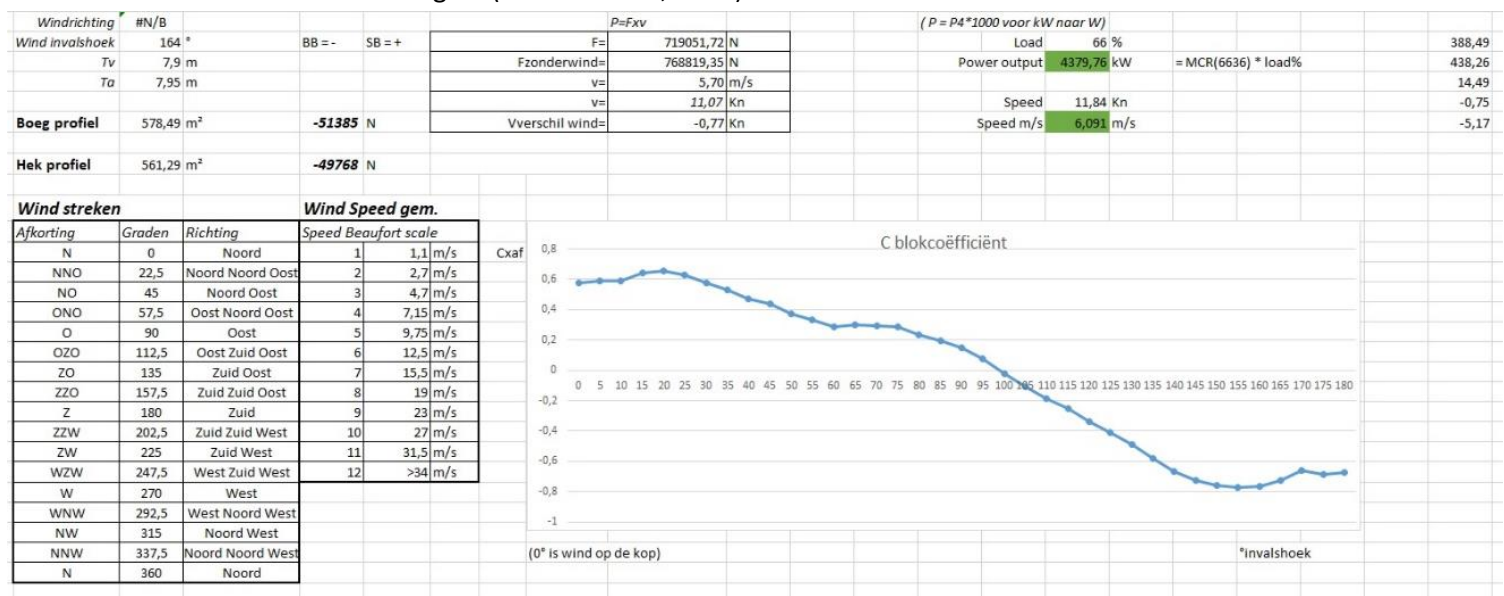
Figuur 2-7 Trim Tabel A-serie (Wagenborg, 2017)

2.5 Berekenen windfactor

Bij het bepalen van het verlies is het belangrijk onderscheid te maken tussen vaartverlies door golfslag en vaartverlies door wind. Bij het berekenen van de wind factor delen deze op in 2 categorieën. De zogenoemde boven en onderwaterfactor. De bovenwater factor is de winddruk. Dit is de snelheid die het schip verliest door de wind die tegen het bovenwater opp. van het schip waait. De onderwaterfactor is de drifthoek en permanent helm die ontstaat ten gevolg van de wind.

2.5.1 Winddruk

Om de winddruk factor te berekenen wordt er begonnen om met behulp van tekeningen en diepgangen het windoppervlakte te bepalen. Daarna kan met behulp van de windsnelheid in m/s de winddruk op het schip bepaald worden. Hierbij dient uiteraard reken gehouden te worden met de hoek waar onder de wind het schip raakt. Dit resulteerde in de volgende formule: $F=0,5 \cdot c \cdot A \cdot p \cdot v^2$. Hierbij is c de weerstand coëfficiënt die afhankelijk is van de invalshoek, A het oppervlakte, p de luchtdichtheid en v de relatieve windsnelheid. De reden dat er gekozen is voor een invalshoek afhankelijke blokcoëfficiënt t.o.v. de gehele formule vermenigvuldigen met de $\cos(\text{invalshoek})$ is dat je met de laatste methode recht van voren de meeste weerstand en bij 90° niks. Windtunnel testen met scheepsmodellen wijzen uit dat in de meeste gevallen de grootste weerstand optreed bij wind $\pm 20^\circ$ van de kop. (Dallinga, 2017) Daarom is besloten om niet met een $\cos(\text{invalshoek})$ te werken maar om basis van deze model testen de c waarde te wijzigen als functie van de invalshoek (zie Excel Rekenmodel). De 2^{de} stap is berekenen hoeveel vaartverlies de winddruk oplevert. Dit is gedaan met de formule $P=F \cdot v$. Er is nu berekend worden welke snelheid het schip zou hebben gelopen zonder wind. De blok coëfficiënt is overgenomen uit het windloading onderzoek van de universiteit in hamburg 1996. Dit is het meest representatieve onderzoek over de luchtweerstand van schepen. Het betreft ook een multipurpose ship met 3 scheepskranen, accommodatie achterop en vergelijkbare afmetingen. (Blendermann, 1996)



Figuur 2-8 Windfactor berekening

2.5.2 *Vaartverlies drifthoek.*

De 2^{de} windfactor die wordt berekend is de toegenomen weerstand door de drifthoek en permanenthelm. De permanenthelm is een kracht x arm berekening. Hierbij wordt de winddruk vermenigvuldigd met de arm tussen het zeilpunt en het langsscheeps zwaartepunt. Hieruit volgt het verdraaiend koppel wat ontstaat ten gevolge van de wind. Dit koppel dient te worden opgeheven door het roer. Om de benodigde kracht van het roer uit te rekenen deel je het verdraaiend koppel door de arm van het roerkoppel. De arm van het roerkoppel is de afstand van de roerkoning (vaak de achter loodlijn) tot het draaipunt van een schip. Voor dit draaipunt geldt de algemeen geaccepteerde vuistregel dat dit bij een vaartlopend schip op 1/3^{de} afstand van de voorloodlijn ligt. In het geval van de A-serie is deze afstand 88m.

De drifthoek wordt berekend met de formule $dr = c \cdot (W/v) \cdot (AB/AO) \cdot \sin(\alpha)$. Hierbij is c een scheepsconstante, W de windsnelheid in Kn, V de scheepssnelheid in Kn, AB lateraal opp. bovenwater, AO lateraal opp. onderwater en α = de invalshoek van de wind t.o.v. de heading.

Met de drifthoek kan de toegenomen weerstand van de romp door de drifthoek berekend worden. Hiervoor wordt formule toegenomen weerstand = $0,5 \cdot \rho \cdot c \cdot (A \cdot \sin(\phi)) \cdot v^2$ gebruikt. Hierbij is ρ de dichtheid van het water, c een scheepsfactor, A lateraal opp. onderwater, ϕ de drifthoek en v de snelheid van het schip in m/s.

In deze formule is de scheepsfactor niet constant en afhankelijk van de geleverde stuwkracht(RT), diepgang(T) en vaart(v). De formule van c luidt als volgt: $c = RT / (0,5 \cdot \rho \cdot B \cdot T \cdot v^2)$. In het rekenmodel is RT gekoppeld een tabel waarin op basis van pitch% de juiste RT wordt bepaald.

2.5.3 *Fouten in de berekeningen windfactor*

Wanneer je de frontaal oppervlakte van een schip bepaalt zijn dit natuurlijk vele verschillende oppervlaktes die bij elkaar worden opgeteld. De wind kan zich ook om een object heen buigen. Zo zal bij een wind recht van voren ook de 2 en 3^{de} kraan enige winddruk ervaren en zal de onderkant van de accommodatie die van voren afgezien achter het boegschot zit ook wind druk ervaren. Daarnaast vinden er ook nog allerlei wervelingen om schotten, kranen en de accommodatie plaats. Ook deze wervelingen geven een weerstand. Daarnaast is te zien dat er een loadpercentage wordt gebruikt om het vermogen te bepalen voor de 2^{de} stap in het berekenen van de windfactor. Het is nagenoeg onmogelijk om hier een zeer accurate waarde voor te krijgen. Dit komt omdat de load sterk fluctueert bij slecht weer. Er wordt namelijk om bijv. pitch 70% gevraagd en de motor heeft een vast nominaal toerental van 600RPM. Dit houdt in dat wanneer een schip een sterk wisselende weerstand ondervindt door golfslag en een variërende hydrostatische druk op de propeller door golfslag en stampend schip er continue een verschillend vermogen nodig is om 70% pitch en 600RPM vast te houden.

Zoals zichtbaar in de formule $F = c \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$ wordt de luchtdichtheid meegenomen in de berekening. Deze is nooit hetzelfde en wordt niet actief gemeten aan boord. Daarvoor is de gemiddelde waarde van 1.23 kg/m³ bij 15°C op zeeniveau genomen (metoffice, 2017). Dit wordt in de industrie als de standaardwaarde gezien. Ter vergelijking de luchtdichtheid van droge lucht bij 0° is 1.293 kg/m³ (metoffice, 2017).

3 Methodiek

In dit hoofdstuk wordt de onderzoeksstrategie van de hoofdvraag en de deelvragen besproken en uitgelicht.

Hoofdvraag:

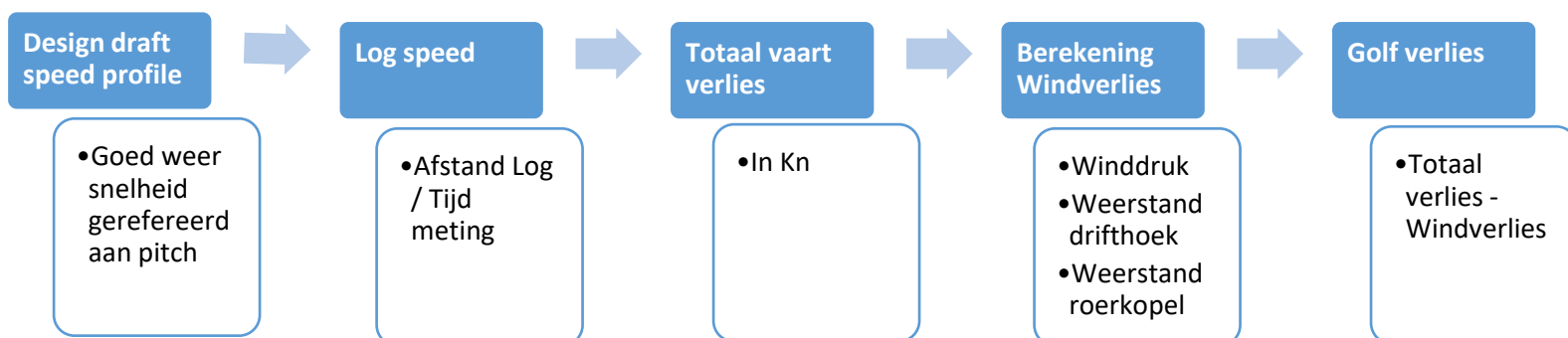
Hoeveel vaart verliezen de onderzochte schepen als gevolg van wind en golven?

Om een goed model te ontwikkelen gaan er meerdere schepen over een periode van naar schatting 2 maanden gevolgd worden tijdens oceaanreizen. Tijdens deze reizen houdt de bemanning afhankelijk van de weersomstandigheden 1 tot 4x per wacht een aantal gegevens zoals pitch, log, gps en weersomstandigheden bij. Met deze gegevens is door het ontwikkelde Excelmodel (het resultaat van de tussenproducten) berekend hoeveel snelheid de schepen verliezen. Deze uitkomst wordt dan op basis van invalshoek en golfhoogte verwerkt in het model. Er is hier dus sprake van een kwantitatief onderzoek. Het beantwoorden van de deelvragen is dat niet perse. Dit omvat namelijk het ontwikkelen van het rekenmodel wat ook als een kwalitatief onderzoek beschouwd kan worden.

3.1 Onderzoeksactiviteiten

In dit hoofdstuk wordt de onderzoeksstrategie omschreven. Er wordt dus beschreven hoe er onderzoek is gedaan. Per deelvraag worden de onderzoeksactiviteiten omschreven. De uitkomst van deze onderzoeksactiviteiten zijn tussenproducten. Deze tussenproducten vormen gezamenlijk het eindproduct. Tussenproducten 2 en 3 zitten samen in één Excelmodel dat het vaartverlies van de schepen op basis van de ingevoerde data berekend. Dit houdt in dat dit specifieke waardes zijn die bij elke meting weer anders zijn. Tussenproduct 1 is een tekstueel onderdeel van het theoretisch kader.

Zie hieronder een conceptueel model van de verschillende stappen:



1. Welke variabelen binnen het kader van het onderzoek bestaan er, en welke aannames worden gesteld?

Het is belangrijk dat er onderzoek wordt gedaan is naar welke variabelen er allemaal aanwezig zijn. Daarbij is wel rekening gehouden met welke variabelen praktisch bepaalbaar zijn. Omdat veel van de bekende variabelen onder het theoretisch kader van WO scheepsbouwtechniek vallen, zijn er tijdens mijn eerste 2 maanden gesprekken geweest met Conoship in Groningen, Marin in Wageningen en uiteraard ook met de nieuwbouw afdeling van Wagenvorg.

Verder zijn er voor sommige waardes zoals over de aangroei aannames gemaakt over de grote van deze factor. Deze aannames zijn weloverwogen gemaakt op basis van data, ervaring ((ex)kapiteins) of eigen inzicht.

2. Wat is de theoretische snelheid van het schip in geladen toestand in ideale omstandigheden zijn?

Voor het bepalen van de goedweersnelheid is een design draft speed curve nodig. De reden hiervoor is dat een goedweersnelheid kan worden bepaald aan de hand van de betreffende hoogte van de golven, de afgelegde afstand en de hoeveelheid pitch. Je kunt dan stellen dan het schip bijv. 36% vaartverlies heeft geleden. Hierbij is het belangrijk dat eerste bepaald wordt waaraan de speed curve gerefereerd wordt. Dit kan vermogen zijn, of pitch.

Dit design draft speed profile ontwikkelen is zoals eerder besproken erg lastig omdat het economisch en contractueel niet haalbaar is om met een geladen schip een rustig vaarwater op te zoeken en hier vervolgens uitvoerige speed trials te doen.

Zoals eerder vernoemd in hoofdstuk 2.3 wordt dit probleem opgelost d.m.v. de modeltesten waarmee de snelheid bij verschillende pitch standen wordt berekend.

Wagenvorg heeft in samenwerking met Lloyds Register een trimtabel ontwikkeld voor de A-serie die het brandstofverschil weergeeft op basis van trim, diepgangen en snelheden t.o.v. de ontwerp diepgang en gelijklastig. In deze tabel te zien in *Figuur 2-7 Trim Tabel A-serie pagina 14* die horizontaal gelezen dient te worden is het meest gunstige brandstofverbruik voor een bepaald diepgang. Daarna kun je horizontaal aflezen wat de brandstof toename in tonnen per dag is voor verschillende trim situaties.

Deze trimtabel heb ik gebruikt om alle verschillende situaties waarin gemeten wordt herleiden naar 1 standaard, welke ontwerpdiepgang 7.6m gelijklastig is. Hierbij wordt het aantal tonnen per dag teruggerekend naar een percentage. Dit percentage wordt verheven tot de $2/3$ macht. De reden hiervoor is dat het brandstof verbruik met een 3^{de} macht stijgt en de weerstand met de 2^{de} macht. Op deze manier wordt m.b.v. de trimtabel de toe/afgenomen weerstand uit door trim en diepgang veranderingen. Met deze data wordt de goedweersnelheid gecorrigeerd.

3. Hoe groot is de invloed van de windfactor in het totale vaartverlies?

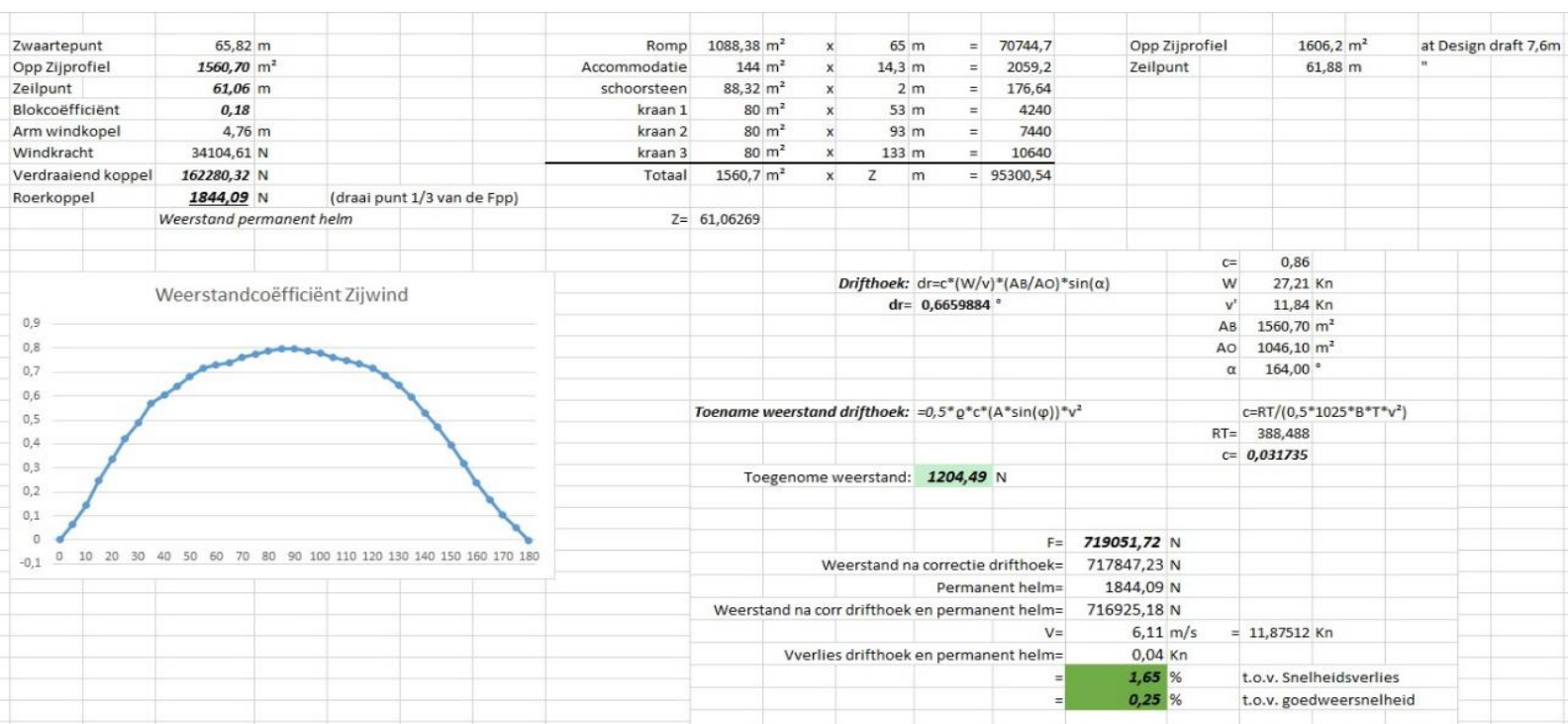
Deze deelvraag wordt opgesplitst in 2 factoren. Als eerste wordt de winddruk berekend. De 2^{de} factor is de toegenomen weerstand door de drifthoek en het opsturen tegen de wind. Dit kun je dus zien als een toegenomen weerstand door het water als gevolg van de wind. Zodoende valt deze in dit onderzoek onder de windfactor.

3.1 Winddruk:

Hierbij wordt via de windmeter aan boord of via waarneming van de bemanning de relatieve windsnelheid en invalshoek gebruikt om de kracht die de wind uitoefent op het schip te berekenen. Hiervoor is ook het windoppervlakte, luchtdichtheid (standaard industrie waarde) en een benadering van de blokcoëfficiënt van het bovenwaterschip nodig. Deze benadering is van het onderzoek “*wind loading of ships*” door *Institut für schiffbau der universität Hamburg*. (Blendermann, 1996) Tijdens dit onderzoek zijn uitvoerige modeltesten gedaan in een windtunnel met 18 verschillende type schepen. Het freighter model in dit onderzoek komt sterk overeen met de A-serie van Wagenvorm. Het geteste schip was 141.1m lang, 18.5m breed, 7.32m diepgang en heeft 3 kranen. Ter vergelijking de A-serie is 143m lang, 21.5m breed en 7.6m ontwerpdiepgang met 3 kranen. (Blendermann, 1996)

3.2 Drifthoek weerstand:

Hiervoor geldt hetzelfde als de winddruk. De windmeter aan boord of de waarneming van de bemanning worden gebruikt voor volgens de benaderingsformules die worden uitgelegd in het theoretisch kader de toegenomen weerstand te berekenen. De dwarsscheepse blokcoëfficiënt benadering voor dit onderdeel komt uit hetzelfde onderzoek als de langsscheepse blokcoëfficiënt van de winddruk. (Blendermann, 1996)



Figuur 3-1 Drifthoek berekening

4 Resultaten

In dit hoofdstuk zijn alle resultaten van dit onderzoek beschreven. De resultaten zijn beknopt in figuur 4-1 te vinden. De onderstaande getallen uit figuur 4-1 zijn het gemiddelde van alle verwerkte data. In het Data verzamelsheet zijn per tabblad de verschillende resultaten te vinden van alle metingen per golfhoogte en windsnelheid. Daarnaast is per kolom de verschillende intervallen in schijnbare hoek. Deze zijn zoals eerder genoemd 45°, in overeenkomst met de intervallen in het SPOS programma.

Vaartverlies Model

Wind	0°	45°	90°	135°	180°
10Kn	98,7	98,9	99,6	100,1	100,3
20Kn	95,9	97,1	98,9	100,9	102,3
30Kn	90,2	92,3	97,2	101,8	106,4
40Kn	83,2	86,8	97,6	104,9	107,4
50+Kn	79,9	84,4	91,8	104,3	

Golf	0°	45°	90°	135°	180°
2m	82,6	80,7	81,6	80,8	80,3
4m	70,9	70,5	71,9	72,8	72,0
6m	53,5	53,0	62,4	61,3	68,5
8m					
10m					

Figuur 4-1 Resultaten

In de tabel uit figuur 4-1 is te zien dat er voor 1 sector bij wind en alle sectoren van golfhoogtes van 8 en 10 meter geen data is. Dit is simpelweg het gevolg van het ontbreken van data voor deze omstandigheden. SPOS zal bij deze weersomstandigheden dan ook niet meer gebruikt worden voor ETA berekeningen. Als men in beschouwing neemt dat officieren en de kapitein dergelijke omstandigheden altijd zullen proberen te vermijden is dit natuurlijk goed te verklaren dat er van deze omstandigheden minder data is. Daarnaast was ook vooraf met opdrachtgever besproken dat de focus lag op de gematigde omstandigheden. Als men toch in golven van 8 a 10 meter komt is men ook niet meer bezig met de ETA maar behoud van schip en lading. De prioriteit ligt dan niet meer op, op tijd aankomen maar veilig en met onbeschadigde lading aankomen.

Wagenvorg beschouwd daarom de snelheidsverliezen bij dergelijk zware omstandigheden van ondergeschikt belang. Daarnaast is het belangrijk om te beseffen dat de gegevens die weergegeven worden niet altijd even accuraat zijn als ze lijken. Op basis van de bovenstaande afbeelding zou men kunnen aannemen dat het schip bij 50Kn wind uit de richting 90 een snelheidsverlies heeft van 8.2%

Echter blijkt uit de onderstaande afbeelding dat de gemiddeldes slechts op 1 of enkele metingen gebaseerd zijn en geen goed gemiddelde vertegenwoordigen. Ook hierbij geldt dat de bemanning altijd situaties zoals 50Kn dwars uit zal vermijden. De belangrijke datapunten zoals golfslag van 4meter of windsnelheden van 20Kn zijn wel goed vertegenwoordigd en zijn dus ook goede gemiddeldes.

[illegible]

Hieronder is te zien dat voor golven van 2m een goed gemiddelde is ontstaan van alle metingen. Daarnaast zijn ook alle metingen met een kleur gemarkeerd. Hiermee ontstaat een nog beter beeld van wat het gemiddelde resultaat vertegenwoordigd. Omdat de SPOS tabel per 2 meter gaat moesten deze intervallen aangehouden worden. Het vaartverlies tussen 1 en 3 meter of 3 en 5 meter sterk zal echter sterk verschillen en zeker van tevoren is niet vast te stellen of je een evenredige hoeveelheid data van alle golfhoogtes zal krijgen. Daarom dit onderscheid, zodat het voor de bemanning goed vast te stellen is of het afgelezen percentage een goed gemiddelde vertegenwoordigd.

[illegible]

 = 2m
 = 1-2m
 = 2-3m

Pagina 20 van 29

4.1 Design draft speed profile

Nadat er tijdens het vooronderzoek is gekozen om de snelheid te refereren aan pitch is er in overleg met Conoship gewerkt aan een betrouwbare methodiek. Aangezien snelheid niet lineair toeneemt met de pitch en de data van de proefvaart in ballast condities zijn, is er gekozen om doormiddel van de sleeptankproeven en de geleverde stuwdruk bij verschillende snelheden het pitchpercentage te berekenen.

Dit gaat als volgt:

Eerst dient men te weten bij welke motor setting de pitch 100% is. Normaliter is dit 100% MCR, zo ook bij de A-serie. Uit de proefvaartdata en het MAK rapport van de hoofdmotor kan het vermogen bij 100% MCR worden gehaald. Voor de A-series kwam dit uit op 6386kW op de schroefas na de as-generator. Let wel, dit verschilt per schip. Met dit vermogen kan men in de Pd kolom de bij behoorde snelheid en Ts (stuwdruk schroef) berekenen d.m.v. interpolatie. Omdat de stuwdruk wel lineair toeneemt in relatie tot de telegraaf kan men nu door middel van interpolatie voor ieder stand van de telegraaf de snelheid berekenen. Als laatste stap dient men deze telegraaf % om te zetten naar pitch %. Dit gebeurt door de pitch curve die tijdens de proefvaart wordt opgesteld bij het afstellen van de CPP.

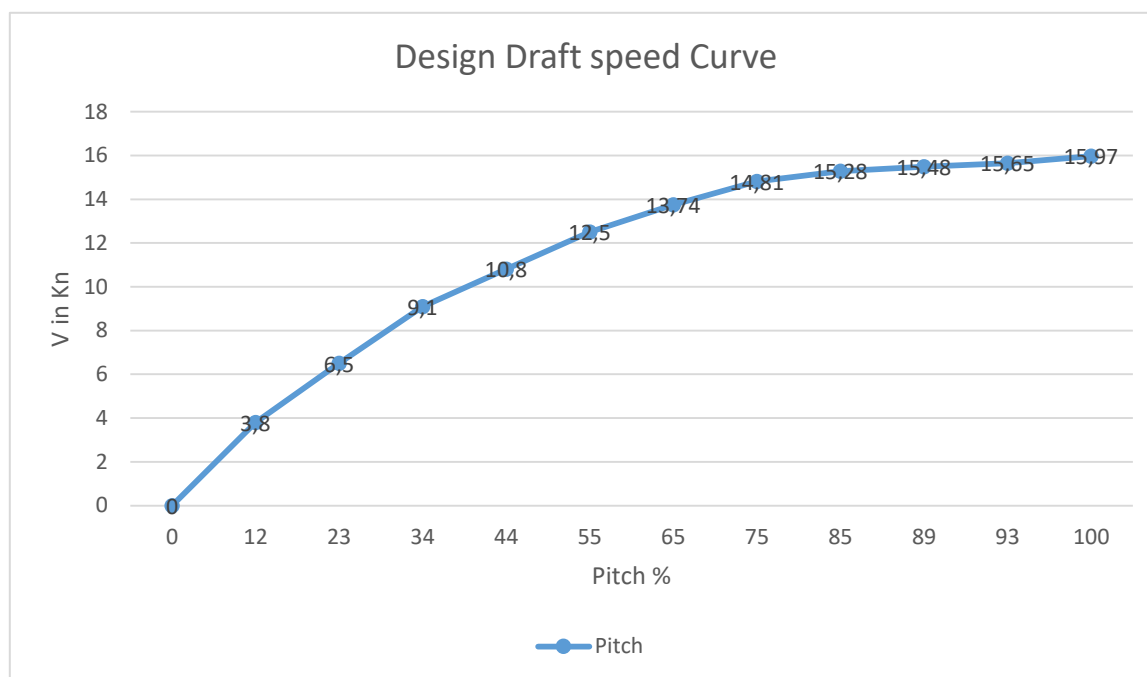
Daarnaast is het belangrijk om het verschil in pitch% tussen de indicator en de werkelijke stand te weten. Het blijkt dus dat de uitlezing op de brug niet gelijk is aan de OD-box (oil distribution box).

Hieruit volgt de volgende tabel:

Lever%	Thrust kN	V in Kn	Pitch% readout	Pitch% OD-box
100%	647.48kN	15.97Kn	100	100
90%	582.73kN	15.65Kn	93	90.6
85%	556.83kN	15.48Kn	89	85.4
80%	517.98kN	15.04Kn	84	81.3
70%	453.24kN	14.27Kn	75	71.2
60%	388.49kN	13.12Kn	65	61.2
50%	323.74kN	11.65Kn	55	51
40%	258.99kN	10.12Kn	44	40.4
30%	194.24kN	7.98Kn	34	31.3
20%	129.50kN	5.43Kn	23	20.5
10%	64.75kN	2.72Kn	12	9.9

Figuur 4-4 Pitch tabel (Smit, 2012)

In deze tabel staat het Design draft speed profile en is verder tot enkele percentages uitgewerkt in het daarop volgende tabblad Thrust-Pitch tabel. Hiermee kan het rekenmodel met de ingevoerde data direct de bijbehorende stuwdruk vinden.

*Figuur 4-5 Design Draft Speed Curve*

4.2 Windfactor berekeningen

Wanneer het totale vaartverlies bekend is d.m.v. het design draft speed profile dient dit te worden opgesplitst in een windfactor en de golffactor. Hiervoor bereken ik 1 van de 2 factoren. Het is makkelijker om de windfactor te berekenen.

4.2.1 *Winddruk:*

Te beginnen met de winddruk. Hierbij gebruiken we de formule $F = 0,5 * c * A * p * v^2$. Daarbij is c de blokcoëfficiënt, A het opp, p de luchtdruk in kg/m^3 en v de schijnbare windsnelheid in het kwadraat. Voor de blokcoëfficiënt is een windtunnel model van een vergelijkbaar generalpurpose schip gebruikt. Dit schip heeft vergelijkbare dimensies, 3 scheepskranen en de accommodatie achterop. Aangezien dit soort test en modellen zeer weinig voorkomen is dit beter dan elke schatting of benaderende berekening.

Het oppervlakte wordt in het Boeg-hek profiel berekend doormiddel van een zo goed als mogelijk benaderd windoppervlakte van het schip. Hierbij wordt rekening gehouden met de constante waarden zoals de scheepskranen, accommodatie en bulkschot. Daarnaast wordt met diepgang trim en vrij boord het opp. van de romp berekend. Dit is tot stand gekomen met de bouwtekening van de A-serie door oppervlaktes en afstanden tot de roerkoning op te meten.

Hierna volgt het verwerken van de berekende winddruk. Daarbij wordt eerst de vermogens output omgezet van kW naar W en gedeeld door de snelheid van het schip in m/s. Hierna kun je de winddruk van de totale weerstand aftrekken en bereken hoe hard het schip gelopen had zonder de winddruk.

4.2.2 *Drifthoek:*

Bij het berekenen van de drifthoek nemen we nog 2 factoren in acht. De extra weerstand van de romp door de drifthoek en de weerstand van het roer wat het draaiend koppel van de wind t.o.v. het gewichtszwaartepunt moet compenseren. Dit noemen we permanenthelm.

De gebruikte formule voor de drift hoek is $dr = c \cdot (W/v) \cdot (AB/AO) \cdot \sin(\alpha)$. Hierbij is c de blok coëfficiënt, W de windsnelheid in Kn, v de scheepsnelheid in Kn, Ab het opp. op de waterlijn, Ao het opp. onder de waterlijn en α de invalshoek van de wind.

Nu de dr(drifthoek) berekend is kunnen we met $= 0,5 * \rho * c * (A * \sin(\phi)) * v^2$ de toegenomen weerstand bereken. Hierbij is ρ 1025 kg/m^3 en zijn de andere waarden al eerder vernoemt.

Voor de permanent helm factor wordt het verdraaiend koppel bereken tussen het Zeilpunt en het gewichtszwaartepunt. Het zeilpunt komt uit dezelfde berekening en schatting van de oppervlaktes als dat van de winddruk.

Met het opp. Zijprofiel en de blokcoëfficiënt kan de winddruk berekend worden. Dit wordt vermenigvuldigt met de arm van het windkoppel wat de eerder vernoemde afstand is tussen gewichtszwaartepunt is het zeilpunt. Dit verdraaiend koppel wordt gedeeld door de afstand van de roerkoning tot het draaipunt van het schip. De standaard aangenomen waarde voor dit punt in de schipvaart wordt voor het varende schip op 1/3 afstand van de lengte tussen de loodlijnen genomen, gerekend vanaf de

Fpp (forward perpendicular). Zie tabblad wind weerstand door drifthoek. Hierbij is nu het roerkoppel berekend. Omdat de roeruitslag bij een dergelijk koppel relatief klein is en er geen geschikte literatuur en blokcoëfficiënt waarden te vinden waarden is dit koppel 1 op 1 als toegenomen weerstand genomen. Het is dus bekend dat hiermee een lichte foutmarge optreedt in het geheel.

Met de totale toegenomen weerstand door de drifthoek kan nu dezelfde stap worden ondernomen als met de winddruk is gedaan. Dit vindt plaats in tabblad wind weerstand door drift hoek2.

4.3 Vaartverliesmodel

Het vaartverliesmodel is waar alle voorgaande berekening samenkomen en het ook het eerste tabblad. Om het werken van alle meeting te versnellen wordt alle data zoals afgelegde afstand koers wind etc. hier in de linker tabel ingevoerd en kunnen daarna de verliezen t.g.v. wind en golf afgelezen worden. Deze worden vervolgens in het dataverzamelmiddelmodel ingevoerd wat automatisch alle waarden voor een specifieke golf/wind hoogte en invalshoek middelt volgens dezelfde intervallen als in SPOS ingevoerd kunnen worden. Dit houdt in dat de windverliezen worden berekend in stappen van 10Kn en invalshoeken per 45° en golfverliezen per 2m stappen in golfhoogte en dezelfde 45° qua invalshoeken. Zie figuur 4.1 Pagina 20.

De enig wijziging die nog handmatig in het model gemaakt moet worden is het invoeren van het % toename brandstofverbruik t.o.v. 7.6m gelijklastig oftewel de ontwerpdiepgang. Dit vindt plaats in het tabblad Diepgang, Trim- en Aangroei correctie. Men neemt uit de onderste van de 3 tabellen op basis van de snelheid, trim en diepgang het juiste percentage en vult onder de trimtabel in kader k26. Zie *Figuur 2-7 Trim Tabel A-serie* pagina 14. Deze waarde verandert niet elke meting en zal vaak hetzelfde blijven gedurende een reis doordat de veranderingen in diepgang op zee zeer klein zijn. De daarvoor gebruikte trimtabel is in stappen van 1meter diepgang, 0.4 a 0.5m trim en 2kn snelheidsverschil is gemaakt. Hier tussen wordt niet geïnterpoleerd en gedurende een reis zijn de gevolgen van het brandstof verbruik erg klein t.o.v. de bekende data punten omtrent de diepgang en trim.

Invoer data

Afstand	29,6	Nm	
Pitch	65	%	
Load	66	%	
Koers	83	°	
Wind			
Wind force		Bft	
Wind	14	m/s	
invals hoek	164	°	
Sea state	1	m	
Tijdsduur	2	Uur	30 Min
Tv	7,9	m	
Ta	7,95	m	
Tgem	7,925	m	Ingevoerde data

Goedweer snelheid	14,28	Kn
Na correctie's	14,28	Kn
Werkelijke snelheid	11,84	Kn
Na correctie's	12,16	Kn
Vaart verlies	2,12	Kn

Percentage verlies	14,86	%
Verlies Winddruk	-5,17	%
Verlies drifthoek	0,25	%
Verlies Golfslag	19,78	%

Data Sheet	
Windverlies	Golfverlies
-4,92	19,78

Figuur 4-6 Invoer data

5 Conclusie

Ten behoeve van de beantwoording van de opgestelde hoofdvraag van deze afstudeerscriptie is allereerst een literatuurstudie verricht omtrent de verschillende mogelijkheden om een werkend en bruikbaar rekenmodel te creëren. Het uitvoeren van deze literatuurstudie resulteerde in een referentie punt door middel van Pitch i.p.v. vermogen.

De hoofdvraag van deze afstudeerscriptie is als volgt geformuleerd:

Hoeveel vaart verliezen de onderzochte schepen als gevolg van wind en golven?

Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden, zijn deelvragen opgesteld. Deze zijn als volgt geformuleerd.

- Deelvraag 1: Welke variabelen binnen het kader van het onderzoek bestaan er en welke eventuele aannames worden gesteld?
- Deelvraag 2: Wat zou de theoretische snelheid van het schip in ontwerptoestand in ideale omstandigheden zijn?
- Deelvraag 3: Hoe groot is de invloed van de windfactor in het totale vaartverlies?

Om tot een gedegen antwoord te komen moet antwoord gegeven worden op de verschillende deelvragen. In het geval van dit onderzoek is deelvraag 1 beantwoord in het theoretisch kader door vast te stellen welke variabelen er zijn. Hierbij moet gedacht worden aan aangroei, accuratesse waarnemingen, verschillen tussen 2 zusterschepen, keuze voor gps of log etc.

Voor deelvragen 2 en 3 is het belangrijk om te weten dat dit specifieke waardes zijn die de elke meeting weer anders zijn. Hierbij is vooral het begrip van hoe deze waardes zijn uitgerekend belangrijk. Zo is de theoretische goedweersnelheid gerefereerd aan Pitch en gecorrigeerd voor aangroei, trim en diepgang.

De windfactor is een benadering op basis van de winddruk die wordt berekend met windoppervlaktes en in acht nemend de diepgang en trim. Daarnaast wordt ook de drifthoek berekend en de toegenomen weerstand door de permenanthelm factor.

Na het verwerken van alle data die geleverd is door de meewerkende schepen is een model ontstaan wat implementeerbaar is in het programma SPOS. Hiermee kan gedurende een oversteek op nauwkeurigere wijze dan voorheen de ETA bepaald worden door dat SPOS een accurater model heeft van het vaartverlies van A-serie. Dit heeft ook positieve gevolgen voor de veiligheid doordat er accurater de optimale route kan worden bepaald wanneer er depressies naderen.

Figuur 5-1 Resultaten

6 Discussie

In dit hoofdstuk wordt het afstudeeronderzoek, naar het vaarverliesmodel voor de A-serie, kritisch ter discussie gesteld. Zo worden uitgangspunten en resultaten hier nader besproken en mogelijk weerlegd.

Terugkijkend op het verloop van dit onderzoek is het logisch dat na het ontwikkelen van het rekenmodel en ontvangen van alle meting van de vloot er begonnen is aan het verwerken van alle data. Ook na het opsporen van de eerste fout is het een logische stap dat er opnieuw begonnen is met het verwerken van alle data, niet wetende dat er meerdere fouten in het model zaten. Terugkijkend op alles zou het beter zijn om na het ontwikkelen van het model dit geheel te herschrijven. Doordat gaandeweg steeds meer berekeningen en elementen toe gevoegd zijn is het model te complex geworden was. Indien die situatie zich opnieuw zou voordoen is het beter het model opnieuw op te bouwen of herschrijven naar een overzichtelijker en makkelijker te doorgronden model. Wellicht waren de fouten dan ook aan het licht gekomen of zouden deze niet overgenomen zijn. Zo'n herschrijving is ook goed om jezelf te controleren en te kijken of alles klopt.

Bij het ontwikkelen van het rekenmodel zijn er een aantal aannames gedaan die ter discussie gesteld kunnen worden. Zo wordt tijdens de berekeningen voor de correctie van trim en diepgangscorrecties ook een aanname gedaan voor de toegenomen weerstand door aangroei. Voor dit percentage is in overleg met mijn stagebegeleider een bescheiden waarde van 5% genomen. De onderbouwing hiervan vind u in Hoofdstuk 2.2.2 Aangroei.

Daarnaast zijn er ook de elementen waarover geen goed onderbouwde data over is. Denk hierbij aan de gevolgen van een windstoot op het totaal verlies. Zie hoofdstuk 2.2.4. Er is dan ook besloten om geen rekening te houden met de gevolgen van windstoten.

In zijn huidige staat is het model goed bruikbaar voor navigatie officieren en voldoen de resultaten aan de voor afgestelde verwachtingen. Het model zal wel voor vele te complex zijn om te wijzigen of eventuele problemen op te sporen. Wel is het goed bruikbaar omdat er geen uitgebreide kennis van de werking nodig is om het te gebruiken.

De betrouwbaarheid is moeilijk vast te stellen door de vele variabelen in dit onderzoek. Wanneer de vloot de resultaten invoert in SPOS en daadwerkelijk tijdens de reizen deze data gebruikt zal pas blijken hoe goed de resultaten overeenkomen met de werkelijkheid.

7 Aanbevelingen

Dit rapport bevat het vaartverliesmodel voor de A-serie schepen van Wagenborg shipping. Daarnaast zijn de aanbevelingen voor het gebruik van dit model voor zowel de voortzetting van het onderzoek voor de A-serie als de mogelijkheid de methodiek en de basis van het model te gebruiken voor andere scheepstypen.

Vervolg voor A-serie:

Indien de bemanning het model implementeert kan er doormiddel van het rekenmodel actief verbetering worden toegepast door de meting te verwerken en toe te voegen in het dataverzamelsheet. Daarmee kan men de waardes die in SPOS ingevoerd worden updaten. Het nemen van deze verdere meting zou de nauwkeurigheid vergroten omdat de gemiddelde waarde op meer meting berust, dit geeft een beter gemiddelde. Punt van aandacht is dat men niet vergeet om in het tabblad diepgang trim en aangroei correctie het juiste percentage ter correctie invult wanneer men in een nieuwe beladingssituatie treed.

Toepasbaarheid voor andere scheepstypes:

Indien overwogen wordt dit onderzoek te herhalen voor andere types dient men goed naar de alle scheepspecifieke elementen te kijken en deze te veranderen. Denk hierbij aan Pitch tabel, Trim en diepgang tabel, Windoppervlakte model etc.

Daarnaast is het ook verstandig lering te trekken uit de vele vertragingen die hebben plaatsgevonden, wanneer je het model aanpast voor een ander scheepstype dit ook te herschrijven. Hiermee ontstaat een beter inzicht in de werking van het model en is dit ook te versimpelen.

Met de bovenstaande punten zou het gemaakte model toepasbaar moeten zijn voor verder onderzoek voor de A-serie of andere schepen.

Bibliografie

- bijdam.nl. (2017). <https://bijdam.nl/schroefreparatie/>. Opgehaald van <https://bijdam.nl/schroefreparatie/>
- Blendermann, W. (1996). *Wind loading of ships*. Hamburg: Institut Für schiffbau der universität Hamburg.
- Dallinga, R. (2017). Marin, Wageningen. (I. D'Hont, Interviewer)
- Hudong-Zhonghua Shipbuilding Group. (2010). *Record of sea trial*. East China Sea: Hudong-Zhonghua shipbuilding group.
- Kuiken, K. (2007). *Diesel Motoren deel 1*. Onnen: Target Global Energy Training.
- Kuiken, K. (2007). *Diesel Motoren deel 2*. Onnen: Target Global Engery Training.
- Mark Hoving. (2017). Wagenvorg Shipping, Mark Hoving - Operationeel manager (ex master2015).
- Meer, R. v. (2017). Conoship. (I. D'Hont, Interviewer)
- Meteogroup. (2017). *MeteoGroup*. Opgehaald van www.meteogroup.com: www.meteogroup.com
- Molland, A. F. (2013). *Ship resistance and propulsion*. Cambridge: Cambridge University Press.
- S.p.A, W. I. (2009). *Test Run Report*. Trieste Italy: Wartsila.
- Sam Electronic. (2017). *SLS 4120 Log*. Opgehaald van Sam Electronic: http://www.sam-electronics.nl/index.php?option=com_content&task=view&id=92&Itemid=143
- Smit, B. M. (2012). *Sea Trial Report*. Best: Belkoned Marine Service b.v.
- Wagenvorg. (2017). <https://www.wagenvorg.com/royal-wagenvorg/sign-of-solutions>. Opgehaald van Wagenvorg: www.wagenvorg.com
- Wagenvorg. (2017). *Wagenvorg*. Opgehaald van <https://www.wagenvorg.com>
- Wagenvorg Shipping, Jan-Willem Ploeg - Superintendent. (2017).
- Wartsila. (2017, Juli). *Wartsila*. Opgehaald van www.wartsila.com