

boegbeeld

onder zeil



trui

skysails

wereldreizen

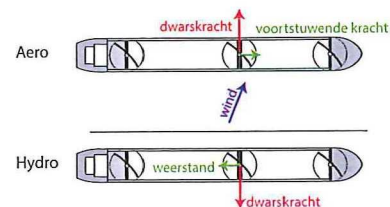
dykstra



Hulpzeilvoortstuwing

bachelor eindproject

In dit bachelor eindonderzoek zijn twee retrofit hulpzeil voortstuwingsystemen voor een vrachtschip met elkaar vergeleken. In het eerste concept worden zes Flettner rotoren gebruikt en in het tweede concept worden drie DynaRigs gebruikt. Eerst is hydrodynamische data van een modeltest met aerodynamische coëfficiënten van de tuigvormen gecombineerd tot een voortstuwingsberekening (zie figuur 1). Daarna is samen met windstatistiek over een route Rotterdam – New York een besparing op het hoofdvermogen berekend. De conclusie van het onderzoek is dat de twee concepten een vergelijkbare vermogensbesparing opleveren.



Figuur 1: Aero- en hydrodynamische krachten op het schip. Bron: G. Struyk

Door Marja de Jong, Gijsbert Struyk, Roderik Vogels en Colin Voncken

1. Inleiding

Recent is onderzocht¹ welke zeilvormen geschikt zijn voor hulpvoortstuwing voor vrachtschepen¹. Hiertoe zijn verschillende bestaande methoden van windvoortstuwing met elkaar vergeleken. De conclusie van dat onderzoek is dat de Flettner rotor en het DynaRig het efficiëntst zijn in het opwekken van liftkracht en daarmee een goede kandidaat zijn om hulpvoortstuwing leveren. De Flettner rotor is een actief aangedreven ronddraaiende verticale cilinder die door het zogenaamde Magnuseffect liftkracht opwekt. Het DynaRig is een moderne versie van een dwarstuig zoals op zeilende vrachtschepen van eind 19^e eeuw te vinden is. Zie tabel 1 en foto's rechts.

De onderzoeksvraag luidt: met welke van deze twee tuigages, toegepast op het gegeven schip en de gegeven route, kan het meeste motorvermogen bespaard worden? Hierbij wordt uitgegaan van een zogenaamde retrofit: de tuigvorm wordt geïnstalleerd op een bestaand schip.

Deze studie bestaat uit een ontwerpdeel en een onderzoeksdeel. In het ontwerpdeel wordt voor elk van de twee tuigvormen een configuratie gekozen: het Flettner Rotor Concept (FRC) en het DynaRig Concept (DRC). Het onderzoeksdeel dient ertoe inzicht te krijgen in de

hydrodynamische eigenschappen van een vrachtschip onder zeil. Hiertoe zijn modelproeven uitgevoerd. Deze proeven zijn noodzakelijk omdat van vrachtschepen weinig bekend is over de hydrodynamische eigenschappen onder zeil, in tegenstelling tot zeiljachten.

De studie resulteert voor elk concept in een besparing op het benodigde motorvermogen. Om een vergelijking te kunnen maken tussen de concepten, wordt deze besparing uitgedrukt als een percentuele vermogensreductie.

De hypothese is dat het toepassen van het FRC de grootste vermogensreductie oplevert op de gegeven vaaroute van het gegeven schip. Dit wordt verwacht omdat uit windtunnelproeven blijkt^{2,3} dat de Flettner rotor op aan-de-windse

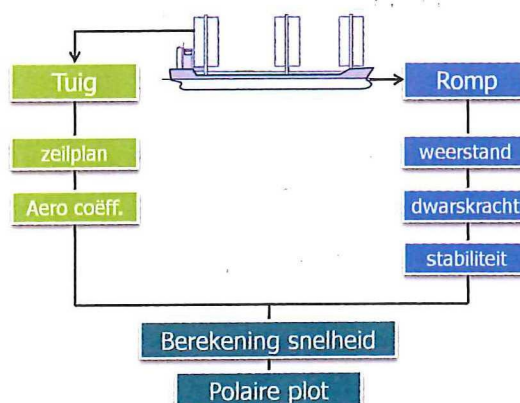
koersen meer voortstuwende kracht kan leveren dan het DynaRig.

2. Methode

Het onderzoek gaat uit van een retrofit zeilsysteem dat als hulpvoortstuwing dient voor een bestaand vrachtschip. De vermogensbesparing wordt bepaald voor de veel gevaren route van Rotterdam naar New York en terug. In het onderzoek wordt uitgegaan van een constante scheepssnelheid van 13 knopen. De vermogensbesparing wordt voor zowel het FRC als DRC bepaald.

Ontwerpdeel

Allereerst zijn met behulp van een literatuurstudie^{3,4} de aspect-ratio's van de twee verschillende zeilvormen bepaald. Voor beide zeilvormen zijn verschillende concepten ontwikkeld. Per concept is het aantal en de



Figuur 2: Onderzoeksmethode. Bron: G. Struyk

plaats van de masten gevarieerd. Het ontwerp van de concepten en de uiteindelijke keuze van het door te rekenen concept is gebaseerd op onder andere de volgende randvoorwaarden:

- De constante hellingshoek van het schip mag in geen geval meer dan 10° zijn.
- De doorvaarthoogte is maximaal 60 m, bepaald door de Verrazano-Narrows brug in New York.
- De masten dienen te worden ondersteund door een dwarsen/of langsschot.
- Het gebruikte materiaal voor de masten is staal.
- De masten hebben een cilindrische doorsnede.

Onderzoeksdeel

De weerstand en dwarskracht op een modelschip zijn gemeten met behulp van een experiment in een sleeptank. De metingen zijn verricht bij combinaties van vier snelheden, drie drifthoeken en vier hellingshoeken. Voor de metingen is een model van het Victoryschip⁵ gebruikt. Dit is een doorsnee vrachtschip van circa 10.000 ton deadweight. De gemeten waarden worden geëxtrapoleerd naar ware grootte volgens de methode van Froude⁶.

Als opstelling voor de experimenten in de sleeptank is dezelfde gekozen als gebruikt in de Delft Systematic Yacht Hull Series. Middels deze opstelling kan men twee

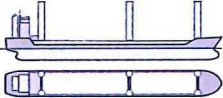
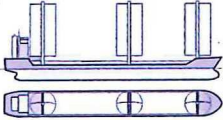
dwarskrachten (voor en achter) en de weerstand meten terwijl het model vrij is om te schrikken, dompen, rollen en stampen.

De hydrodynamische eigenschappen zijn gecombineerd met de aerodynamische coëfficiënten van de Flettner rotor² en het DynaRig³. Met deze eigenschappen is een berekening van de scheepssnelheid voor een reeks van windsnelheden en -richtingen gemaakt in een zogeheten Velocity Prediction Program (VPP), dit is schematisch weergegeven in figuur 2. Met het resultaat is de reductie op de voortstuwende kracht van de hoofdmotor berekend in een Trust Prediction Program (TPP).

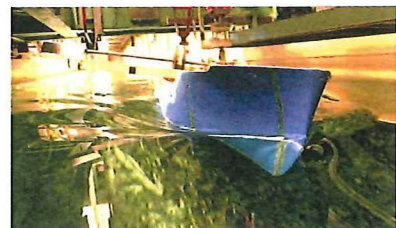
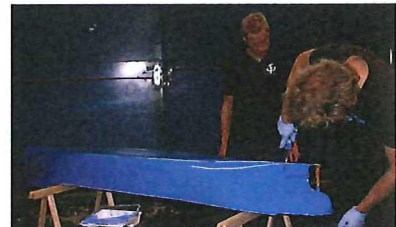
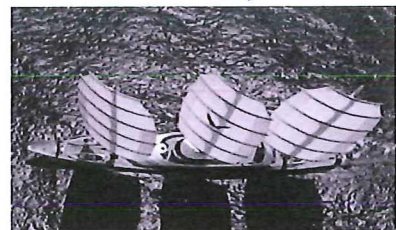
Vervolgens is de gevonden reductie gecombineerd met windstatistieken gebaseerd op metingen over 735.756 vaaruren⁷ voor de gegeven route Rotterdam – New York. Met deze gegevens is de gemiddelde benodigde voortstuwende kracht vanuit de hoofdmotor over deze route berekend. Vervolgens is een vermogensberekening gemaakt waarin het openwater schroefrendement is meegenomen. Hiermee is de vermogensreductie van de hoofdmotor berekend.

3. Resultaten

De gemiddelde vermogensreductie bij het FRC bedraagt 15%, die van het DRC 13%. De resultaten en het onderzoek worden apart besproken.

Flettner Rotor Concept (FRC)		DynaRigs Concept (DRC)	
			
Aantal masten	6	Aantal masten	3
Aspectratio	6	Aspectratio	2
Diameter mast	4 m	Diameter mast	2 m
Lengte mast	24 m	Lengte mast	39 m
Dikte mast	8 mm	Dikte mast	11 mm
Totaal geprojecteerd		Lengte zeil	32 m
zeiloppervlak	576 m ²	Breedte zeil	16 m
		Totaal zeiloppervlak	1511 m ²

Tabel 1: Resultaten. Bron: G. Struyk



Vershillende afbeeldingen behorend bij het onderzoek. Bron: G. Struyk

Ontwerpdeel

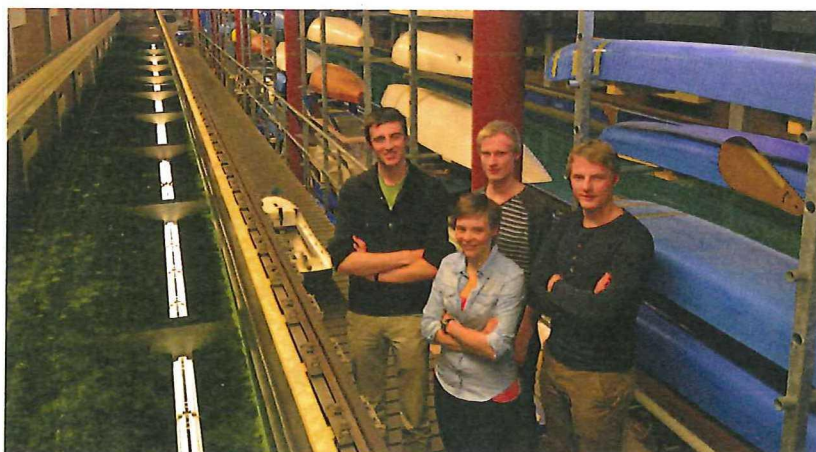
In Tabel 1 zijn de belangrijkste resultaten van de ontwerpen weergegeven. Het FRC bestaat uit zes Flettner rotoren die op de dwars- en langsschotten geplaatst zijn, het DRC bestaat uit drie DynaRigs die midscheeps op de dwarschotten zijn geplaatst.

Onderzoeksdeel

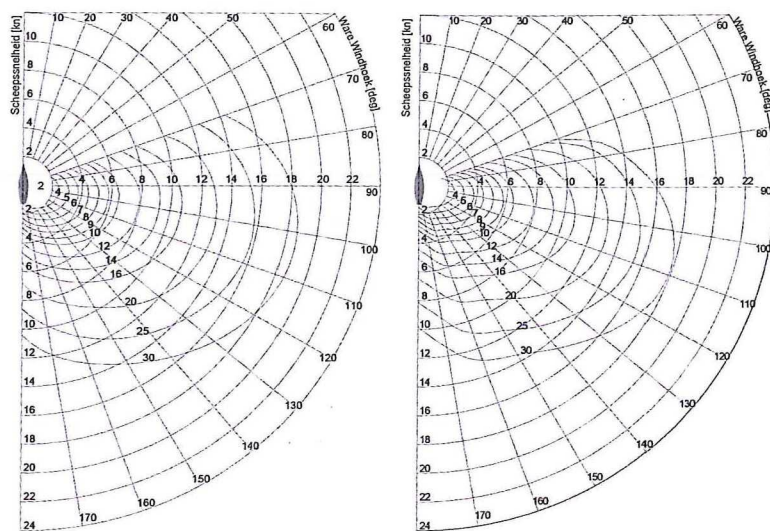
Uit de metingen blijkt dat de weerstand toeneemt met de snelheid. De weerstand neemt ook toe bij toenemende helling en/of drifthoek. De dwarskracht neemt toe bij toenemende drifthoek en neemt af bij toenemende hellingshoek. De geïnduceerde weerstand neemt lineair toe bij het kwadratisch toenemen van de dwarskracht. Deze verbanden voldoen aan de verwachtingen en komen overeen met bekende hydrodynamische eigenschappen van een schip.

Figuur 3a geeft het polairdiagram van FRC, figuur 3b voor DRC. Elke kromme geeft voor de ware windsnelheid de scheepssnelheid over de ware windhoek weer. Af te lezen valt dat het FRC vooral op aan-de-windse koersen (70°-90°) meer snelheid genereert dan DRC.

Als controle op de uitkomst van de VPP is nog een handberekening uitgevoerd voor 18 windsituaties. De scheepssnelheden uit deze handberekeningen vallen met name bij de aan-de-windse koersen hoger



De onderzoeksgroep: Roderik Vogels, Marja de Jong, Colin Voncken, Gijsbert Struyk. Bron: G. Struyk



Polair FRC

Polair DRC

Figuur 3: Polairen. Bron: G. Struyk

uit dan de met WinDesign berekende snelheden.

4. Discussie en conclusies

Uit de resultaten blijkt dat het FRC de hoogste vermogensreductie oplevert. Echter, de handberekeningen vertonen afwijkende waarden. De gevonden besparingen van de twee concepten verschillen slechts twee procentpunten van elkaar. Dit leidt ertoe dat niet met voldoende zekerheid kan worden geconcludeerd welk concept de meeste vermogensbesparing oplevert. Hiermee kan de onderzoeksvraag dus niet worden beantwoord. Wel is geconcludeerd dat de beide concepten een vermogensbesparing opleveren.

Als aanbeveling voor vervolg-

onderzoek zou men het effect van het benodigde vermogen voor de aandrijving van de Flettner rotoren kunnen uitzoeken. Aangezien het verschil in vermogensbesparing tussen het FRC en DRC erg klein is, kan dit nog een aanzienlijk effect hebben op de uitkomst van de vergelijking.

Referenties

1. Vogels, R.H. (2012). PowerSails. Delft: Sectie Scheepshydro-mechanica en Sterkte TU Delft
2. Goeman, A. (1990). Onderzoek aan roterende cilinders al of niet in combinatie met roeren. Delft: Sectie Scheepshydro-mechanica en Sterkte TU Delft
3. Aerodynamische coëfficiënten verkregen via Dijkstra & Partners, Naval Architects. Amsterdam
4. Enercon (2010). Windblatt, Enercon Magazine for wind energy issue 02-2010. Bremen
5. Liberty Ships and Victory Ships, America's Lifeline in War. (<http://www.cr.nps.gov>). Opgevraagd 04-06-12
6. Watson, D.G.M. (1998). Practical Ship Design. Oxford: Elsevier Science Ltd.
7. Tuijl, van, J.J. (2012). Evaluation of auxiliary wind propulsion systems for merchant ships. Delft

Shot

De Oud-Hollandse Botter BU130 "Trui" drooggevalen op het Duitse wad. Met deze eikenhouten platbodem wordt gevaren door de leden van D.S.V. "Nieuwe Delft"-D.S.S. de Bolk. In de winter wordt de Botter op authentieke wijze onderhouden. "Trui" is de oudste nog varende Botter ter wereld. Zie verderop in het Boegbeeld voor het artikel over dit bijzondere schip.

