

De toepassing van draagvleugels op een commercieel vaartuig

De Noyette Loyd

Thesis voorgedragen tot het behalen
van de graad van
Master in de Nautische Wetenschappen
aan de Hogere Zeevaartschool

Promotor: Dhr. Tim Cools

Academiejaar 2022-2023

Voorwoord

Geachte heer/mevrouw,

Allereerst wil ik mijn promotor, Dhr. Tim Cools, hartelijk bedanken voor zijn steun bij mijn gekozen onderwerp. Vanaf het begin van mijn studie aan de Hogere Zeevaartschool was het mijn ambitie om te schrijven over een onderwerp dat mij interesseert. Ik was dan ook verheugd toen mijn voorstel werd goedgekeurd.

Mijn dank gaat ook uit naar mijn vrienden en familie voor hun waardevolle tips en de broodnodige ontspanning tijdens het schrijfproces. Mijn ouders hebben een cruciale rol gespeeld in mijn studiekeuze en mijn interesse in draagvleugels. Ik ben hen hier zeer dankbaar voor.

Mijn fascinatie voor 'draagvleugels' is al jaren een constante. Het schrijven van mijn bachelor- en masterthesis bood de ideale gelegenheid om hier dieper op in te gaan. Tijdens mijn onderzoek ontdekte ik de potentie van draagvleugels in emissievrije schepen en focuste ik me op concepten en bestaande vaartuigen die technologieën zoals hernieuwbare energie en draagvleugels combineren.

Als watersportliefhebber maak ik wekelijks gebruik van draagvleugels. De sporten die ik vooral beoefen zijn kitesurfen, surffoilen en wingfoilen. Kitesurfen en surfen hebben de laatste jaren een nieuwe dimensie gekregen door de revolutie van draagvleugels. Wingfoilen is een geheel nieuwe die sport ontstaan is door de efficiëntie van draagvleugels. Deze sporten hebben mijn passie voor vliegende vaartuigen aangewakkerd en vormden de drijfveer achter deze thesis.

Samenvatting

Het onderwerp van deze thesis is geselecteerd op basis van mijn persoonlijke fascinatie voor draagvleugels. Deze studie focust zich op het gebruik van draagvleugels en onderzoekt of de hogere kosten ervan gerechtvaardigd kunnen worden door een toename in efficiëntie.

De studie richt zich op de voor- en nadelen bij het toepassen van draagvleugels in een bestaande context. Als onderzoeksmethode is er gekozen voor een casestudie waarbij een planerend schip wordt vergeleken met een schip voorzien van draagvleugels. Beide schepen worden geanalyseerd op dezelfde vaarroute, namelijk het traject van de waterbus in Antwerpen. Uit de resultaten blijkt dat schepen met draagvleugels de dienstregeling kunnen handhaven met minder vaartuigen, dankzij hun hogere snelheid en het ontbreken van golfslag. Als er een extra tijds marge in de dienstregeling met de draagvleugels wordt opgenomen, waardoor een extra draagvleugelschip vereist is, blijkt het niet langer rendabel te zijn.

Om te begrijpen waarom draagvleugels minder vaak worden gebruikt, is onderzoek gedaan naar actieve en inactieve draagvleugeldiensten. Actieve diensten tonen aan dat draagvleugels gewaardeerd worden voor hun snelheid, toeristische aantrekkingskracht en als luxeoptie. Ze zijn nog steeds relevant en er worden nieuwe schepen met deze technologie gebouwd. Inactieve diensten tonen echter aan dat draagvleugels financieel niet rendabel zijn. Van de vijf onderzochte diensten stoppen er twee. Drie draagvleugelschepen zijn vervangen door catamarans, wat geen onderhoudsvoordelen oplevert. Veiligheid is niet de oorzaak van de beëindiging. De diensten worden vooral stopgezet vanwege hoge kosten en onvoldoende rendabiliteit.

In het laatste hoofdstuk wordt de Candela P-12, een elektrische veerboot met draagvleugels, geanalyseerd. Hoewel het vaartuig nog niet bestaat, is er een analyse over de mogelijkheden uitgevoerd. Er zijn echter uitdagingen zoals laadtijd en verminderde capaciteit. Hieruit blijkt dat het huidige waterbussysteem niet geschikt is voor de Candela P-12, maar een aangepast werkingsmodel zou wel mogelijk zijn.

Abstract

The topic was chosen due to a personal fascination with hydrofoils. This study focuses on the use of hydrofoils and examines whether their higher costs can be justified by an increase in efficiency.

The study addresses the pros and cons of implementing hydrofoils in an existing context. A case study was chosen as the research method, comparing a planing ship with a ship equipped with hydrofoils. Both ships were analyzed on the same route, specifically the trajectory of the Waterbus in Antwerp. The results showed that ships with hydrofoils can maintain the schedule with fewer vessels, thanks to their higher speed and the absence of wave drag. However, when an additional time margin was incorporated into the hydrofoil schedule, necessitating an extra hydrofoil ship, it was no longer cost-effective.

To understand why hydrofoils are used less frequently, research was conducted on active and inactive hydrofoil services. Active services demonstrate that hydrofoils are valued for their speed, tourist appeal, and as a luxury option. They remain relevant, and new ships using this technology are being built. However, inactive services revealed that hydrofoils were not always financially viable. Out of the five services studied, two were discontinued, and three replaced hydrofoil ships with catamarans, which did not offer maintenance advantages. Safety was not the reason for discontinuation. Services were primarily terminated due to high costs and insufficient profitability.

In the final chapter, the Candela P-12, an electric ferry with hydrofoils, is analyzed. Although the vessel does not yet exist, an analysis of battery usage indicates that this should not pose a significant problem. However, challenges such as charging time and reduced capacity exist. This suggests that the current Waterbus system is not suitable for the Candela P-12, but an adapted operational model might be feasible.

Inhoudsopgave

VOORWOORD	I
SAMENVATTING	III
ABSTRACT	V
LIJST VAN FIGUREN	X
LIJST VAN TABELLEN	XII
1 INTRODUCTIE	14
1.1 WAT IS EEN DRAAGVLEUGEL?	14
1.2 TOEPASSING	14
2 HYDRODYNAMISCHE MECHANICA	16
2.1 WET VAN BERNOULLI	16
2.2 VLEUGELPROFIEL	16
2.3 WRIJVING, WEERSTAND EN GRENSLAGEN	17
2.4 LIFTKRACHT	18
2.5 STROMING CIRCULATIE	19
3 CLASSIFICATIE VAN DRAAGVLEUGELS	22
3.1 SURFACE PIERCING DRAAGVLEUGELS	22
3.2 FULLY SUBMERGED DRAAGVLEUGELS	23
3.3 ROMPSNELHEID (HULL SPEED).....	24
3.4 WEERSTANDSCURVE	25
4 CASE STUDY: VEERDIENST OP DE SCHELDE	28
4.1 DE WATERBUS 2407	28
4.2 FAST FLYING FERRY.....	29
4.3 ROUTEBESCHRIJVING.....	30
4.4 VARIABELE SNELHEID.....	32
4.4.1 <i>Vertragen voor golfslag</i>	34
4.5 TOTALE TIJD PER ROUTE	35
4.6 DIENSTREGELING	35
4.7 TARIEVEN	36
4.8 VERBRUIK	37
4.8.1 <i>Verbruik per passagier per kilometer</i>	40
4.9 BRANDSTOFFEFFICIËNTIE VS. TICKETOPBRENGSTEN	41
4.10 ONGEVALLANALYSE.....	42
4.10.1 <i>Ongevallen van de Fast Flying Ferry's op het Noordzeekanaal</i>	42

4.10.2	<i>Ongevallen van de Waterbus op de Schelde</i>	45
4.10.3	<i>Potentiële beperkingen</i>	46
4.11	INFRASTRUCTUUR	47
4.12	REGELGEVING	48
5	SNELHEID VERSUS VERBRUIK	51
6	DE OPKOMST EN ONDERGANG VAN OPERATIEVE DRAAGVLEUGELSCHEPEN	53
6.1	OPERATIEVE DIENSTEN	53
6.2	INACTIEVE DIENSTEN.....	55
7	DUURZAAMHEID EN INNOVATIE: ELEKTRISCHE DRAAGVLEUGELSCHEPEN IN DE MODERNE SCHEEPVAART	
	59	
7.1	CANDELA.....	59
7.2	ENERGIEDICHTHEID	60
7.2.1	<i>Gewichtsberekening</i>	61
7.3	BATTERIJ OPLAADTIJD	61
7.4	INTEGRATIE VAN CANDELA P-12 SCHEPEN OP DE WATERBUS ROUTE	62
8	CONCLUSIE	63
9	BIBLIOGRAFIE	66
	LIJST VAN BIJLAGEN	70
	BIJLAGE A: GEGEVENSVERZAMELING EN ROUTEANALYSE VAN DE WATERBUS ROUTE OP DE SCHELDE	71
	BIJLAGE B: STUURMANSKUNST OP DE SCHELDE: EEN GESPREK MET EEN KAPITEIN VAN DE WATERBUS	73

Lijst van figuren

Figuur 1	Pegasus klasse	14
Figuur 2	Doorsnede van een vleugelprofiel.....	17
Figuur 3	Ontstaan van circulatie.....	20
Figuur 4	Circulatie van de stroming.....	20
Figuur 5	Surface piercing draagvleugels	23
Figuur 6	Fully submerged draagvleugels	24
Figuur 7	Weerstandscurve draagvleugel	26
Figuur 8	Brandstofefficiëntie van een draagvleugel.....	26
Figuur 9	De Waterbus.....	28
Figuur 10	Fast Flying Ferry.....	30
Figuur 11	Route Fast Flying Ferry Noordzeekanaal	30
Figuur 12	Route Waterbus.....	31
Figuur 13	Dienstregeling Waterbus.....	31
Figuur 14	Route Waterbus met snelheid.....	33
Figuur 15	gps-snelheid meting	34
Figuur 16	Ongeval 18 oktober 2003	43
Figuur 17	Ongeval 8 oktober 2007	44
Figuur 18	Ongeval 2 februari 2009	44
Figuur 19	Ongeval 9 december 2019.....	45
Figuur 20	Aangemeerde Fast Flying Ferry	48
Figuur 21	Optische tekens van een snel schip 's nachts	49
Figuur 22	Optische tekens van een snel schip overdag	49
Figuur 23	Candela P-12.....	59

Lijst van tabellen

Tabel 1	Verbruik per toerental van een Waterbus.....	38
Tabel 2	Verbruik per toerental van een Voskhod 2M-FFF.....	38
Tabel 3	Verbruik Waterbus2407.....	39
Tabel 4	Verbruik Fast Flying Ferry	39

1 Introductie

1.1 Wat is een draagvleugel?

Een draagvleugel is een onderwatersysteem dat bij toenemende vaarsnelheid de romp, geheel of gedeeltelijk, uit het water tilt. Het hoofddoel van de draagvleugel is om de weerstand van het schip te verminderen, waardoor hogere snelheden kunnen worden bereikt. Dit mechanisme wordt toegepast op snelle vaartuigen, waar één of meerdere draagvleugels worden geïntegreerd, zoals veerboten en zeilboten. Het basisprincipe van de draagvleugel werkt volgens hetzelfde principe als dat van een vliegtuigvleugel. De vorm van draagvleugels vertoont gelijkenissen met die van vliegtuigvleugels, waarbij de bovenzijde bol is en de onderzijde plat of hol.

1.2 Toepassing

Draagvleugelboten worden bijna exclusief gebruikt voor het snel transporteren over water. Dit is zeer aantrekkelijk voor de marine, veerdiensten en watersport. Zo gebruikte de Amerikaanse marine draagvleugelboten van de Pegasus klasse in de jaren '70. De Pegasus klasse staat gekend als een *fast attack craft*, dat dankzij draagvleugels tot 48 knopen kan varen. Ze werden onder andere gebruikt in de strijd tegen drugshandel vanuit de Caraïben.



Figuur 1 Pegasus klasse

Bron: Jeff Hilton (2021)

In de ferry-industrie is het bedrijf Candela bezig met het maken van emissievrije veerboten genaamd Candela P-12. De schepen zijn volledig elektrisch en worden aangedreven door batterijen. Om de hoge snelheden te behalen met een zo klein mogelijke weerstand wordt gebruik gemaakt van draagvleugels. De eerste schepen zullen geleverd worden eind 2023. In de zeilsport is het gebruik van draagvleugels de laatste jaren zeer populair geworden. We zien draagvleugels zowel in de kleinzeilerij als in de meest iconische wedstrijden zoals de America's Cup. De publicatie van de AC75 klasse in de America's cup heeft de zeilwereld in een nieuw tijdperk gelanceerd. Deze schepen halen snelheden tot over de 50 knopen in een wind van slechts 15 knopen. De zeilwereld is niet het enige die de voorbije jaren enorm is veranderd door het gebruik van draagvleugels. Surfers, kitesurfers en windsurfers zijn met de evolutie meegegaan en zijn draagvleugels massaal beginnen gebruiken. Dit is enkel mogelijk door het toegankelijk worden van composietmateriaal zoals glasvezels en carbon, materiaal waaruit de draagvleugels gemaakt zijn. Door deze toegankelijkheid is een nieuwe sport ontstaan, genaamd wingsurfen. De sport lijkt op windsurfen, maar exclusief op een draagvleugel en met minder complex zeilmateriaal.

2 Hydrodynamische mechanica

Zoals eerder vermeld is het principe van een draagvleugel gelijkaardig aan die van een vliegtuig. Beide creëren op een identieke manier “lift”. Met behulp van de wetten van aero- en hydrodynamica kunnen we het fenomeen dat we “lift” noemen in verschillende vleugelprofielen verklaren.

2.1 Wet van Bernoulli

De wet van Bernoulli komt uit de aero- en hydrodynamica en is beschreven door Daniel Bernoulli in de 18^{de} eeuw. De wet maakt gebruik van een beperkt aantal energievormen namelijk druk- (P), kinetische- ($\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$) en potentiële energie ($\rho \cdot g \cdot h$).

$$P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2$$

P : druk (Pa)

ρ : massa dichtheid (kg/m³)

v : snelheid (m/s)

g : valversnelling (m/s²)

h : hoogteverschil (m)

De formule hierboven is een vereenvoudigde vorm van de wet van behoud van energie en geldt voor een medium dat niet samendrukbaar en wrijvingsloos is. De vergelijking beschrijft dat als de snelheid in een medium toeneemt de druk daar ter plaatse afneemt en omgekeerd.

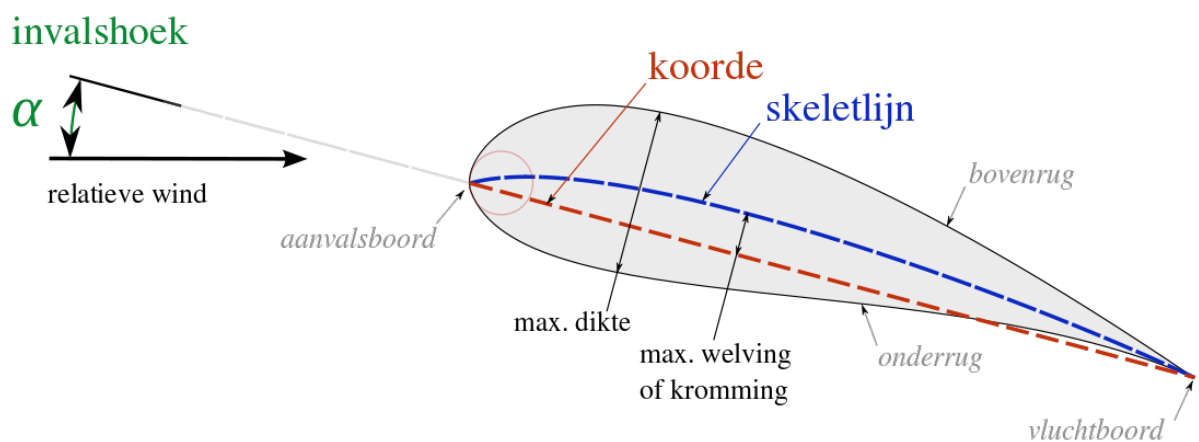
2.2 Vleugelprofiel

Het vleugelprofiel is de dwarsdoorsnede van een vleugel. Er zijn profielen met symmetrische en asymmetrische krommingen van boven- en ondervlakken. De lift op een aerodynamisch profiel is voornamelijk het resultaat van de invalshoek. Als je een vleugelprofiel op de gewenste invalshoek positioneert, zal het de stroom afbuigen, wat resulteert in een kracht tegengesteld aan de richting van de afbuiging. Deze kracht staat gekend als de aerodynamische kracht.

We vinden vleugelprofielen niet alleen in de vliegtuigen en boten, maar ook in dieren. Zwemmende en vliegende wezens hebben vaak gelijkaardige profielen aan dat van

vliegtuigvleugels en scheepsrompen. Zo lijken de vleugels van een vliegtuig enorm op de vleugels van een vogel en de romp van een schip op de vorm van een vis.

Voor het omschrijven van een specifiek profiel worden er termen gebruikt zoals de 'kooorde', 'skeletlijn' en de 'invalshoek'. De voorkant van het profiel is meestal rond, terwijl de achterkant veelal scherp is. De kooorde is een rechte lijn hiertussen. De skeletlijn is een lijn getekend in het midden tussen de bovenrug en onderrug van het profiel en geeft de hoeveelheid kromming aan. De invalshoek is de hoek tussen het verlengde van de kooorde en de richting van de stroom. Met deze kenmerken kunnen we vleugelprofielen gaan indelen volgens hun eigenschappen. De NACA, National Advisory Committee for Aeronautics, is een Amerikaans agentschap dat deze kenmerken gebruikt samen met meer gedetailleerde parameters voor het berekenen van verschillende profielen met de gewenste eigenschappen. Op de website (Aerotoobox, 2021) kan je honderden NACA-profielen terugvinden met de bijhorende kenmerken, zoals: maximum dikte en maximum kromming ten opzichte van de kooorde. (Stiens, 2022)



Figuur 2 Doorsnede van een vleugelprofiel

Bron: Olivier Cleynen (2019)

2.3 Wrijving, weerstand en grenslagen

Weerstand komt voor wanneer een stroming rondom een symmetrisch lichaam zonder invalshoek vloeit. Aangezien deze weerstand een gevolg is van de drukverdeling over het lichaam, en beïnvloed wordt door wrijving, noemen we deze vorm van wrijving de

drukweerstand of vormweerstand. De drukweerstand wordt groter bij het optreden van wervels. De stroomlijnen moeten dus zodanig vloeien zodat ze weer netjes bij elkaar komen, omdat de wervelvorming voornamelijk voorkomt rond de vluchtboord is de vormgeving aan de achterkant van het lichaam veel belangrijker voor het verminderen van de drukweerstand. Een andere vorm van weerstand is de oppervlaktewrijvingsweerstand, die ontstaat door de wrijving tussen medium en oppervlak. De totale wrijving van een lichaam bestaat uit de drukweerstand en oppervlakteweerstand.

Rondom het lichaam zijn de stroomsnelheden kleiner dan op een grotere afstand. Dit leidt tot een stroming die aan het lichaam blijft kleven. De wand zal dezelfde snelheid hebben als de stromingsdeeltjes die direct in aanraking komen met de wand. De snelheid van de deeltjes rondom het profiel zal toenemen naarmate ze verder van de wand af bevinden. Hierdoor vormt er zich een dunne laag rondom het profiel, die de grenslaag genoemd wordt.

2.4 Liftkracht

Liftkracht, ook wel gekend als draagkracht, kunnen we definiëren als: de kracht die een stromend gas of vloeistof op een lichaam uitoefent loodrecht op de richting van de stroming. In een draagvleugel is deze kracht naar boven gericht om de romp uit het water te heffen en zo de totale weerstand van het schip te verminderen. De liftkracht is afhankelijk van een dimensieloos coëfficiënt, de dichtheid van het fluïdum, de stroomsnelheid en het vleugeloppervlak. Ze wordt beschreven door onderstaande formule:

$$F_L = c_l * \frac{1}{2} * \rho * v^2 * A$$

F_L : Liftkracht uitgedrukt in Newton.

c_l : Liftcoëfficiënt, wat een dimensieloze constante voorstelt. Deze is afhankelijk van de stroming van het fluïdum rond de vleugel en wordt bepaald bij de bouw van het toestel.

ρ : Dichtheid van bijvoorbeeld water (in kg/m^3).

v : Stroomsnelheid ten opzichte van de vleugel (in m/s).

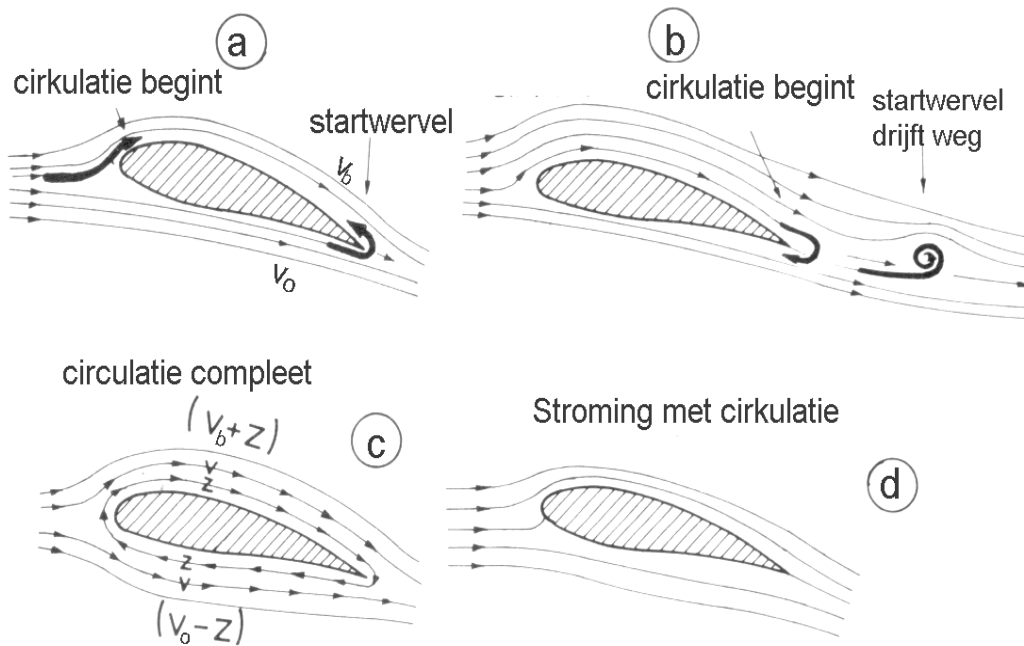
A : Vleugeloppervlak (in m^2).

Liftkracht komt ook voor op plaatsen zoals het roer of de propeller van een schip. Voorbeelden van liftkrachten in een ander fluïdum, zoals lucht, zijn de vleugels van een vliegtuig of het zeil van een zeilboot, met lucht als het fluïdum.

2.5 Stroming circulatie

De onderdruk op de bovenrug en de overdruk aan de onderrug vormen samen de liftkracht. Volgens de wet van Bernoulli zijn de voorwaarden voor een onderdruk een hoge stroomsnelheid. De versnelling op de bovenrug en de vertraging aan de onderrug is het werk dat wordt verricht door de twee stromingen bij elkaar op te tellen. De aerodynamische theorie van Ludwig Prandtl is hierop gebaseerd. De theorie waarbij uitsluitend Bernoulli verantwoordelijk is voor de liftkracht is niet juist (Wijnen, 2013).

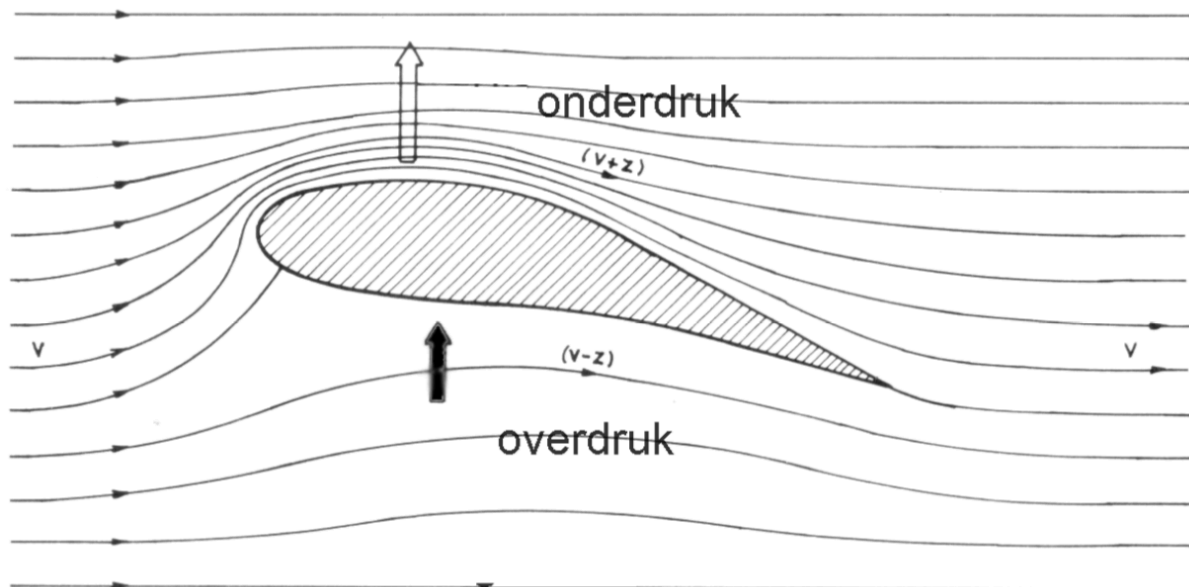
“Als een oneindig glad vleugelprofiel een wrijvingsloze stroming binnengaat, vindt enkel parallelle stroming plaats, maar geen lift. Als een vleugelprofiel met krommingen dat niet oneindig glad is in een stroming wordt gebracht dan zullen de stroomlijnen aan de bovenkant worden samengedrukt, omdat ze een kleinere doorsnede ter beschikking hebben. Deze doorsnedeverkleining zorgt voor een vergroting van de oorspronkelijke stroomsnelheid die een drukverlaging tot gevolg heeft, aldus Bernoulli. Op dit ogenblik is er nog geen sprake van liftkracht. Dit heeft tot gevolg dat de lucht aan de onderkant naar de bovenkant van het profiel wil stromen, zowel bij de aanvalsboord als bij de vluchtboord (Figuur 3a). De stroom die over het profiel stroomt wordt door de lucht die onder het profiel stroomt tegengewerkt en vormt een startwervel (Figuur 3b). De startwervel laat onmiddellijk los van het profiel en blijft achter. Hierdoor keert de stroming over het profiel aan de vluchtboord om en stroomt het aan de onderkant in de tegengestelde richting terug (Figuur 3c). Volgens de werveltheorie moet de som van de wervels gelijk zijn aan nul. De startwervel in Figuur 3b is een linksdraaiende wervel die tegengewerkt wordt door een rechtsdraaiende wervel aan de vluchtboord. “Bovenstaande theorie staat in het theorieboek voor zweeftechnici (Wijnen, 2013)



Figuur 3 Ontstaan van cirkulatie

Bron: Jo Wijnen (2013)

Deze bewegingscomponenten zijn profielgebonden en zullen gedurende de gehele vlucht bestaan. Aan de bovenrug van het profiel wordt de stroomsnelheid V_b vergroot met een circulatiesnelheid Z tot $(V_b + Z)$. Aan de onderrug zal de stroomsnelheid V_0 verkleinen met de circulatiesnelheid Z tot $(V_0 - Z)$.



Figuur 4 Circulatie van de stroming

Bron: Jo Wijnen (2013)

Het resultaat van de circulatie is te zien op Figuur 4, met aan de bovenrug een grote onderdruk en aan de onderrug een sterke overdruk. Dit voorbeeld geldt voor een profiel met krommingen bij een lage snelheid. Symmetrische profielen worden gebruikt bij hogere snelheden, waarbij de bovenrug een grote onderdruk heeft en de onderrug een iets kleinere overdruk. Onder- en overdruk werken loodrecht op het oppervlak en veranderen van grote over het profiel.

3 Classificatie van draagvleugels

Er zijn twee hoofdtypen in draagvleugels: de “surface piercing” (V-vleugel) en de “fully submerged” (T-vleugel). De naam is afgeleid van hun vorm en eigenschap. V-vleugels komen namelijk gedeeltelijk boven water, terwijl T-vleugels altijd volledig onder water blijven. Het grote verschil tussen beide is de manier waarop de lift gecorrigeerd wordt.

3.1 Surface piercing draagvleugels

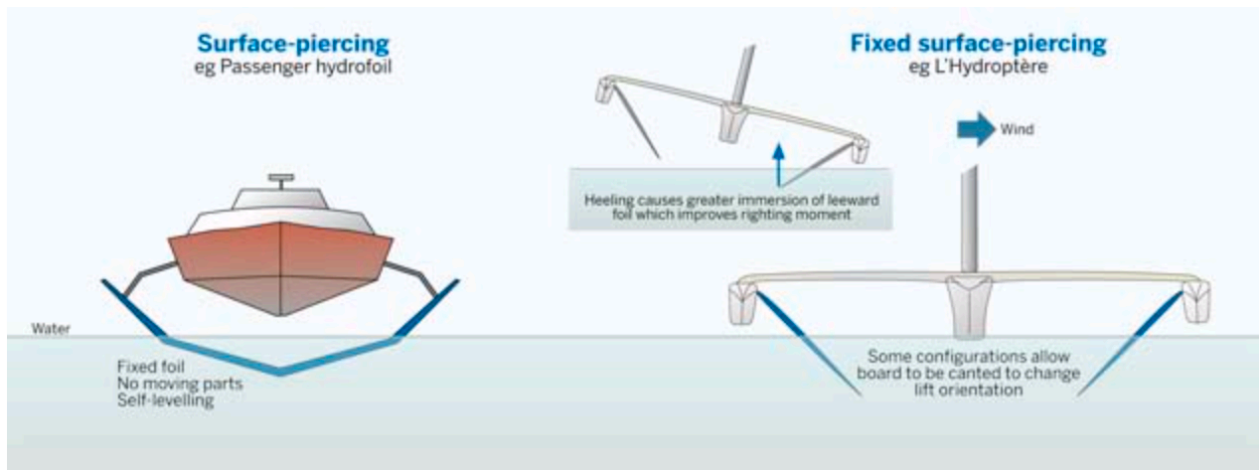
Surface piercing foils ofwel V-vleugels worden gekenmerkt door de vleugel dat gedeeltelijk onder water zit in een V-vorm. Naarmate de snelheid toeneemt zal het onder water gedeelte kleiner worden en de hoeveelheid lift die gecreëerd wordt door de vleugel ook verkleinen. Door het verlies aan lift zakt het schip terug wat dieper in het water, waardoor er weer meer lift kan gecreëerd worden. Dit proces blijft zich herhalen tot er een equilibrium is bereikt. Dit wordt autostabiliteit genoemd. (Stringfixer, 2021)

Voordelen:

- V-vleugels vereisen geen mechanisch systeem om hun stabiliteit te behouden dankzij hun autostabiliteit.
- V-vleugels hebben een grotere aspectratio (lengte X breedte verhouding), die de wrijving reduceert.

Nadelen:

- Het doorbreken van het wateroppervlak kan interferentie veroorzaken met de lucht. Dit kan een verlies aan efficiëntie veroorzaken door ventilatie van de vleugel.
- Door het niet kunnen aanpassen van de hoogte zijn dit type vleugels gevoeliger aan veranderingen in het wateroppervlak.
- Ze zijn kwetsbaar voor drijvende objecten in het water.



Figuur 5 Surface piercing draagvleugels

Bron: Matthew Sheahan (2015)

3.2 Fully submerged draagvleugels

Fully submerged foils ook wel T draagvleugels genoemd, worden loodrecht onder de kiel en volledig onder water gemonteerd. Dit soort draagvleugels genereren loodrechte lift naar boven. Enkel het horizontale gedeelte is dus van belang. Het verticale gedeelte is de verbinding tussen romp en vleugel en wordt gebruikt als roer of stabilisator. Het is van groot belang dat het horizontale gedeelte zich te allen tijde onder water bevindt. Als de draagvleugel uit het water komt, ventileert het en valt de lift weg, wat resulteert in een harde landing die schade kan veroorzaken aan de romp. Het horizontale gedeelte kan uit het water komen wanneer het schip over zijn maximale snelheid gaat waar de lift te groot is. (Stringfixer, 2021)

Voordelen:

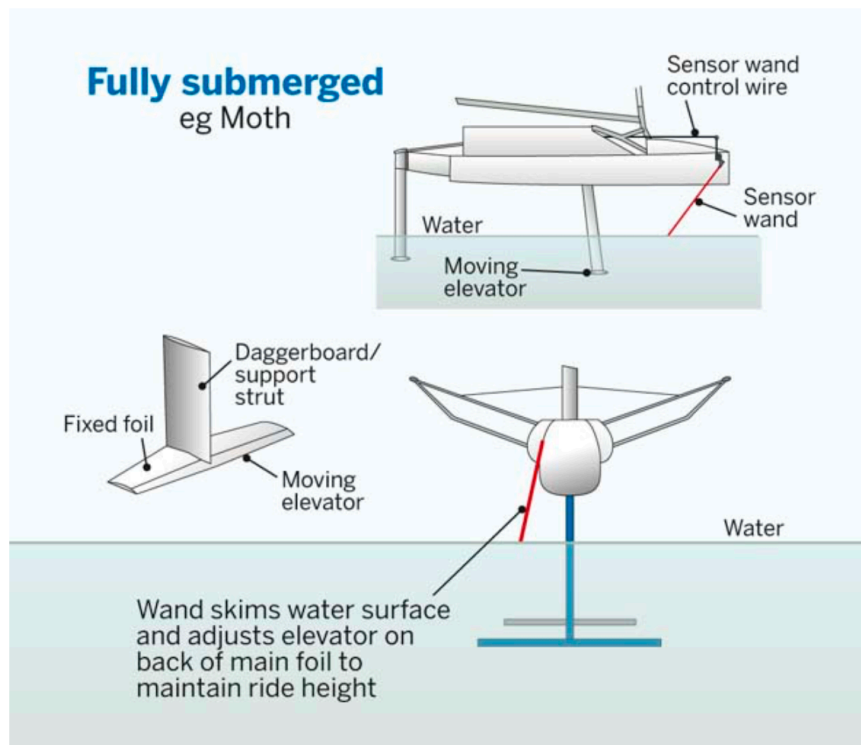
- T-vleugels hebben een vaste diepte waarop ze werken wat de interferenties met golven en lucht elimineert, in de vorm van ventilatie.
- T-vleugels werken diep onder water, wat ze een voordeel geeft in de wendbaarheid aan hoge snelheden en waardoor ze minder gevoelig zijn aan golven.
- T-vleugels zijn minder gevoelig aan ventilatie.

Nadelen:

- T-vleugels zijn niet zelfstabiliserend, de lift moet mechanisch aangepast worden.
- Dit type vleugel vergroot de diepgang van het schip aanzienlijk, waardoor er een systeem nodig is voor het ophalen van de draagvleugels tijdens het aanmeren. Dit

vraagt voor extra mechanische onderdelen, wat het schip zwaarder maakt en meer onderhoud vraagt.

- Ze zijn kwetsbaar voor harde drijvende objecten in het water.



Figuur 6 Fully submerged draagvleugels

Bron: Matthew Sheahan (2015)

3.3 Rompsnelheid (hull speed)

De rompsnelheid van een schip is de maximale snelheid waarmee een schip door het water kan bewegen, voordat de weerstand van het water te groot wordt en de snelheid niet verder kan worden verhoogd.

De rompsnelheid is afhankelijk van de lengte en breedte van de waterlijn. In het algemeen geldt dat hoe langer en smaller het schip is, hoe hoger de rompsnelheid kan zijn. Dit komt doordat een langer en smaller schip minder weerstand ondervindt van het water dan een korter en breder schip. (Barczak, 2021)

De rompsnelheid kan approximatief worden berekend met de formule:

$$V = 2,4278 \sqrt{Lm}$$

V: de snelheid in knopen

Lm: lengte van de waterlijn in meter

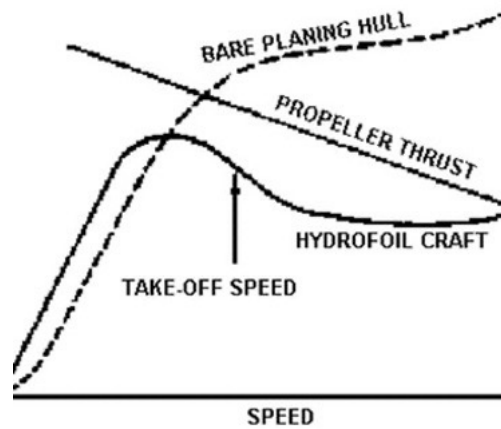
De berekende rompsnelheid is een theoretische benadering, het is dus mogelijk om hierover te gaan. Op dit punt zal het schip als het ware beginnen te surfen op de golven en zal ze beginnen te planeren. De uiteindelijke snelheid van je schip hangt af van de weerstand en snelheid. (Doane, 2010)

3.4 Weerstandscurve

De weerstandscurve geeft de relatie tussen de snelheid van een schip en de weerstand dat het ondertussen ondervindt. De curve bouwt geleidelijk aan op. Naarmate de snelheid groter wordt zal de weerstand ook groter worden. Op een bepaald punt zal er een piek zijn waar de weerstand maximaal is. Dit wordt de kritische snelheid genoemd en komt overeen met de rompsnelheid van het schip. De weerstandscurve wordt gebruikt om de prestaties van het schip te analyseren en te optimaliseren.

De weerstand van een schip wordt veroorzaakt door verschillende factoren, onder meer de weerstand van het water op de romp, de weerstand van de schroef, de weerstand van de roeren en de weerstand van de boeg- en hekgolven. Bij hogere snelheden neemt de weerstand van het water op de romp van het schip toe, waardoor het vermogen dat nodig is om het schip voort te stuwten ook toeneemt.

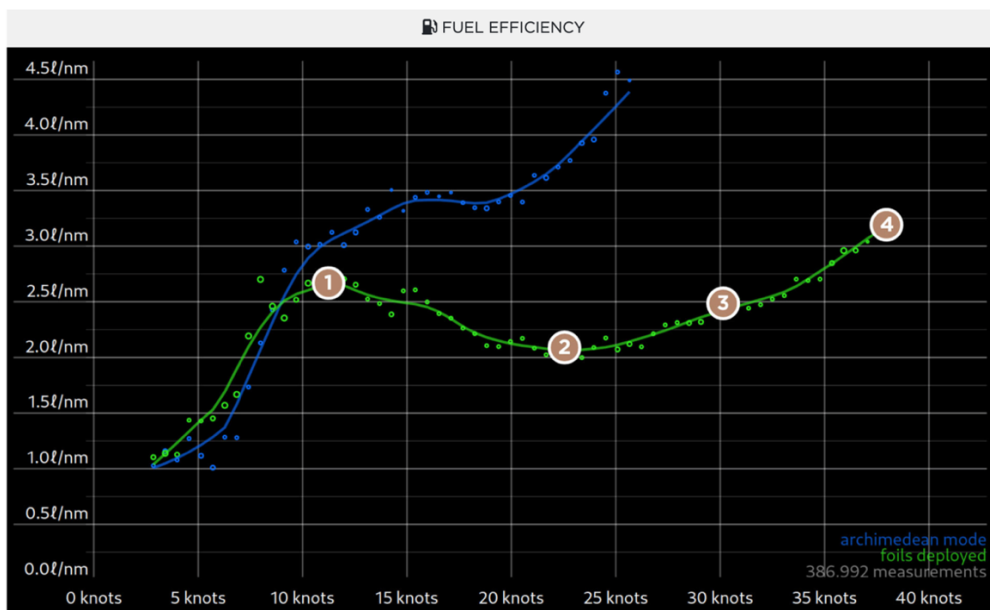
Bij het ontwerpen van schepen en voor het bepalen van de optimale vaarsnelheid en brandstofverbruik is de weerstandscurve een onmisbaar instrument. Door de curve te analyseren kan men de beste propeller grootte en -vorm bepalen om de weerstand te verminderen en de efficiëntie te verbeteren.



Figuur 7 Weerstandscurve draagvleugel

Bron: Besana (2015)

Figuur 7 hierboven is een voorbeeld van een weerstandscurve. Het is duidelijk te zien dat er een piek is die moet worden overschreden om tot hogere snelheden te komen waar er minder vermogen nodig is. Dit is waar de draagvleugels opereren en een verminderde weerstand bieden. Net na de piek vermindert de weerstand terwijl de snelheid blijft verhogen. Op dit punt planeert de romp als het ware en surft het op haar eigen golf. Net hierna beginnen de draagvleugels in werking te treden en komt de romp uit het water. Dit zorgt voor verdere daling in de weerstand. Vanuit een weerstandscurve is het eenvoudig om de ideale snelheid per vermogen voor een schip af te lezen.



Figuur 8 Brandstofefficiëntie van een draagvleugel

Bron: Foiler (2019)

Figuur 8 beschrijft het verbruik in liter per nautische mijl in vergelijking met de snelheid. Het is opmerkelijk dat de grafiek dezelfde karakteristieken vertoont als de eerder besproken weerstandscurven. De grafiek is gemaakt voor een schip dat met en zonder draagvleugels vaart. De blauwe lijn duidt de prestatie van het schip zonder draagvleugels aan en de groene lijn duidt de prestatie van het schip met draagvleugels aan.

Van 1 tot 9 knopen verbruikt het schip met draagvleugels meer, dan zonder draagvleugels. Bij lagere snelheden treden de draagvleugels nog niet in werking. Op dit moment zal het schip de vleugels door het water meeslepen zonder hier voordeel uit te halen. Dit zorgt voor een hoger verbruik. Daarom is het niet doeltreffend om draagvleugels toe te passen op schepen die geen hoge snelheden willen bereiken.

Bij ongeveer 9 knopen kruisen de lijnen en wordt het gunstig om draagvleugels toe te passen. Volgens de groene lijn bereiken we een dal rond 23 knopen, wat de optimale snelheid is in termen van brandstofverbruik. In vergelijking met de piek van de rompsnelheid, die zich rond 12 knopen bevindt, zal het schip minder brandstof verbruiken dan wanneer het aan 23 knopen vaart. Het gebruik van draagvleugels blijkt het meest efficiënt te zijn bij één specifieke snelheid. Hoewel het schip flexibel is in termen van vertragen of versnellen, resulteert dit in een hoger brandstofverbruik. Daarom is de toepassing van draagvleugels niet beperkt tot één enkele snelheid, maar de optimale dienstsnelheid met de laagste consumptie wel.

4 Case study: Veerdienst op de Schelde

In het kader van het onderzoek naar de toepassing van draagvleugels op commerciële vaartuigen, zullen we een waterverplaatsend vaartuig vergelijken met een vaartuig ondersteund door draagvleugels. Voor dit vergelijkend onderzoek is er gekozen voor twee veerboten, aangezien dit type schepen het meest profijt kan hebben van het gebruik van draagvleugels. Om het onderzoek lokaal te houden, is de Waterbusdienst op de Schelde geselecteerd als waterverplaatsend vaartuig. Als vaartuig ondersteund door draagvleugels is er gekozen voor de Fast Flying Ferry, omdat dit vaartuig vergelijkbare afmetingen en vermogen heeft als de Waterbus. Gedurende de casestudy zullen de prestaties van beide schepen vergeleken worden op de route van de Waterbus op de Schelde.

De Waterbus en de Fast Flying Ferry hebben een gelijkaardige afmeting. De Waterbus is 25,78 meter lang en heeft een rompsnelheid van 12,3 knopen. De Fast Flying Ferry is 27,6 meter lang en heeft een rompsnelheid van 12,7 knopen. Zowel de Waterbus als de Fast Flying Ferry zijn ontworpen om hoge snelheden op het water te bereiken. Ze hebben daarom een lage rompsnelheid om efficiënt over te gaan naar de planerende en vliegende fases.

4.1 De Waterbus 2407

De Waterbus is sinds 1 juli 2017 een veerdienst op de Schelde als reactie op het fileverkeer. De route bevat 8 haltes van Hemiksem tot aan Lillo. Ze heeft een proefperiode gekend op het Albertkanaal, maar dit was helaas geen succes, omwille van de snelheidsbeperking van 15 km/uur.



Figuur 9 De Waterbus

Bron: dewaterbus (2023)

Het schip is van het type Waterbus2407 gemaakt door Damen Shipyards Group. De Waterbus is 25,78 meter lang, 7,30 meter breed en heeft een diepgang van 1,02 meter. Ze kan 125 passagiers vervoeren en heeft een crew van 2 personen. Het schip heeft twee rompen en dus twee propulsie-eenheden. Met 375 kW per motor heeft het een totaal vermogen van 750 kW dat het schip kan voortstuwen aan 21,5 knopen of 40 km/uur. De Waterbus wordt geëxploiteerd door het bedrijf Aqualiner. Het Nederlands bedrijf bezit 8 boten voor de veerdienst op de Schelde, waarvan 7 conventionele schepen met een capaciteit van 125 passagiers en 1 groter vaartuig met een capaciteit van 248 passagiers (Bijlage A).

4.2 Fast Flying Ferry

De Fast Flying Ferry was de naam van de veerdienst over het Noordzeekanaal en het IJ tussen station Amsterdam centraal en Velsen. De veerdienst was in werking van 1998 tot 2014 en werd geëxploiteerd door Connexxion. De vier draagvleugelboten waren van het type Voskhod 2M-FFF. Na een paar ongevallen werd in 2012 omwille van veiligheidsredenen de vaarsnelheid verlaagd van 60 km/uur naar 50 km/uur. Hierdoor kon het schip minder vaak varen. De tijd die over de route 'Noordzeekanaal van Amsterdam Centraal naar Velsen' nodig was bedroeg voor 2012 zeventwintig minuten, na 2012 duurde het zessendertig minuten. Eerst voerden de boten elk half uur, maar sinds 2012 werd dit om de 40 minuten. De passagiersaantallen daalden na de overschakeling op een minder frequente dienstregeling met een langere reistijd. Uit een onderzoek in opdracht van de provincie Noord-Holland bleek dat er voor de draagvleugel verbinding geen rendabele toekomst meer was. De kostendekkingsgraad lag namelijk onder de 50 procent. (ProMedia Group, 2017)

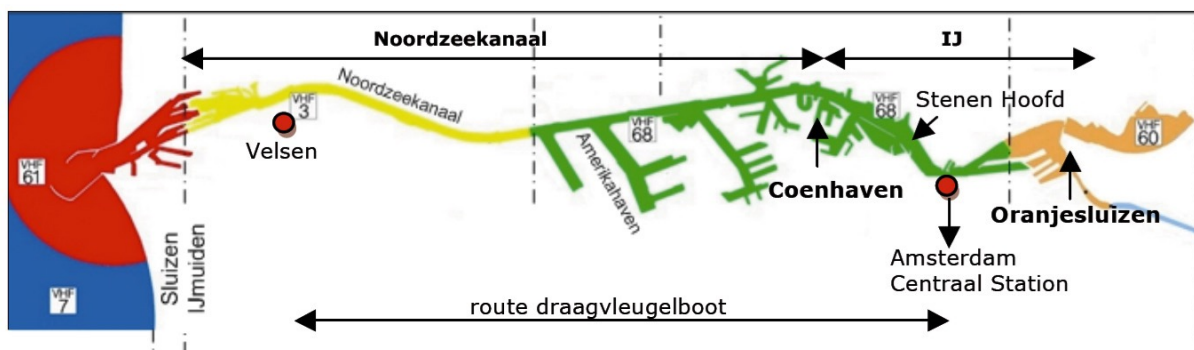
Het gebruikte vaartuig voor deze veerdienst is 27,6 meter lang, 6,4 meter breed en heeft een diepgang van 2,1 meter. Ze heeft de capaciteit om 71 passagiers en 3 crewleden te vervoeren. Het schip heeft 1 romp en maakt gebruik van *surface piercing foils*. Met één enkele propulsie-eenheid heeft het schip een vermogen van 788 kW dat het schip kan voortstuwen aan 32,4 knopen. ('SPKfleet', 2023)



Figuur 10 Fast Flying Ferry

Bron: ProMedia Group (2017)

Het Noordzeekanaal heeft een snelheidsbeperking van 18 km/uur, met een uitzondering aan het Stenen Hoofd, waar een maximumsnelheid van 12 km/uur geldt. De draagvleugelschepen zijn van deze maximumsnelheid ontheven door het Centraal Nautisch Beheer Noordzeekanaalgebied (De onderzoeksraad voor veiligheid, 2009).



Figuur 11 Route Fast Flying Ferry Noordzeekanaal

Bron: De onderzoeksraad voor veiligheid (2009)

4.3 Routebeschrijving Waterbus

De Waterbussen vertrekken vanuit hun thuisbasis in Zwijndrecht en varen elk naar hun respectieve beginhalte. De uiterste haltes op de route zijn Lillo en Hemiksem. We gaan ervan uit dat het traject van Lillo naar Hemiksem (of omgekeerd) gelijkstaat aan eenmaal de route. De reis begint in Lillo wanneer het schip klaar is voor vertrek en eindigt in Hemiksem wanneer het schip opnieuw klaar is voor vertrek. Voor dit onderzoek is de route vastgelegd met behulp van een gps-toestel, hieruit blijkt dat de afstand tussen Lillo en Hemiksem 27,6 km bedraagt.



Figuur 12 Route Waterbus

Bron: dewaterbus (2023)

De route van de Waterbus bevat 8 haltes. Voor dit onderzoek nemen we aan dat het schip aan elke halte 5 minuten stopt om passagiers van en aan boord te laten gaan. Volgens de dienstregeling duurt het 1 uur 30 minuten om van Lillo tot Hemiksem te varen. De regeling houdt rekening met wachttijden, aanmeren, vertragen en versnellen per halte.

ma. - vrij. → Hemiksem

LILLO	LIEFKENSHOEK	KALLOSLUIS	ZWIJNDRECHT	SINT ANNA	STEENPLEIN	KRUIBEKE	HEMIKSEM
-	-	05:22	05:29	05:50	06:00	06:17	06:30
05:30	05:35	05:52	05:59	06:20	06:30	-	07:00
06:00	06:05	06:22	06:29	06:50	07:00	07:17	07:30
06:30	06:35	06:52	06:59	07:20	07:30	-	08:00
07:00	07:05	07:22	07:29	07:50	08:00	08:17	08:30
07:30	07:35	07:52	07:59	08:20	08:30	08:47	09:00
08:00	08:05	08:22	08:29	08:50	09:00	09:17	09:30
08:30	08:35	08:52	08:59	09:20	09:30	09:47	10:00
09:00	09:05	09:22	09:29	09:50	10:00	10:17	10:30

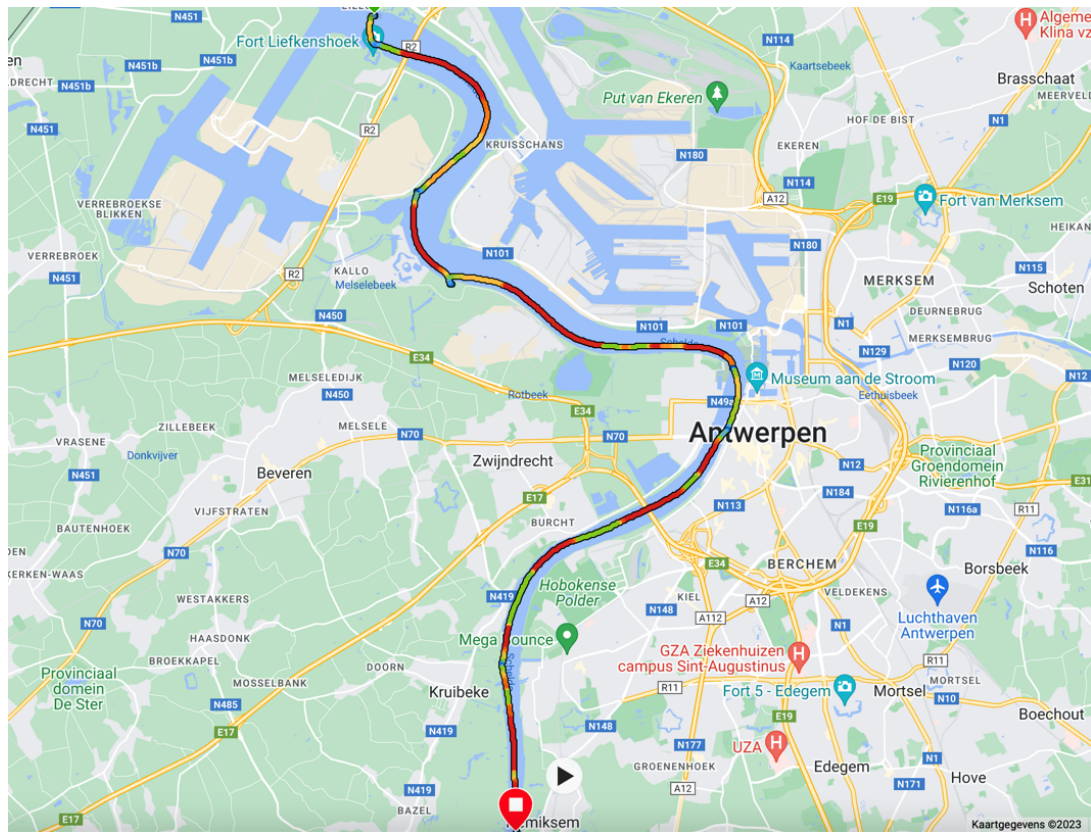
Figuur 13 Dienstregeling Waterbus

Bron: dewaterbus (2023)

De Waterbus moet één keer de route afleggen binnen een tijdsbestek van 1 uur en 30 minuten om de dienstregeling nauwkeurig te volgen. Dit betekent dat het schip een evenwicht moet vinden tussen niet te snel en niet te langzaam varen, zodat het op het geplande tijdstip bij de haltes aankomt. Als het schip te langzaam vaart, moet het ergens anders tijd kunnen inhalen. Als het schip te snel vaart, heeft het wat speling bij de volgende halte. Volgens de dienstregeling wordt er gedurende 18 uur en 30 minuten per dag gevaren. We gaan ervan uit dat alle operationele schepen gedurende deze periode in bedrijf zijn.

4.4 Variabele snelheid

Een Waterbus onderhoudt bij benadering een dienstsnelheid van 40 km/uur, hoewel deze snelheid niet voortdurend constant blijft. Het schip past zijn snelheid aan afhankelijk van de omstandigheden. Verscheidene factoren kunnen van invloed zijn op de snelheid, zoals naderende schepen, aangemeerde schepen en golfslag veroorzaakt door wind en stroming. In Figuur 14 kunt u aan de hand van kleuren zien hoe en waar de Waterbus vaart, evenals waar het schip stilstaat. Rood duidt op het varen op de dienstsnelheid, groen geeft aan waar vertraging optreedt en blauw markeert plaatsen waar het schip stil heeft gelegen. Figuur 14 is het resultaat van een eigen meting, door de route met de Waterbus af te leggen en de gegevens vast te leggen.



Langzamer  Sneller

Figuur 14 Route Waterbus met snelheid

Bron: eigen werk

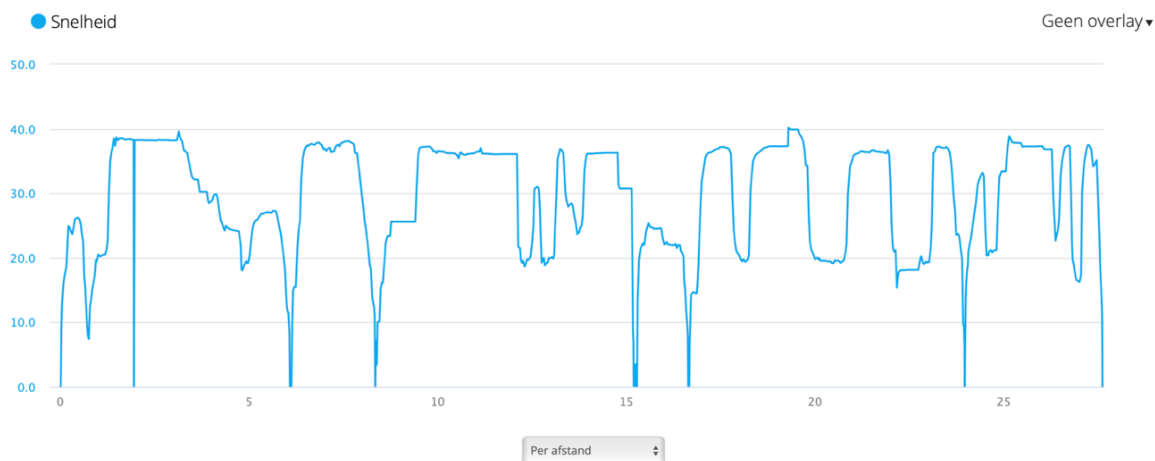
Wanneer haltes dicht bij elkaar liggen zal het schip niet versnellen tot aan 40 km/uur. Dit is het geval voor de afstand tussen Lillo – Liefkenshoek en Sint-Anna – Steenplein. Tussen deze haltes bereikt het schip een maximumsnelheid van 25 km/uur. Hiermee wordt rekening gehouden in verdere berekeningen. We nemen aan dat de snelheid tijdens het versnellen en vertragen evenredig toeneemt. Met deze aanname kunnen we stellen dat de gemiddelde snelheid tijdens versnellen en vertragen 20 km/uur is.

Een Fast Flying Ferry bereikt doorgaans een dienstsnelheid van ongeveer 60 km/uur. In verdere berekeningen gaan we ervan uit dat deze snelheid wordt gehaald op de locaties waar de Waterbus zijn dienstsnelheid bereikt. Voor de afstanden tussen Lillo – Liefkenshoek en Sint-Anna – Steenplein wordt eveneens een snelheid van 25 km/uur aangenomen. Wat betreft de snelheid tijdens het versnellen en vertragen, gebruiken we opnieuw de gemiddelde snelheid van 30 km/uur. We houden geen rekening met de verlengde tijdsduur die nodig is om 20 km/uur sneller te versnellen dan de Waterbus. Er zijn geen beperkingen op de snelheid op de

Schelde. Dit wordt bevestigd door de diensten van de Waterlimo-boten, die met 60 km/uur varen en bekend staan om hun luxetransport op hoge snelheid (Waterlimo, 2021).

4.4.1 Vertragen voor golfslag

De noodzaak om golfslag te verminderen is de reden waarom de Waterbus regelmatig moet vertragen. De Schelde is een drukbevaren waterweg waar zowel tegemoetkomende vaartuigen als aangemeerde schepen aanwezig zijn. Om deze andere schepen niet te hinderen, vermindert de Waterbus zijn snelheid. Het exacte moment en de locatie waarop het schip moet vertragen, varieert van dag tot dag. In Figuur 15 wordt de snelheid per afstand langs de route van de Waterbus weergegeven. Uit de gps-meting blijkt dat de Waterbus 8 keer heeft moeten vertragen om de golfslag te verminderen. We nemen aan dat het gemiddelde van 8 keer vertragen een representatieve hoeveelheid is.



Figuur 15 gps-snelheid meting

Bron: eigen werk

Op deze locaties hoeft een draagvleugelschip niet te vertragen. Wanneer een draagvleugelschip eenmaal in de lucht is, veroorzaakt het slechts een minimale hoeveelheid golfslag die de andere schepen en de oevers niet verstoort. Dit voordeel wordt benut en daarom nemen we aan dat een Fast Flying Ferry niet hoeft te vertragen om golfslag te vermijden.

4.5 Totale tijd per route

Met de vastgestelde route en snelheden is het nu mogelijk om de totale tijd per route te berekenen. De vaartijd is berekend aan de hand van de snelheid en afstand. De totale tijd per route omvat zowel de vaartijd als de wachttijd bij elke halte. Voor een Waterbus zal de vaartijd 59 minuten en 58 seconden bedragen, resulterend in een totale tijd per route van 1 uur 34 minuten en 58 seconden. Aan de andere kant zal een Fast Flying Ferry 26 minuten en 50 seconden varen, met een totale tijd van 1 uur 1 minuut en 50 seconden per route. Door de snellere vaarsnelheid wint het draagvleugelschip 11 minuten en 52 seconden aan vaartijd. Bovendien, omdat we aannemen dat een Fast Flying Ferry geen golfslag veroorzaakt en dus niet hoeft te vertragen, gaat er hier nog eens 21 minuten en 16 seconden van. In dit geval heeft het vermijden van vertraging een groter voordeel dan een hogere snelheid.

Volgens de dienstregeling is elk schip in staat om gedurende 18 uur en 30 minuten te varen. Dit impliceert dat een Waterbus 11,69 keer per dag de route voltooid, wat gelijkstaat aan 93 haltes per dag. In vergelijking zal een Fast Flying Ferry 17,95 keer per dag de route kunnen afleggen en daarmee 143 haltes per dag kunnen bedienen.

4.6 Dienstregeling

Volgens het Waterbus-schema vertrekt er elke 30 minuten een schip in beide richtingen. De reistijd van Lillo naar Hemiksem met de Waterbus bedraagt 1 uur en 30 minuten. Dit betekent dat een volledige heen-en-terugreis van Lillo naar Hemiksem 3 uur in beslag neemt. Om een dienstregeling op te zetten waarbij elk halfuur een schip vertrekt in beide richtingen voor een totale reistijd van 3 uur, zijn 6 boten vereist. In de praktijk zijn er inderdaad 6 Waterbussen operationeel die gelijktijdig varen.

Vanuit de totale tijd per route is berekend dat een Fast Flying Ferry 1 uur en 2 minuten nodig heeft om van Lillo naar Hemiksem te varen. Uit deze berekening kunnen we ook afleiden dat de Waterbus een marge van 5 minuten heeft ten opzichte van de dienstregeling. Om de berekening voor een Fast Flying Ferry te vereenvoudigen, nemen we aan dat het schip een totale tijd van 1 uur nodig heeft per route. Hierdoor duurt een volledige heen-en-terugreis van Lillo naar Hemiksem 2 uur. Voor een dienstregeling waarbij om het half uur een schip vertrekt in beide richtingen op een traject van 2 uur, zijn er 4 boten nodig.

Als we een marge nemen op de totale tijd per route voor een Fast Flying Ferry en aannemen dat het 1 uur en 15 minuten duurt om één keer de route af te leggen, dan zal een volledige heen-en-terugreis van Lillo naar Hemiksem 2 uur en 30 minuten duren. Wanneer we rekening houden met de dienstregeling, waarbij om het half uur een schip moet vertrekken in beide richtingen, zullen er 5 boten nodig zijn.

4.7 Tarieven

De tarieven van de waterbus worden onderverdeeld in 4 zones en variëren naar gelang welke zone je gebruikt. Een kleine zone kost minder dan een grote zone, bijvoorbeeld zone 2 en 4 bestaan uit elk 2 haltes. Als je van Lillo naar Hemiksem wil verplaatsen dan moet je 2 zones door en dus 2 ritten betalen. Eén enkele rit in een grote zone (zone 1 of 3) kost 4 euro. De rit van Lillo naar Hemiksem kost dus 8 euro. Om dit te vereenvoudigen nemen we aan dat het 1 euro per halte kost, aangezien er 8 haltes zijn.

Volgens een artikel van de VRT namen in 2022, 774 040 passagiers de Waterbus namen (Van Landeghem, 2023). We stellen dat de Waterbus 365 dagen per jaar in dienst is. De route wordt bevaren door 6 schepen tegelijkertijd. Dit leidt tot een gemiddelde van 353 passagiers per schip per dag. We stellen dat iedere passagier gemiddeld 4 haltes vaart. Dit betekent dat elke Waterbus 1412 euro per dag verdient aan tickets.

In het hoofdstuk Dienstregeling is er berekend dat er 4 Fast Flying Ferry's nodig zijn om de dienstregeling van de Waterbus te behouden. Met 774 040 passagiers per jaar zal elk schip 530 passagiers vervoeren per dag. Met dezelfde stelling dat iedere passagier 4 haltes vaart en 1 euro per halte betaalt, zal elke Fast Flying Ferry 2120 euro per dag verdienen aan tickets.

Wanneer er rekening wordt gehouden met een marge op de totale tijd per route en er 5 Fast Flying Ferry's ter beschikking zijn, zal elk schip 424 passagiers per dag vervoeren. We behouden de aanname dat elke passagier 4 haltes vaart en 1 euro per halte betaalt. Elk schip van de 5 draagvleugelschepen zal dan 1696 euro per dag verdienen aan tickets.

4.8 Verbruik

Om de kostprijs aan brandstof per ferry per dag te berekenen moeten we te weten komen hoeveel brandstof de schepen verbruiken. Beide schepen varen op diesel en hebben een gelijkaardige hoeveelheid vermogen.

De kostprijs voor marine gas oil (MGO) kan je op het internet vinden en wordt uitgedrukt in dollar per metrische ton. Met de wisselkoers van 22 april 2023 zijn de waardes omgezet naar euro per metrische ton. Voor beide schepen zijn technische fiches van de geïnstalleerde motoren te vinden (Volvo, 2017) (MTU, 2007). De waarden in de technische fiches staan in liter/uur. Daarom werd de kostprijs voor MGO omgezet naar euro per liter met behulp van de densiteit van diesel. Uit deze berekening weten we dat MGO 0,479655 euro per liter kost.

De Waterbus 2407 heeft twee motoren van VolvoPenta, meer specifiek het model IPS-650/D11. In de technische fiche staat een grafiek voor het brandstofverbruik per RPM. Tijdens het interview met de kapitein van een Waterbus, Bijlage B, werd er gevraagd naar het toerental bij verschillende snelheden en wanneer het schip aangemeerd ligt. Wanneer het schip aangemeerd ligt, wordt er gebruik gemaakt van de motoren om langszij te blijven aan een toerental van 700 RPM per motor. Om een verminderde golfslag te creëren vaart de Waterbus aan 20 km/uur en heeft het schip een toerental van 1300 RPM. De vaarsnelheid tussen Lillo – Liefkenshoek en Sint-Anna – Steenplein bedraagt 25 km/uur, omdat deze haltes niet ver uit elkaar liggen. Het toerental voor een snelheid van 25 km/uur werd door middel van interpolatie berekend. De dienstsnelheid van een Waterbus is 40 km/uur, deze snelheid komt overeen met een toerental van 2100 RPM. In de onderstaande tabel kan u deze waarden terugvinden. Merk op dat het toerental in RPM per motor wordt gegeven. Ook wordt het verbruik in liter per uur gegeven. Dit is bekomen met behulp van de verbruikgrafiek in de technische fiche. Het verbruik in de tabel is niet per motor, maar al voor beide motoren samengeteld.

Tabel 1 Verbruik per toerental van een Waterbus

Bron: Eigen werk

Snelheid (km/u)	Toerental (RPM) per motor	Verbruik (liter/u)	Verbruik (liter/km)
0	700	10	0
20	1300	50	2,5
25	1500	64	2,56
40	2100	160	4

Om het verbruik tijdens het versnellen en vertragen te berekenen nemen we aan dat het schip tijdens het versnellen een toerental van 2100 RPM heeft en tijdens het vertragen een toerental van 700 RPM.

Een Voskhod 2M-FFF is uitgerust met een MTU-motor, meer specifiek het model 12V 2000 M70. Uit de technische fiche voor dit type motor is het gekend dat voor 788 kW aan 2100 RPM de motor 198,4 liter/u verbruikt. Het laagste toerental is 1200 toeren en komt overeen met een verbruik van 38 liter/u. Dit wordt gebruikt om langs zij te blijven aan een halte. Eerder is er gesteld dat het schip tussen de twee dicht bijeen gelegen haltes aan 25 km/u vaart. Het toerental en dus verbruik voor deze snelheid werd bekomen door middel van interpolatie. In onderstaande tabel kan u deze waarden terugvinden. Om het verbruik tijdens het versnellen en vertragen te berekenen werd er net zoals als bij de Waterbus aangenomen dat de motor tijdens het versnellen aan 2100 toeren draait en tijdens het vertragen aan 1200 toeren draait.

Tabel 2 Verbruik per toerental van een Voskhod 2M-FFF

Bron: eigen werk

Snelheid (km/u)	Toerental (RPM)	Verbruik (liter/u)	Verbruik (liter/km)
0	1200	38	0
25	1575,00	127,11	5,08
60	2100	198,4	3,3

Het verbruik in liter per kilometer kan dienen als criterium voor het vergelijken van beide schepen. Hoewel het draagvleugelschip meer verbruikt bij het varen op dienstsnelheid, resulteert de hogere snelheid in een lager verbruik per kilometer. Bij lagere snelheden is het verbruik van de Waterbus gunstiger.

Met bovenstaande gegevens is het mogelijk om het verbruik per onderdeel te berekenen en te analyseren. In onderstaande tabellen wordt het verbruik voor beide schepen overzichtelijk weergegeven. De blauwe getallen geven aan waar de schepen 25 km/uur voeren.

Tabel 3 Verbruik Waterbus2407

Bron: eigen werk

Waterbus2407

Halte	Verbruik Vertragen	Verbruik Versnellen	Verbruik volle snelheid	Verbruik stilliggend	Verbruik uitzonderlijke vertraging
Lillo		1,68	0,84	0,83	
Liefkenshoek	0,11	5,52	7,12	0,83	4,88
Kallosluis	0,21	3,92	4,80	0,83	
Zwijndrecht	0,28	9,36	13,32	0,83	3,78
Sint Anna	0,26	1,84	2,48	0,83	
Steenplein	0,09	4,08	13,28	0,83	6,24
Kruikeke	0,20	3,92	6,44	0,83	2,82
Hemiksem	0,09		0,00	0,83	
Totaal	1,23	30,32	48,29	6,67	17,72
Totaal verbruik per route (liter)					104,22
Totaal verbruik per dag (liter)					1218,19
Kost per route					49,99
Kost per dag					584,31

Tabel 4 Verbruik Fast Flying Ferry

Bron: eigen werk

Voskhod 2M-FFF

Halte	Verbruik Vertragen	Verbruik Versnellen	Verbruik volle snelheid	Verbruik stilliggend
Lillo			1,39	1,68 3,17
Liefkenshoek	0,28		4,56	5,89 3,17
Kallosluis	0,53		3,24	3,97 3,17
Zwijndrecht	0,71		7,74	11,01 3,17
Sint Anna	0,65		1,52	4,93 3,17
Steenplein	0,22		3,37	10,98 3,17
Kruikeke	0,49		3,24	5,32 3,17
Hemiksem	0,23			0,00 3,17
Totaal	3,10		25,06	43,78 25,33
Totaal verbruik per route (liter)				97,28
Totaal verbruik per dag (liter)				1746,09
Kost per route				46,66
Kost per dag				837,52

Het totale brandstofverbruik per route voor een Fast Flying Ferry is iets lager dan dat voor een Waterbus. Echter het dagelijkse totale brandstofverbruik voor een Fast Flying Ferry is hoger dan dat voor een Waterbus. Dit komt doordat een Fast Flying Ferry 17,95 keer per dag de route kan afleggen, terwijl een Waterbus dit slechts 11,69 keer kan doen.

In het hoofdstuk Dienstregeling werd bepaald dat er 6 Waterbussen nodig zijn om een halfuur dienst in beide richtingen te behouden. Het dagelijkse totale brandstofverbruik voor deze 6 schepen is 7309 liter. Dat komt neer op een kost van 3506 euro per dag aan diesel. Als we aannemen dat dezelfde dienstregeling kan worden gehandhaafd met 4 Fast Flying Ferry's, zal het dagelijkse totale brandstofverbruik voor deze 4 schepen 6984 liter zijn. Dat resulteert in een kost van 3350 euro per dag aan diesel. Uit de berekeningen blijkt dat het inzetten van 4 snellere schepen zonder golfslag een besparing van 156 euro per dag aan dieselbrandstof zou opleveren.

In het geval van 5 draagvleugelschepen zal het dagelijkse totale brandstofverbruik voor deze 5 schepen samen 8730 liter zijn, wat neerkomt op een kost van 4188 euro per dag aan diesel. Het brandstofverbruik en de kost ervan zijn nu aanzienlijk hoger dan die van een Waterbus. Hieruit kunnen we concluderen dat het inzetten van 5 snelle schepen, zelfs als ze geen last hebben van golfslag, een extra kostenpost van 682 euro per dag met zich mee zou brengen.

4.8.1 Verbruik per passagier per kilometer

Het verbruik in liters per passagier per kilometer is een maatstaf voor het vergelijken van het brandstofverbruik tussen verschillende vervoermiddelen. Dit kan variëren afhankelijk van het type voertuig en de omstandigheden, zoals weersomstandigheden, brandstoftype, snelheid en verkeerssituatie.

De Waterbus in Antwerpen heeft een capaciteit van 125 passagiers. De totale route van de Waterbus op de Schelde is 27,64 kilometer lang, gemeten tussen de uiterste punten. Uit de eerder berekende gegevens weten we dat de Waterbus 104,22 liter diesel verbruikt voor één enkele route, wat neerkomt op 3,771 liter per kilometer. Wanneer de Waterbus volledig beladen is met 125 passagiers, bedraagt het verbruik 0,030 liter per kilometer per passagier.

Een Fast Flying Ferry heeft een capaciteit van 71 passagiers. Volgens de berekeningen verbruikt dit schip 97,28 liter diesel voor één enkele route, wat overeenkomt met 3,519 liter

per kilometer. Bij een maximale belasting van 71 passagiers heeft de Fast Flying Ferry een verbruik van 0,050 liter per kilometer per passagier.

Als we het jaarlijkse aantal passagiers in beschouwing nemen, 774040 in 2022, en ervan uitgaan dat de Waterbus gedurende 18 uur en 30 minuten per dag, 365 dagen per jaar in bedrijf is, dan kunnen we het gemiddelde aantal passagiers per uur berekenen (Van Landeghem, 2023). Met de dienstregeling van 6 schepen komt dit neer op gemiddeld 19 passagiers per uur. Hierdoor zou het brandstofverbruik per kilometer per passagier voor de Waterbus uitkomen op 0,198 liter.

In het hoofdstuk over de Dienstregeling werd berekend dat er 4 Fast Flying Ferry's nodig zijn om de dienstregeling van de Waterbus te handhaven, wat neerkomt op gemiddeld 29 passagiers per uur. Dit zou leiden tot een brandstofverbruik van 0,121 liter per kilometer per passagier voor de Fast Flying Ferry. In het geval van 5 draagvleugelschepen zou het gemiddelde passagiersaantal per uur 23 zijn, met een brandstofverbruik van 0,153 liter per kilometer per passagier.

Uit deze berekeningen kunnen we concluderen dat de Waterbus een gunstiger brandstofverbruik per passagier per kilometer heeft wanneer deze op volledige capaciteit wordt benut. Echter, als we het gemiddelde passagiersaantal per uur per schip in beschouwing nemen, presteert de Fast Flying Ferry beter op het gebied van brandstofverbruik per passagier per kilometer. Het gebruik van kleine, snelle schepen zonder golfslag resulteert in een gunstiger brandstofverbruik per passagier per kilometer.

4.9 Brandstofefficiëntie vs. Ticketopbrengsten

We zullen de dagelijkse opbrengst van een schip berekenen door de brandstofkosten te vergelijken met de ticketverkoop. Deze berekening biedt een helder inzicht in de efficiëntie van de schepen bij het uitvoeren van de route en dienstregeling van de Waterbus op de Schelde op dagelijkse basis.

Een Waterbus heeft dagelijks een brandstofkost van 584,31 euro aan diesel en genereert een ticketopbrengst van 1414 euro. Het verschil tussen de ticketverkoop en de brandstofkosten resulteert in een cashflow van 829,69 euro per schip, wat zich vertaalt naar een totale dagelijkse cashflow van 4978,14 euro voor alle 6 schepen samen.

Voor een Fast Flying Ferry, met 4 schepen in gebruik, bedragen de dagelijkse brandstofkosten 851,65 euro aan diesel, terwijl de ticketverkoop 2121 euro oplevert. Het verschil tussen de dagelijkse ticketopbrengst en de brandstofkosten resulteert in een cashflow van 1291,31 euro per schip. Gezamenlijk komt dit neer op een totale dagelijkse cashflow van 5165,24 euro voor de 4 draagvleugelschepen. Ten opzichte van de Waterbusdienst levert de dienst met 4 Fast Flying Ferry's 187,1 euro meer op.

Bij inzet van 5 draagvleugelschepen blijft de brandstofkost per schip onveranderd, terwijl de dagelijkse ticketopbrengst 1697 euro bedraagt. Hieruit volgt een cashflow van 845,35 euro per schip, wat leidt tot een totale dagelijkse cashflow van 4226,75 euro voor de 5 draagvleugelschepen samen. In vergelijking met de Waterbus resulteert een dienstregeling met 5 Fast Flying Ferries in een ongunstige situatie, met een dagelijks verlies van 751,39 euro.

4.10 Ongevallenanalyse

Om de beperkingen en nadelen van draagvleugels te onderzoeken werd er gekeken naar de ongevallen van zowel de Fast Flying Ferry op het Noordzeekanaal als de ongevallen van de Waterbus op de Schelde. Beide schepen zijn gericht op het transporteren van passagiers, waarbij het van groot belang is dat de veiligheid te allen tijde kan worden gewaarborgd.

4.10.1 Ongevallen van de Fast Flying Ferry's op het Noordzeekanaal

De veerdienst op het Noordzeekanaal tussen Amsterdam en Velsen heeft enkele ongevallen meegemaakt voor de dienst werd opgeheven. In de periode tussen 2002 – 2009 hebben zich 6 voorvallen voorgedaan. Drie van deze voorvallen werden onderzocht door de onderzoeksraad. Namelijk de voorvallen in 2003, 2007 en 2009. Later is er ook een studie naar de veiligheid van personenvervoer op het Noordzeekanaal en het IJ uitgevoerd (De onderzoeksraad voor veiligheid, 2009). De 3 onderzochte ongevallen worden hier verder uitgelegd.

Op 18 oktober 2003 verloor een Fast Flying Ferry het roer waardoor het schip tegen de kademuur botste in het Westelijk havengebied net voorbij de Coenhaven. 21 personen raakten gewond en de ferry werd zwaar beschadigd. In het ongevalsrapport werd er vermeld dat het schip aan 60 km/uur tegen de kade is gevaren. Als resultaat van de aanvaring werd de romp in de lengterichting van het gangpad opengereten. Het zicht tijdens het voorval was

goed. De staat van onderhoud was erg zorgwekkend. Er werden geen technische gebreken vastgesteld. Na een onderzoek bleek dat er kennissen hadden plaatsgenomen in de stuurhut, waardoor de gevaarlijke koers te laat was waargenomen. Omstandigheden waarbij passagiers in de omgeving van de bestuurder aanwezig zijn, wordt aan boord van een Fast Flying Ferry niet toegestaan.



Figuur 16 Ongeval 18 oktober 2003

Bron: De onderzoeksraad voor veiligheid (2009)

De ochtend van 8 oktober 2007 ontstond een aanvaring tussen een patrouillevaartuig van de Koninklijk Marechaussee en een draagvleugelboot van het type Fast Flying Ferry plaats. De vaartuigen naderden elkaar in de tegengestelde richting. Het patrouillevaartuig moest uitwijken voor een kraan vaartuig uitwijken waardoor het in een kruisende koers kwam met het draagvleugelschip. De bestuurder van het patrouillevaartuig had het draagvleugelschip niet opgemerkt door de beperkte zichtbaarheid. De radarbeelden werden verkeerd geïnterpreteerd. Hierbij dacht de bestuurder van het patrouillevaartuig dat het draagvleugelschip een valse echo was. De schipper van het draagvleugelschip had zijn vaarsnelheid niet aangepast aan de heersende zichtomstandigheden. Vanwege de hoge snelheid en korte afstand was het draagvleugelschip niet in staat om een volledig uitwijkmanoeuvre uit te voeren. Vervolgens raakte de boeg van het patrouillevaartuig de bakboord achterzijde van het draagvleugelschip. Er raakten verschillende passagiers op het draagvleugelschip gewond, waarvan enkele lichtgewond en 1 zwaargewonde met een wervelbreuk. Ook de schipper van het patrouillevaartuig raakte gewond.



Figuur 17 Ongeval 8 oktober 2007

Bron: De onderzoeksraad voor veiligheid (2009)

Op 2 februari 2009 strandde een draagvleugelschip in het Noordzeekanaal ter hoogte van de Westhaven. Op de boot zaten ongeveer 25 passagiers waarvan 1 vrouw lichtgewond raakte. Het vaartuig voer in de richting van Amsterdam met een snelheid van 60 km/uur. Kort na het binnenvaren van de Westhaven zwenkte het draagvleugelschip naar stuurboord en stopte het op de oever van het Noordzeekanaal. De schipper trachtte bij te sturen om de stranding te voorkomen. Een onderzoek naar de werking van het roer werd daarom uitgevoerd. Hieruit bleek dat het besturingsstelsel volledig in werking was.



Figuur 18 Ongeval 2 februari 2009

Bron: De onderzoeksraad voor veiligheid (2009)

In het onderzoek werden de beperkingen van een Fast Flying Ferry beschreven. Het duurt 31 seconden voordat een Fast Flying Ferry volledig stil staat. In deze tijd heeft het schip tussen de 190 en 280 meter afgelegd. De draaicirkel van een Fast Flying Ferry is tussen de 860 en 960 meter bij dienstsnelheid. De onderzoeksraad heeft uit de studie vastgesteld dat de uitwijkmogelijkheden voor draagvleugelschepen beperkt zijn. Hierbij wordt verwezen naar het uitwijken aan een snelheid van 60 km/uur. Op een korte tijd en grote afstand moet de schipper tijdig een uitwijkmanoeuvre inzetten om aanvaringen te voorkomen. Tijdens slechte zichtomstandigheden of onverwachte koerswijzigingen van andere schepen, op een korte afstand van het draagvleugelschip, heeft de schipper onvoldoende tijd om te anticiperen. Het schip heeft een klein roerooppervlak en laterale weerstand van de vleugels. Dit wil zeggen dat

het bij lage snelheden moeilijker te manoeuvreren is. Bij hoge snelheden zal de manoeuvreerbaarheid enkel achteruitgaan.

Volgens de wetgeving van het Rijnvaartpolitiereglement (RPR) is elk schip dat sneller dan 40 km/uur vaart, een snel schip. Hieruit volgt dat snelle schepen altijd voorrang moeten verlenen aan andere vaarweggebruikers. Deze verkeersregel is voortgekomen uit de redenering dat normale niet snelle schepen moeilijk kunnen uitwijken voor een snel varend schip. Doordat het Noordzeekanaal aan diverse havens gelegen is, is er veel kruisend verkeer. In combinatie met de beperkte uitwijkmogelijkheden is het volgens het onderzoek onmogelijk om altijd aan de zojuist genoemde verkeersregel te voldoen.

4.10.2 Ongevallen van de Waterbus op de Schelde

Op 9 december 2019 botste de Waterbus tegen de kade tussen Hemiksem en Steenplein. Op het moment van de botsing was het uitzonderlijk slecht weer. Veel stroming en ook een slechte zichtbaarheid door de regen. Net voor het aanmeren botste het schip tegen de hoek van de steiger aan het Sint-Anna strand. Er raakten 18 personen gewond, waarvan enkele werden afgevoerd naar het ziekenhuis. De meeste verwondingen kwamen voor in het aangezicht, omdat de passagiers door de klap tegen de stoel voor hen gekatapulteerd werden. Er waren ook enkele nekkachten en 1 persoon waarvan het bekken gebroken was. De Waterbus zelf liep flink wat schade op, namelijk een groot gat in de romp. Er was echter geen gevaar op zinken. Er werd een onderzoek uitgevoerd waarin een deskundige vaststelde dat de schipper een te hoge snelheid had op het moment van aanleggen. Door zijn hoge snelheid kon hij onvoldoende anticiperen op de stroming en de wind.



Figuur 19 Ongeval 9 december 2019

Bron: De Standaard (2019)

De avond van 23 juni 2020 vond een aanvaring tussen de Waterbus en een speedbootje plaats. De 3 mensen uit het speedbootje vielen in de Schelde en raakten licht onderkoeld, maar moesten niet naar het ziekenhuis worden overgebracht. Het ongeluk gebeurde tussen de haltes Sint-Anna en Steenplein. De speedboot raakte beschadigd, de Waterbus niet. De Waterbus volgde zijn normale route, waardoor er een vermoeden was dat de bestuurder van de speedboot een inschattingsfout had gemaakt. (Jan, 2020)

Uit de ongevallen van de Waterbus kunnen we concluderen dat weersomstandigheden een invloed hebben op de veiligheid van het vaartuig. Ook heerst er een sterke stroming op de Schelde, waar de bestuurder zich van bewust moet zijn tijdens het manoeuvreren. Over een dienst van bijna 6 jaar heeft de Waterbus nog maar 2 ongevallen meegemaakt. In beide ongevallen is er sprake geweest van menselijke fouten.

4.10.3 Potentiële beperkingen

De manoeuvreerbaarheid van een Fast Flying Ferry wordt beperkt door de laterale weerstand van de vleugels en het klein roerooppervlak. De route op de Schelde heeft twee plaatsen waar het schip moet manoeuvreren om van stroomafwaarts naar stroomopwaarts te gaan of omgekeerd. Dit gebeurt uiteraard op de twee meest uiterlijke haltes namelijk, Lillo en Hemiksem. Een Fast Flying Ferry is uitgerust met een boegschroef dat het meest efficiënt is bij lage snelheden. Het is mogelijk om te keren na een halte waar het schip heeft stilgelegen. Het schip heeft dan een lage snelheid, waardoor de boegschroef optimaal kan gebruikt worden. Een Waterbus is uitgerust met twee propulsie-eenheden waardoor het gemakkelijker kan manoeuvreren dan het draagvleugelschip. De manoeuvreerbaarheid van een Fast Flying Ferry is in deze situaties meer dan voldoende, maar het draagvleugelschip zal er mogelijk langer over doen.

Beperkte zichtbaarheid is voor elk schip een mogelijk gevaar. Het is aangeraden om extra waakzaam te zijn tijdens dit soort omstandigheden. Zowel in de ongevallen op het Noordzeekanaal als op de Schelde werd een slechte zichtbaarheid vernoemd als een mogelijke factor die tot het ongeval bijdroeg. Om de veiligheid bij beperkte zichtbaarheid te waarborgen is een mogelijke oplossing, de snelheid van beide type schepen te verminderen. Deze oplossing kan ervoor zorgen dat de schepen niet de huidige dienstregeling kunnen volgen, waardoor het mogelijk moet worden aangepast.

Op beide schepen zijn ongevallen veroorzaakt door menselijke fouten, het toelaten van passagiers op de brug bij de Fast Flying Ferry en het verkeerd inschatten van de snelheid op de Waterbus. Op de Schelde en het Noordzeekanaal zijn er verkeersregels voor snelle vaartuigen. Er zijn geen specifieke extra vereisten voor training of vaardigheden voorzien. Het instellen van strikte veiligheidsregels aan boord voor zowel passagiers als bemanning, gecombineerd met een training voor de crew, kan helpen om herhaling van dergelijke ongevallen te voorkomen.

Wat geen ongeval heeft veroorzaakt, maar wel mogelijk een beperking kan opleveren, is de maximale golfhoogte. Het fenomeen van "ventileren" kan optreden wanneer een luchtbel zich rondom het draagvlak van de vleugel vormt. Op dat moment zal de vleugel zijn opwaartse kracht verliezen en min of meer uit de lucht "vallen". Dit kan resulteren in een aanzienlijke impact op de romp van het schip, wat tot schade kan leiden of zelfs tot letsel bij de passagiers. Ventilatie van een draagvleugel treedt op wanneer het schip over golven met een korte frequentie vaart. De maximale golfhoogte waarbij een Fast Flying Ferry op de draagvleugels kan blijven varen is 1,3 meter. Wanneer het schip niet op de draagvleugels vaart, kan het golven tot 2 meter aan ('SPKfleet', 2023). De Schelde is over het algemeen een rustig vaarwater, maar op locaties waar de wind en stroming tegen elkaar inwerken, kunnen golven tot 1,5 meter hoogte voorkomen, zoals aangegeven door een kapitein van een Waterbus, Bijlage B.

4.11 Infrastructuur

Draagvleugels komen voor in verschillende maten en vormen. Dit brengt bij ons de vraag naar boven of er een aangepaste infrastructuur nodig is, zoals een verdiept vaarwater of speciale aanmeervereisten.

Tijdens de tocht met de Waterbus over de Schelde werd de diepte bij elke halte genoteerd. Hieruit weten we dat de halte in Zwijndrecht het kleinste waterpeil heeft, namelijk 5,6 meter. Om zeker te zijn dat een Fast Flying Ferry met een diepgang van 2,1 meter niet tegen de grond zou lopen aan de halte van Zwijndrecht werd het exacte waterpeil berekend. Ook het waterpeil voor Kruisschans werd berekend, dat de dichtstbijzijnde plaats in de getijtafels van België is. Op het moment van de meting stond er 5,6 meter water. Uit de getijberekening is het geweten dat, dicht bij de halte van Zwijndrecht, er 2,1 meter boven de LAT (lowest

astronomical tide) stond. Dit betekent dat er een LAT van 3,5 meter is in Zwijndrecht en dat er altijd 1,4 meter onder de draagvleugels van een Fast Flying Ferry zal staan.

De stijgers die de Fast Flying Ferry dienst op het Noordzeekanaal gebruikte, hebben geen opmerkelijk verschillen met de stijgers die de Waterbus gebruikt. De draagvleugels steken voor een stuk uit langs de zijkant van het schip. Dit heeft echter geen invloed op de manier waarop het schip zal aanmeren.



Figuur 20 Aangemeerde Fast Flying Ferry

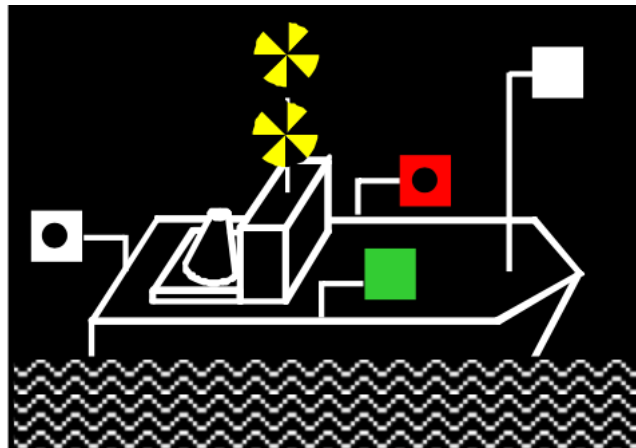
Bron: AT5 (2015)

4.12 Regelgeving

Varen aan een hogere snelheid brengt een verhoogd risico met zich mee. Om de veiligheid van het snelle schip en andere schepen rondom te waarborgen werden er aangepaste vaarregels en vereisten gemaakt. Reglementen voor zee- en binnenvaart kunnen verschillen van land tot land. In dit onderzoek zullen we de regels voor de binnenvaart gebruiken. Vereisten worden gezien als voorwaarden waaraan de uitrusting, de werking en het onderhoud moeten aan voldoen om de veiligheid van het schip te waarborgen.

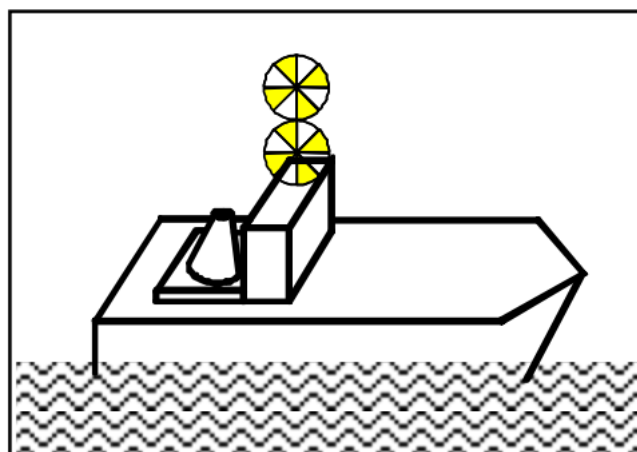
Het Algemeen Politiereglement voor de scheepvaart op de binnenwateren (APSB) is de regelgeving op het Belgisch waterwegennet (FOD, 2006). Volgens de APSB is een snel schip, een groot motorschip dat meer dan 40 km/u ten opzichte van het water kan varen. Tijdens een kruisende koers moeten snelle schepen steeds voorrang geven, ongeacht de grootte, de koers of de soort van het schip. Ook tijdens een tegengestelde koers zijn snelle schepen verplicht voorrang te geven voor elk ander schip, ongeacht de stroomrichting. Wanneer twee snelle schepen elkaar naderen, dienen beide vaartuigen via de marifoon afspraken te maken

over hun ontmoeting. Het reglement schrijft voor dat het gebruik van radar voor snelle schepen tijdens de vaart verplicht is. In het APSB worden er lichtseinen beschreven voor snelle schepen die het overdag en 's nachts naast de overige tekens moet voeren. De afspraken zijn namelijk twee gele rondom schijnende snelle flikkerlichten, in een verticale lijn met een onderlinge afstand van 1 m.



Figuur 21 Optische tekens van een snel schip 's nachts

Bron: FOD (2006)



Figuur 22 Optische tekens van een snel schip overdag

Bron: FOD (2006)

Het internationaal verdrag voor de veiligheid van mensenlevens op zee (International Convention for the Safety of Life at Sea, het SOLAS-verdrag) stelt per vaargebied de eisen waaraan zeeschepen op gebied van opbouw, uitrusting en bemanning moeten voldoen. De uitrusting omvat radioapparatuur en veiligheidsuitrusting, zoals reddingsboten, reddingsvlotten en brandbestrijdingsmiddelen. In de SOLAS staat een high-speed crafts code geschreven voor passagiersschepen. De code is geschreven voor snelle vaartuigen op internationale reizen. Wanneer een schip voldoet aan de provisie van de code zal het een

High Speed Craft Safety Certificate ontvangen. De omvang van het onderzoek beperkt zich tot de Schelde in Antwerpen. De high-speed crafts code is dus niet van toepassing, maar het bestaan van de code is noemenswaardig. (IMO, 1996)

5 Snelheid versus verbruik

Op de weerstandscurve, Figuur 8, is te zien dat het schip bij 5 knopen minder verbruikt dan bij 23 knopen. Dit roept de vraag op of het efficiënter is om meer brandstof te verbruiken voor een hogere snelheid of dat het zuiniger is om langzamer te varen en zo minder te verbruiken?

Om deze vraag te beantwoorden, nemen we enkele veronderstellingen in overweging. We kiezen voor de Fast Flying Ferry als referentieschip. Laten we aannemen dat er altijd voldoende passagiers zijn om het schip volledig te laden. De dienstsnelheid van het langzamere schip is vastgesteld op 10 km/uur, vanwege de lage snelheid wordt er geen rekening gehouden met acceleratie. Wat betreft het brandstofverbruik van het langzamere schip wordt er uitgegaan van het laagste toerental, namelijk 1200 toeren, wat overeenkomt met een verbruik van 38 liter per uur. De snelheden en het verbruik van het snellere schip blijven ongewijzigd. Hierbij wordt wel rekening gehouden met acceleratie. Beide schepen hoeven geen rekening te houden met golfslag. Het langzamere schip vaart niet snel genoeg om significante golfslag te veroorzaken, terwijl het snellere schip op draagvleugels vaart.

De routeberekening voor het snelle schip werd eerder al besproken en duurt 1 uur, 1 minuut en 50 seconden. Het trage schip doet in totaal 3 uur, 20 minuten en 50 seconden over de route. Het verbruik van het snelle schip is te vinden in Tabel 4, terwijl het verbruik van het trage schip in Tabel 5 hieronder staat. Na een vergelijking blijkt dat het trage schip per route meer verbruikt, omdat het 2 uur en 19 minuten langer onderweg is. Dit resulteert ook in hogere kosten per route. Het totale verbruik en de dagelijkse kosten zijn voor het tragere schip lager. Dit is te wijten aan het feit dat het tragere schip de route slechts 5,53 keer per dag kan afleggen, terwijl het snelle schip de route 17,95 keer per dag kan voltooien.

Tabel 5 Verbruik langzaam schip

Bron: eigen werk

Verbruik volle snelheid	Verbruik stilliggend
2,05	3,17
19,49	3,17
8,02	3,17
26,41	3,17
6,50	3,17
27,06	3,17
14,82	3,17
0,68	3,17
<hr/>	<hr/>
105,03	25,33
<hr/>	<hr/>
Totaal verbruik per route	130,37
<hr/>	<hr/>
Totaal verbruik per dag	720,50
<hr/>	<hr/>
Kost per route	62,53
<hr/>	<hr/>
Kost per dag	345,59

Er is uitgegaan van de veronderstelling dat er altijd voldoende passagiers zijn om de schepen volledig te laden, wat het berekenen van een dagelijkse opbrengst mogelijk maakt. Het snelle schip kan dagelijks 143 haltes bedienen, wat resulteert in een dagelijkse ticketomzet van 10195 euro. Na aftrek van de brandstofkosten bedraagt de dagelijkse opbrengst 9358 euro. Het tragere schip bedient 44 haltes per dag, wat leidt tot een ticketomzet van 3139 euro. De dagelijkse opbrengst voor het tragere schip is 2794 euro.

Uit de analyse blijkt dat een trager schip minder verbruikt omdat het dagelijks een kortere afstand aflegt, wat resulteert in 34% minder dagelijkse dieselkosten. Door de kortere afstand bedient het echter ook minder haltes, wat leidt tot lagere inkomsten uit de ticketverkoop. Alles in rekening genomen is de totale dagelijkse opbrengst voor een sneller schip 70% meer dan voor een trager schip.

6 De opkomst en ondergang van operationele draagvleugelschepen

Tijdens de opkomst van snel varende schepen in de jaren '80 waren draagvleugelschepen bijzonder in trek. Deze schepen met draagvleugels werden wereldwijd in diverse landen gebruikt. Hoewel het abstracte type vaartuig vandaag de dag minder vaak voorkomt worden ze nog steeds ingezet.

6.1 Operatieve diensten

Tegenwoordig zijn er nog operationele draagvleugelschepen te vinden in diverse landen, waaronder Griekenland, Hongarije, Bulgarije, Italië, China, Japan, Rusland en Oekraïne. Deze schepen worden hoofdzakelijk ingezet vanwege hun vermogen om snel over water te bewegen. In Griekenland worden deze schepen niet alleen gebruikt voor snelle overtochten, maar ook als onderdeel van de reiservaring voor cruises. Ze stellen passagiers in staat om meer tijd aan land door te brengen en populaire bezienswaardigheden te bezoeken (Joy cruises, 2023).

Hongarije maakt gebruik van draagvleugelschepen voor veerdiensten op de Donau-rivier. Momenteel wordt er nog steeds één van de laatst gebouwde Voskhod 2M-schepen uit 1985 ingezet voor deze doeleinden. De veerdienst wordt enkel van 28 april tot 1 oktober aangeboden op vrijdag, zaterdag en zondag. (Mahart Passnave, 2023).

Italië herbergt verschillende bedrijven die draagvleugelschepen inzetten voor passagiersvervoer over water. Een van deze bedrijven is Navigazione Laghi, dat een breed scala aan vaartuigen inzet voor veerdiensten op de drie meren: het Garda-, Como- en Maggioremeer. Het bedrijf bezit in totaal 99 veerboten, waaronder zowel moderne als authentieke modellen. Verspreid over de drie meren varen acht draagvleugelschepen die een luxe en snel transport bieden (Navigazione Laghi, 2023). De veerverbinding tussen de Eolische eilanden en Napels worden beheerd door SNAV, die een gevarieerde vloot aan veerboten bezit, waarvan het merendeel catamarans zijn en één draagvleugelschip. De bestemmingen van het draagvleugelschip zijn bezienswaardige locaties waar het meenemen van eigen vervoer niet noodzakelijk is. Op de overige schepen van hun vloot is er wel de mogelijkheid om voertuigen mee te nemen aan boord (SNAV, 2023). Liberty Lines, een andere onderneming, exploiteert negenentwintig schepen, waarvan negentien draagvleugelschepen voor diverse veerdiensten in de Middellandse Zee. Hun meest recente draagvleugelschip,

genaamd Carmine, werd te water gelaten in 2019. Het bedrijf heeft een geschiedenis met het gebruik van draagvleugelschepen, waarbij ze begonnen zijn met slechts één exemplaar. Liberty Lines bezit ook een aandeel van 33% in Rodriguez Shipyard, een scheepswerf die bekend staat om het produceren van draagvleugelschepen die wereldwijd worden ingezet. Op dit moment opereren er in totaal achtentwintig commerciële draagvleugelschepen onder de Italiaanse vlag (Liberty Lines, 2023).

In Japan worden Boeing 929 Jetfoil-schepen ingezet. Dit model staat bekend als het snelste type draagvleugelschip en kan snelheden tot wel 80 km/uur bereiken. Het is uitgerust met twee gasturbines die door middel van een waterstraal het schip voortstuwt. Het schip heeft twee draagvleugels die uit het water omhoog komen wanneer het aanmeert. De capaciteit varieert tussen 250 en 350 passagiers, afhankelijk van de grootte van het schip (Kawasaki, 2023). Momenteel zijn er vier verschillende veerdiensten die exclusief snel watervervoer aanbieden naast de gebruikelijke conventionele veerdiensten op dezelfde routes. In China wordt eveneens gebruik gemaakt van een Boeing 929 Jetfoil-schip voor de verbinding tussen Hongkong en Macau. Hier wordt ook de keuze geboden tussen een exclusief snel watervervoer of een conventionele veerboot.

Het meest recent geconstrueerde draagvleugelschip is het Russische model Kometa 120M, dat in De Krim, Oekraïne, zijn diensten verleent tussen Sevastopol en Yalta. Het schip heeft een capaciteit van 120 passagiers en een dienstsnelheid van 65 km/uur. Er bestaat één zusterschip dat eveneens actief is op de Zwarte Zee. De scheepswerf Vympel is momenteel bezig met de productie van nog eens drie schepen van het type Kometa 120M (Alexeev's Hydrofoil design bureau, 2017).

Uit de bovenstaande operationele draagvleugelveerdiensten kunnen we enkele conclusies trekken over de reden van het gebruik van draagvleugelschepen. In Griekenland profiteren cruises van de verhoogde snelheid, omdat passagiers zo meer tijd hebben om bezienswaardigheden te bezoeken. Het varen met een draagvleugelschip draagt zo bij aan de algehele ervaring. In Hongarije worden de schepen alleen in het hoogseizoen ingezet, wat kan bijdragen tot het verlichten van de drukte. De schepen op de Italiaanse meren worden niet alleen ingezet voor transport, maar ook als een ervaring op zich. In deze situaties fungeert het gebruik van draagvleugelschepen als een toeristische attractie, vergelijkbaar met een riviercruise aan boord van een authentiek schip. SNAV heeft één draagvleugelschip in hun

vloot, dat routes onderhoudt waar het meenemen van eigen transport niet noodzakelijk is. Het bedrijf Liberty Lines bezit een aandeel in de scheepswerf waar deze schepen worden vervaardigd en heeft een geschiedenis in het gebruik van draagvleugelschepen. In Japan en China worden de diensten zowel door conventionele veerboten als door draagvleugelveerboten verzorgd. De keuze voor de draagvleugeldienst biedt daarbij een luxueus en sneller transportalternatief. De productie van het Kometa 120M-model en het schip genaamd Carmine laten zien dat draagvleugelschepen voor specifieke doeleinden nog steeds hun waarde bewijzen.

6.2 Inactieve diensten

Van 1981 tot 1997 werd de route tussen Oostende en Ramsgate bediend door twee Boeing 929 draagvleugelschepen. Deze schepen werden aangeschaft door de Regie voor Maritiem Transport om te concurreren met de snelle autotreinen. Op 28 februari 1997 kwam er een einde aan de dagelijkse veerdienst tussen het Verenigd Koninkrijk en België. De nationale vervoersmaatschappij leed aanzienlijke verliezen en het beëindigen ervan werd geschat op een potentiële besparing van 25 miljard euro voor de overheid, volgens de toenmalige minister van Transport, De heer Daerden. De lijn tussen Oostende en Ramsgate werd overgenomen door de rederij Holyman Sally Ferries, waar veel werknemers van RMT terechtkwamen. Deze Australisch-Britse rederij maakte gebruik van snelle catamarans met een capaciteit van 655 passagiers en 155 voertuigen (Nieuwsblad Transport, 1998). Na een jaar kwam het bedrijf echter in financiële problemen, waarna Hoverspeed de helft van het bedrijf overnam en de naam veranderde in Hoverspeed Holyman Ltd. Hoverspeed achtte de verbinding tussen Oostende en Ramsgate niet de juiste keuze en veranderde de route naar Oostende - Dover. De haven van Dover was destijds de grootste veerhaven ter wereld en had een betere verbinding met Londen. Na vijf jaar werd ook deze verbinding stopgezet vanwege een afname in het aantal reizigers. Er bleef echter wel een verbinding tussen Oostende en Dover, evenals Ipswich, bestaan via vrachtferry's (GVA, 2002).

In 1965 werd het eerste draagvleugelschip in Sydney gelanceerd door de rederij Port Jackson & Manly Steamship Company (PJ&MSC). Het betrof een PT20-model van Hitachi, Kanagawa, genaamd "Manly", met een capaciteit van 75 passagiers. Deze dienst werd in het leven geroepen als reactie op een daling in het aantal passagiers in 1960 en leidde tot een halvering

van de vaartijd van 30 minuten naar 15 minuten. Na het succes van de "Manly II" werden er nog drie draagvleugelschepen besteld: de "Fairlight II" en "Dee Why", beide van het type Rodriguez PT50 met een capaciteit van 140 passagiers, en de "Curl Curl" van het type RHS140. De "Curl Curl" werd ingezet op de route van Circular Quay naar Gladesville. Helaas werd deze dienst niet lang voortgezet vanwege onaanvaardbare geluidsproblemen en de noodzaak van een reserveschip in geval van technische problemen (Andrews, 1994). In de opeenvolgende jaren kampte PJ&MSC met financiële moeilijkheden, wat uiteindelijk leidde tot hun overname door Brambels in 1972. Door de draagvleugelschepen te verkopen aan een financieel bureau en ze vervolgens terug te leasen, slaagden ze erin hun belastingen te verminderen. Ondanks de overname slaagde Brambels er niet in de draagvleugeldienst te verbeteren, waardoor deze uiteindelijk werd overgenomen door de regering van New South Wales in 1974. De regering verwierf nog twee tweedehands draagvleugelschepen van het type PT50 in 1975 en 1978. Later werden er in 1984/1985 nog twee RHS160F-schepen in gebruik genomen, elk met een capaciteit van 235 passagiers. Het werd duidelijk dat de korte route aanzienlijke spanningen veroorzaakte in de schepen, omdat ze gedurende een korte periode van stilstand direct naar volle kracht moesten gaan. De spanningen resulteerden in verhoogd onderhoud. De PT20- en PT50-modellen werden tegen 1985 uit dienst genomen. In 1990 verwierf de staat drie JetCat-catamarans. Gedurende een bepaalde periode werkten de catamarans en draagvleugelschepen samen op de Manly-route, maar uiteindelijk werden de draagvleugelschepen overbodig en verkocht. De JetCats ondervonden ook diverse problemen. De Blue Fin moest al snel een motorvervanging ondergaan en er was kritiek op de golfslag die ze genereerden. Het brandstofverbruik en de betrouwbaarheid van de catamarans waren niet beter dan die van de draagvleugelschepen. Nog geen tien jaar later begon men te overwegen de catamarans te vervangen door nieuwere, langzamere schepen (Grimm, 2002).

Het veerbedrijf Red Funnel verbindt het Engelse vasteland al meer dan 150 jaar met het Isle of Wight. Gedurende de jaren werden verschillende Italiaans vervaardigde draagvleugelschepen door Red Funnel gebruikt als snelle passagiersveerboten. De eerste Red Funnel Shearwater draagvleugelboot werd geïntroduceerd in 1969 en bracht een snelle passagiersdienst op gang tussen Cowes en Southampton. Het werd gevolgd door Shearwater II (1970), Shearwater III (1972), Shearwater IV (1973) en Shearwater VI (1982) (Wightpedia, 2021). Het probleem met het eerste model was dat het niet erg betrouwbaar was. Overtuigd dat er een markt was voor snelle schepen en dat de draagvleugel filosofie geschikt was, kocht

het bedrijf Shearwater II om de betrouwbaarheid te verbeteren. Dit bleek niet het geval te zijn en in plaats daarvan werd ze gebruikt als onderdelen om het oorspronkelijke draagvleugelschip te onderhouden. De komst van de nieuwe en verbeterde Shearwater III en IV met krachtige Mercedes-motoren bleek veel betrouwbaarder te zijn en werd de hoeksteen van de dienst. Ze kon 67 passagiers vervoeren en de oversteek maken in 23 minuten bij een snelheid van 32,5 knopen. De komst van Shearwater VI versterkte de hogesnelheidsdienst, omdat er nu voldoende reservevaartuigen waren om de veerkracht te vergroten en met piek vraagperiodes zoals Cowes Week aan te kunnen. Dit leidde tot de herintroductie van een winterdienst. Met de introductie van de Red Jet-klasse passagiersveerboten vanaf 1991 werden de draagvleugelschepen minder gebruikt en de laatste werd in 1999 verkocht (Red Funnel, 2018).

Condor Ferries is een exploitant van passagiers- en vrachtveerdiensten tussen het Verenigd Koninkrijk, Guernsey, Jersey en Frankrijk. Gedurende een periode van dertig jaar heeft het bedrijf gebruikgemaakt van draagvleugelschepen, die allemaal afkomstig waren van Rodriguez, Messina uit Italië. Condor 1 werd gebouwd in 1964 en was in dienst tot 1976. Ze werd het volgende jaar verkocht. Ze had een lengte van 27,89 meter en een bruto tonnage van 127. Haar kruissnelheid was 33 knopen en ze kon 140 passagiers vervoeren. Na enige experimenten werd de dienstregeling opgericht waarbij Condor 1 was gevestigd in Jersey en trips maakte naar St.-Malo, Guernsey en Sark. In 1969 en 1970 werd ze vergezeld door het gecharterde schip Condor 2, dat later vervangen werd door het grotere schip Condor 3 vanaf 1971, met een capaciteit van 136 passagiers. Het bedrijf was zeer tevreden over de prestaties van Condor 3 en kocht daarom het zusterschip Condor 4. Om de capaciteit te vergroten werd in 1976 Condor 5 aangeschaft, die diende als vervanger van Condor 1. Condor 6 was een catamaran die één jaar lang werd gecharterd als vervanging van Condor 3. De catamaran had dubbel de capaciteit van de Condor 3, maar had geen stabilisatoren zoals de draagvleugelschepen dat hebben, wat resulteerde in een slechte zeewaardigheid. In september 1986, na een staking van de bemanning van Sealink waardoor hun schepen niet konden varen tussen Groot-Brittannië en de Kanaaleilanden, besloot Condor om diensten te verlenen tussen Weymouth en de Kanaaleilanden, uitgevoerd met Condor 7. Met de introductie van de Red-Jet-klasse-passagiersveerboten in 1991 werden de draagvleugelschepen minder gebruikt en het laatste exemplaar werd in 1999 verkocht (Hurhaut, Pialat, 2018).

Van 1997 tot 2018 was er een snelle veerdienst tussen Tallinn en Helsinki in Estland, verzorgd door Linda Line. Het bedrijf begon in 1997 met drie draagvleugelschepen van het type Voskhod 2M, die later werden vervangen door catamarans vanwege onderhoudskosten en zeevaardigheid. De zeevaardigheid van de catamarans bleek echter niet optimaal te zijn, wat resulteerde in soms geannuleerde diensten vanwege slecht weer (Vahtla, 2017). In 2018 ging Linda Line failliet (Vahtla, 2018).

Na het bestuderen van inactieve draagvleugelveerdiensten, kunnen we enkele conclusies trekken. In de bovengenoemde gevallen werden alle draagvleugelschepen vervangen door snelle catamarans. Opmerkelijk is dat in drie van de vijf gevallen het gebruik van catamarans geen betere oplossing bleek te zijn. De Belgische veerdienst was niet rendabel, zelfs niet met catamarans, mede vanwege de aanwezigheid van de tunnel tussen Engeland en België. Interessant genoeg hadden geen van de bovengenoemde gevallen te maken met ongevallen, maar het onderhoud van de schepen werd vaak wel als punt van aandacht genoemd. Het is ook opvallend dat in drie van de vijf gevallen de schepen afkomstig waren uit Italië, waar tegenwoordig nog steeds 28 draagvleugelschepen actief zijn.

7 Duurzaamheid en Innovatie: Elektrische Draagvleugelschepen in de Moderne Scheepvaart

Antwerpen staat bekend om zijn milieubewuste benadering, zoals blijkt uit de lage-emissiezone. Het gebruik van een elektrisch draagvleugelschip is in dit opzicht aantrekkelijk, aangezien deze schepen geen uitstoot hebben en minimale golfslag veroorzaken.

7.1 Candela

Candela is een vooruitstrevend bedrijf met als missie het ontwikkelen van scheepvaart zonder brandstofverbruik. Hun oorspronkelijk schip, de Candela C-7, is een elektrisch pleziervaartuig dat indrukwekkende snelheden behaalt dankzij volledig ondergedompelde draagvleugels. In 2020 werd dit vaartuig het meest verkochte elektrische schip in Europa.

In het laatste kwartaal van 2023 zal Candela hun nieuwste mijlpaal bereiken met de lancering van de Candela P-12 shuttle, een elektrische hogesnelheidsveerboot. Dit baanbrekend schip zal in Stockholm in het veerbootnetwerk opereren. Tijdens het jaar 2024 zal het schip een uitgebreide testperiode ondergaan om de prestaties en mogelijkheden ervan te evalueren.



Figuur 23 Candela P-12

Bron: Candela (2022)

De Candela P-12 shuttle zal volledig elektrisch opereren mits men de juiste energiebron gebruikt, zal het geen CO₂ uitstoten. Dankzij de verminderde weerstand die de draagvleugels bieden, wordt verwacht dat de energieconsumptie 86% lager zal zijn dan bij een traditionele veerboot.

Het schip zal 252 kWh aan batterijcapaciteit aan boord hebben en een voortstuwingssysteem van slechts 88 kW (Candela, 2023). In vergelijking hiermee zijn de Waterbus en de Fast Flying Ferry uitgerust met voortstuwingssystemen van respectievelijk 750 kW en 788 kW. Dankzij het gebruik van composietmaterialen is het schip aanzienlijk lichter dan een traditionele veerboot. Hierdoor kan het met behulp van draagvleugels snelheden tot wel 32 knopen behalen. De opmerkelijke energie-efficiëntie die wordt bereikt door elektrische voortstuwing in combinatie met draagvleugels, maakt het mogelijk om kleinere, lichtere batterijen te gebruiken zonder in te leveren op prestaties.

7.2 Energiedichtheid

Energiedichtheid verwijst naar de hoeveelheid energie die in een bepaald systeem of materiaal is opgeslagen per eenheid van volume of massa. Het kan worden beschouwd als de hoeveelheid energie die in een bepaalde ruimte of hoeveelheid gewicht aanwezig is. Dit concept wordt in de natuurkunde gebruikt om de energetische inhoud van brandstoffen, batterijen en andere energieopslagsystemen te beschrijven. Een hogere energiedichtheid betekent dat er meer energie per eenheid wordt opgeslagen.

De energiedichtheid van een batterij hangt af van het type batterij en de gebruikte chemie. Batterijen hebben over het algemeen een veel lagere energiedichtheid in vergelijking met andere opslagsystemen zoals fossiele brandstoffen. De energiedichtheid van lithium-ion batterijen varieert tussen de 50 tot 260 Wh/kg (Etekware, 2022). In vergelijking met 12200 Wh/kg van benzine en 11860 Wh/kg van diesel is dit ontzettend laag (Joost, z.d.). Er wordt nog altijd veel onderzoek gedaan naar het verbeteren van de energiedichtheid van batterijen, wat in de toekomst mogelijks hogere prestaties kan opleveren.

Uit een gesprek met het bedrijf Candela is gebleken dat ze van plan zijn om batterijen uit elektrische auto's, specifiek van het merk Polestar, te gebruiken. Hierdoor kunnen we afleiden dat de Candela P-12 gebruik zal maken van lithium-ion batterijen ('Polestar', 2023). De

beperkte energiedichtheid van batterijen roept echter de vraag op of een draagvleugelschip wel in staat is om dit extra gewicht te dragen.

7.2.1 Gewichtsberekening

De gewichtsberekening voor de batterijen is uitgevoerd met de eerdergenoemde eenheden. We nemen aan dat de batterijen van hoge kwaliteit zijn en dus de best mogelijke energiedichtheid van 260 Wh/kg hebben. Van Candela werd een brochure ontvangen met specificaties van het schip (Candela, 2023). Hieruit blijkt dat het schip een totale batterijcapaciteit van 252 kW zal hebben. Met behulp van deze gegevens kunnen we het gewicht van de batterijen berekenen, dat neerkomt op 969 kg. Op de website wordt een totaalgewicht van 8,5 ton vermeld, inclusief passagiers. Dit betekent dat de batterijen 11,4% van het totale gewicht uitmaken.

Een P-12 shuttle is ontworpen om 30 passagiers te vervoeren. Uit het gesprek met het bedrijf werd er vernomen dat er per passagier wordt gerekend met een gewicht van 100 kg. Dit komt neer op een maximum van 3000 kg aan passagiersgewicht. Het schip is ontworpen om slechts één persoon als bemanningslid te accommoderen. Dit brengt het totale gewicht aan personen aan boord op 3100 kg. Het gewicht van een leeg schip zelf is 5400 kg, waarbij de batterijen 19% van dat gewicht uitmaken.

7.3 Batterij oplaadtijd

Met een 252 kW-batterij streeft Candela ernaar afstanden van wel 60 nautische mijlen, oftewel 111 kilometer, af te leggen. Uit de *Case study: Veerdienst op de Schelde* blijkt dat elke Waterbus dagelijks meer dan 300 km aflegt. Dit impliceert dat het elektrische vaartuig meerdere keren per dag moet worden opgeladen. Volgens de belofte in hun brochure kan het bedrijf de batterij in 1 uur en 5 minuten opladen van 10% naar 85% capaciteit. Om een batterij van 252 kWh, in die tijd op te laden, is een DC-lader van 175 kW nodig. Laders met een capaciteit van 175 kW worden beschouwd als snelle laders en zijn al geruime tijd op de markt verkrijgbaar. Tesla produceert laders van 250 kW, specifiek voor hun eigen auto's. Andere bedrijven, zoals ABB, specialiseren zich in de productie van snelle laders en bieden zelfs een lader van 360 kW aan (ABB, 2023). Met dit soort oplader duurt het 32 minuten om van 10% naar 85% op te laden.

7.4 Integratie van Candela P-12 Schepen op de Waterbus Route

Het integreren van Candela P-12 schepen op de Waterbus route is haalbaar. Er zijn enkele kwesties die moeten worden aangepakt. Het belangrijkste probleem is dat een elektrisch vaartuig minstens 1 uur moet worden opgeladen, na ongeveer 70 kilometer. De Waterbus dienstregeling is continu en vergelijkbaar met de werking van conventionele bussen, wat betekent dat de schepen nooit langer dan 10 minuten stilstaan.

Een mogelijke bijkomende zorg is dat de Candela P-12 slechts maximaal 30 passagiers kan vervoeren. In het eerder vermelde interview met de kapitein van de Waterbus, Bijlage B, wordt aangegeven dat een aanzienlijk aantal werknemers van Katoennatie de Waterbus voor hun woon-werkverkeer gebruikt. Dit komt neer op een gemiddelde van 50 werknemers die tegelijkertijd de Waterbus nemen.

8 Conclusie

Draagvleugels worden voornamelijk toegepast bij vaartuigen met hoge snelheden, vooral bij *high-speed crafts* waarbij de reistijd een cruciale rol speelt. Ze worden vaak ingezet voor het vervoeren van passagiers over zowel korte als lange afstanden. De basisprincipes van hydrodynamica en de technologie achter draagvleugels zijn niet nieuw, maar recente vooruitgang in constructiematerialen en de zoektocht naar emissievrij transport hebben geleid tot een hernieuwde interesse in draagvleugeltechnologie.

In de casestudie die is uitgevoerd tussen de Waterbus en de Fast Flying Ferry, is onderzocht welke voordelen de toepassing van draagvleugels op de route van de Waterbus in Antwerpen kan bieden. Uit de casestudie kunnen enkele conclusies worden getrokken. Het creëren van golven leidt ertoe dat de Waterbus moet vertragen om verstoring van omliggende vaartuigen te voorkomen. Een draagvleugelschip veroorzaakt geen golven zodra de romp volledig boven het water uitkomt. Dit resulteert in tijdsbesparing voor de Fast Flying Ferry en maakt een snellere bediening van de volgende halte mogelijk. Met een dienstsnelheid die 20 km/uur hoger ligt dan die van de Waterbus, kan het draagvleugelschip ook op dit vlak tijdwinst behalen en de haltes sneller bereiken. De uiteindelijk bespaarde tijd stelt de Fast Flying Ferry in staat om dezelfde dienstregeling als de Waterbus te handhaven met slechts vier schepen in plaats van zes.

Uit de berekeningen van het brandstofverbruik kan er geconcludeerd worden dat één enkele Fast Flying Ferry meer brandstof verbruikt dan één Waterbus. Wanneer echter het volledige dienstschema in beschouwing wordt genomen, inclusief alle schepen op de route, blijkt dat het gebruik van vier Fast Flying Ferries resulteert in een beter totaal brandstofverbruik. Daardoor zijn de dagelijkse kosten lager in vergelijking met de Waterbus. Om een marge te nemen in de analyse, zijn de berekeningen in de casestudie ook uitgevoerd voor een scenario met vijf Fast Flying Ferries. Hieruit kunnen we afleiden dat het toevoegen van een extra draagvleugelschip een ongunstig effect zal hebben op het dagelijkse brandstofverbruik en dus meer kosten met zich mee zal brengen dan bij het gebruik van een Waterbus. Verder werd met enkele aannames, die voor beide type schepen gelden, de dagelijkse opbrengst berekend. De berekening werd weer gemaakt voor vier en vijf Fast Flying Ferry's ten opzichte van de huidige zes Waterbussen. Omdat de Fast Flying Ferry-dienst minder schepen kan gebruiken zal het verkoop aan tickets per schip hoger liggen, alsook het verbruik. Ondanks het hoger

verbruik resulteert de dienst met vier draagvleugelschepen in een gunstigere situatie. Het inzetten van vijf draagvleugelschepen is ongunstig ten opzichte van de Waterbus.

De casestudie gaat verder met een ongevallen analyse waarbij potentiële beperkingen werden waargenomen. Bij het toepassen van draagvleugels wordt de manoeuvreerbaarheid van het schip beperkt bij lage snelheden vanwege de extra laterale weerstand. Zelfs bij hoge snelheden is de manoeuvreerbaarheid van het schip slechter dan die van een Waterbus, voornamelijk vanwege de beperkte uitwijkmogelijkheden, die voor alle snelle schepen van toepassing zijn. Deze beperkingen kunnen echter worden gelimiteerd door een ervaren bestuurder die beschikt over de juiste vaardigheden om met deze situaties om te gaan. Zowel op de Waterbus als op de draagvleugelschepen hebben ongevallen plaatsgevonden als gevolg van menselijke fouten. Het implementeren van strikte veiligheidsregels aan boord is gericht op de bescherming van passagiers en bemanning. De regels in combinatie met een grondige training voor het personeel zouden mogelijks een oplossing bieden om ongevallen te vermijden. Een aanvullende beperking die geen ongeval heeft veroorzaakt op het Noordzeekanaal, maar wel relevant is, betreft de maximale golfhoogte waarbij draagvleugels effectief kunnen worden ingezet. Hoewel de Schelde doorgaans als rustig vaarwater wordt beschouwd, kunnen op locaties waar wind en stroming tegen elkaar inwerken, golven tot 1,5 meter hoogte voorkomen.

Om de geschiktheid van de route op de Schelde voor draagvleugelschepen te bevestigen, is de infrastructuur ervan zorgvuldig geanalyseerd. Gezien het feit dat draagvleugels de afmetingen van een schip vergroten, is specifiek gekeken naar de aanlegmogelijkheden. Op het Noordzeekanaal waren geen speciale aanpassingen nodig om de Fast Flying Ferry-schepen te accommoderen, aangezien ze aan conventionele steigers kunnen aanleggen. Een cruciale overweging was of er voldoende waterdiepte beschikbaar is om vastlopen te voorkomen. Een berekening werd uitgevoerd voor de ondiepste halte, waaruit bleek dat er altijd voldoende water onder de draagvleugels zou zijn.

Bij het vergelijken van het verbruik met de snelheid werd duidelijk dat een trager schip minder brandstof verbruikt vanwege de kortere dagelijkse afstand die het aflegt, wat leidt tot een reductie van 34% in de dagelijkse dieselkosten. Door deze kortere afstand bedient het ook minder haltes, wat resulteert in verminderde ticketinkomsten. Alles overwogen, is de totale dagelijkse opbrengst van een sneller schip 70% hoger dan die van een trager schip. Hieruit

volgt dat draagvleugelschepen pas efficiënt zijn wanneer ze kunnen opereren op hun optimale snelheid. De snelheidsbeperking voor de Fast Flying Ferry-dienst op het Noordzeekanaal leidde tot een ongunstig brandstofverbruik.

Om inzicht te krijgen in de redenen waarom het gebruik van draagvleugels minder gebruikelijk is dan voorheen, is er ook onderzoek gedaan naar zowel actieve als niet-actieve draagvleugel diensten. Uit de analyse van actieve diensten kan worden geconcludeerd dat draagvleugels worden ingezet voor de aanzienlijk hogere snelheid, hun aantrekkingskracht op toeristen en als een luxueuze en snelle alternatieve optie. De operationele diensten benadrukken dat het gebruik van draagvleugels nog steeds relevant is en dat er zelfs nieuwe schepen worden gebouwd die van deze technologie profiteren. Uit het onderzoek naar inactieve diensten kunnen we concluderen dat het gebruik van draagvleugels niet rendabel is. Van de vijf onderzochte diensten werden er twee volledig stopgezet, terwijl in de overige drie gevallen de draagvleugelschepen werden vervangen door catamarans. De overgang naar catamarans werd verwacht om het onderhoud te vereenvoudigen, maar in werkelijkheid bood dit geen oplossing. Opvallend is dat geen van de stopzettingen werd gemotiveerd door veiligheidskwesaties. De stopzetting van de Fast Flying Ferry-dienst was ook voornamelijk te wijten aan onvoldoende rendabiliteit, mede door het afgenomen aantal passagiers en de hoge kosten.

In het laatste hoofdstuk van het onderzoek werd het concept van de Candela P-12 onderzocht, een elektrische veerboot met draagvleugels. Dit vaartuig, ontwikkeld door het bedrijf Candela, bestaat momenteel nog niet en daarom zijn alleen theoretische gegevens beschikbaar. Er is een kritische analyse uitgevoerd van het gewicht van de batterijen, gezien batterijen over het algemeen een lagere energiedichtheid hebben in vergelijking met traditionele brandstoffen. Een gewichtsberekening op basis van de beloofde specificaties van Candela wijst uit dat het batterijgewicht geen groot probleem zou moeten zijn. Bovendien zijn enkele duidelijke uitdagingen geïdentificeerd, zoals de laadtijd van het schip en de verminderde capaciteit ervan. Uit deze bevindingen kunnen we concluderen dat het bestaande Waterbus systeem niet geschikt is voor een Candela P-12. Er zou wellicht een ander werkingsmodel kunnen worden toegepast waarbij het schip niet voortdurend in bedrijf hoeft te zijn.

9 Bibliografie

ABB. (2023). Terra 360 lader. *ABB*. Geraadpleegd 12 augustus 2023, van <https://global.abb/group/en/about>

Aerotoolbox. (2021). NACA. Geraadpleegd 15 februari 2021, van <https://aerotoolbox.com/naca-4-series-airfoil-generator/>

Alexeev's Hydrofoil design bureau. (2017). Kometa 120M. *Alexeev's Hydrofoil design bureau*. Geraadpleegd 8 augustus 2023, van <http://www.ckbspk.ru/en/products/suda-na-podvodnyih-kryilyah/kometa-120m/>

Andrews, G. (1994). *Ferries of Sydney*.

AT5. (2015, 13 januari). SP wil Fast Flying Ferry nieuw leven inblazen. Nederland. Geraadpleegd van https://www.at5.nl/artikelen/139334/sp_wil_fast_flying_ferry_nieuw_leven_inblazen

Barczak, N. (2021). Rompsnelheid. *DMSONline*. Geraadpleegd 17 april 2023, van <https://www.dmsonline.us/the-truth-of-hull-speed-how-to-break-the-sailing-speed-limit/>

Besana, G. (2015). *Computational Methods for Hydrofoil Design*. (University of Southampton).

Candela. (2022). Candela C-12. Geraadpleegd 4 april 2023, van <https://candela.com/p-12-shuttle/>

Candela. (2023). Brochure Candela.

De onderzoeksraad voor veiligheid. (2009, 1 december). De veiligheid van personenvervoer met draagvleugelboten op het Noordzeekanaal en het IJ.

De Standaard. (2019, 9 december). Veertien gewonden na botsing waterbus. Geraadpleegd van https://www.standaard.be/cnt/dmf20191209_04757891

De Waterbus. (2023, 7 februari). Geraadpleegd van <https://www.dewaterbus.be/nl>

Doane, C. (2010, 26 maart). Hull speed. *Boats.com*. Geraadpleegd 17 april 2023, van <https://www.boats.com/reviews/crunching-numbers-hull-speed-boat-length/>

Enata. (2019). Foiler. *Foiler*. Geraadpleegd 9 april 2023, van <https://foiler.com/page/eco->

conscious

Etekware. (2022, 4 september). Energiedichtheid lithium-ion batterijen. *Etekware*. Geraadpleegd 22 juli 2023, van <https://etekware.com/nl/energy-density-lithium-ion-battery/>

FOD, maritiem vervoer. (2006, 24 september). Algemeen Politierglement voor de Scheepsvaart op de Binnenwateren.

Grimm, M. (2002, 1 juni). Classic fast ferries.

GVA. (2002, 7 januari). Hoverspeed stopt ferrydienst op Engeland. Oostende. Geraadpleegd van <https://www.gva.be/cnt/oid176854>

Hurhaut, Pialat, A. H., Benjamin H, Loïc P. (2018). Brittany seas ships. Geraadpleegd 10 augustus 2023, van <https://brittany-seas-ships.jimdofree.com/condor-ferries/condor-ferries-past-fleet/condor-5/>

IMO. (1996, 1 januari). High Speed Craft. Geraadpleegd 25 juli 2023, van <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/HSC.aspx>

Jan, S. (2020, 24 juni). Geen gewonden bij aanvaring tussen waterbus en speedboot in Antwerpen. Geraadpleegd van <https://www.scheepvaartkrant.nl/nieuws/geen-gewonden-bij-aanvaring-tussen-waterbus-en-speedboot-antwerpen>

Jeff Hilton. (2021). Pegasus klasse. Geraadpleegd 5 december 2021, van <https://nl.wikipedia.org/wiki/Draagvleugelboot>

Joost, D. (z.d.). Calorische waarde. *Calorische waarde*. wetenschappelijk, . Geraadpleegd 22 augustus 2023, van https://www.joostdevree.nl/shtmls/calorische_waarde.shtml

Joy cruises. (2023). Joy cruises. Geraadpleegd 9 augustus 2023, van <https://joycruises.gr>

Kawasaki. (2023). JETFOIL Mini-Encyclopedia. *KHI JPS CO.,LTD*. Geraadpleegd 8 augustus 2023, van <https://www.khi.co.jp/corp/kjps/english/emini/emini1.html>

Liberty Lines. (2023). Liberty lines. Geraadpleegd 8 augustus 2023, van https://www.libertylines.it/en/company/our-fleet/?_gl=1*13ji0oz*_up*MQ..*_ga*OTY0NzM4NTc3LjE2OTE3NDIzMjQ.*_ga_ZES3NG3CXH*MTY5MTc0NDc3Ni4yLjAuMTY5MTc0NDc3Ni4wLjAuMA..

Mahart Passnave. (2023). Mahart Passnave. Geraadpleegd 9 augustus 2023, van <https://mahartpassnave.hu/en/about-us/curiosity/mahart-hydrofoil-fleet>

Matthew Sheahan. (2015). Vleugelprofiel. Geraadpleegd van <https://www.yachtingworld.com/special-reports/the-foiling-phenomenon-66269>

MTU. (2007). MTU 12v&16v2000m70.

Navigazioneelaghi. (2023). Navigazioneelaghi. Geraadpleegd 9 augustus 2023, van <https://www.navigazioneelaghi.it>

Nieuwsblad Transport. (1998, 7 maart). Ramsgate vervangen door Dover; Hoverspeed verwerft belang Holyman Sally. Oostende. Geraadpleegd van <https://www.nt.nl/archief/1998/03/07/ramsgate-vervangen-door-dover-hoverspeed-verwerft-belang-holyman-sally/>

Olivier Cleynen. (2019). Vleugelprofiel. Geraadpleegd 26 februari 2022, van <https://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Vleugelprofiel&action=history>

Polestar. (2023). *Polestar*. Geraadpleegd van <https://www.polestar.com/nl-be/polestar-2/specifications/>

ProMedia Group. (2017, 27 februari). Fast Flying Ferry. Geraadpleegd 7 april 2023, van <https://www.verkeersnet.nl/mobiliteitsmanagement/8959/fast-flying-ferry-tussen-velsen-en-amsterdam-niet-rendabel-meer/>

Red Funnel. (2018). Passenger Vessel Archive. Geraadpleegd 9 augustus 2023, van <https://www.redfunnel.co.uk/en/corporate-info/about-red-funnel/red-funnel-history/passenger-vessel-archive/>

SNAV. (2023). SNAV. Geraadpleegd 9 augustus 2023, van <https://www.snav.it>

SPKfleet. (2023, 3 november). *Voskhod fleet*. informatief, . Geraadpleegd 11 juli 2023, van <http://www.spkfleet.ru/voshod.htm>

Stiens, D. (2022 november). Zweefvliegopleiding. *Zweefvliegopleiding.nl*. Opleiding, informatief, . Geraadpleegd 14 juli 2023, van <https://zweefvliegopleiding.nl/5-1-1-de-draagkracht>

Stringfixer. (2021). Vleugel configuraties. Geraadpleegd 26 februari 2022, van <https://stringfixer.com/nl/Hydrofoil>

Vahtla, A. (2017, 4 september). Bad weather disrupts some ferry services on Monday. Estland. Geraadpleegd van <https://news.err.ee/616431/bad-weather-disrupts-some-ferry-services-on-monday>

Vahtla, A. (2018, 25 mei). Linda Line declared bankrupt by court. Estland. Geraadpleegd van <https://news.err.ee/834522/linda-line-declared-bankrupt-by-court>

Van Landeghem, P. (2023, 1 januari). Waterbus op de Schelde is groot succes: Van 105.000 passagiers per jaar naar 775.000 in amper vijf jaar. Geraadpleegd van <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2023/01/01/waterbus-op-de-schelde-is-groot-succes-van-105-000-passagiers-p/>

Volvo, P. (2017). Volvo penta inboard performance system IPS 650/800. Volvo Penta.

Waterlimo. (2021). De waterlimos. waterlimo, . Geraadpleegd 23 juli 2023, van <https://waterlimo.be>

Wightpedia. (2021, 26 april). Red Funnel Hydrofoil Passenger Ferries. Geraadpleegd 9 augustus 2023, van https://www.wightpedia.org.uk/w/Red_Funnel_Hydrofoil_Passenger_Ferries

Wijnen, J. (2013). *Theorieboek voor zweefvliegtchnici*.

Lijst van bijlagen

Bijlage A: Gegevensverzameling en Routeanalyse van de Waterbusroute op de Schelde 71

Bijlage B: Stuurmanskunst op de Schelde: Een Gesprek met een Kapitein van de Waterbus 73

Bijlage A: Gegevensverzameling en Routeanalyse van de Waterbus route op de Schelde

Om gegevens en informatie te verzamelen over de Waterbus route op de Schelde, heb ik de route persoonlijk gevolgd. Om de tijd tijdens de route optimaal te benutten, had ik vooraf vragen opgesteld en relevante informatie verzameld.

Met behulp van een Gps-toestel wordt de volledige route vastgelegd. Het gebruikte Gps-toestel is een Garmin Instinct. Dit toestel legt de Waterbus route vast en geeft aan waar vertraging nodig is om de golfslag te verminderen. Deze informatie maakt het mogelijk om de tijd en afstand tussen elke halte te bepalen.

Halte	Uur van vertrek	Verschil in tijd	Afstand (Km)	Verschil in afstand
Lillo	00:00	0	0	0
Liefkenshoek	00:03	00:03	0,75	0,75
Kallosluis	00:22	00:18	6,1	5,35
Zwijndrecht	00:28	00:06	8,4	2,3
Sint-Anna	00:50	00:22	15,2	6,8
Steenplein	01:00	00:10	16,7	1,5
Kruikeke	01:18	00:18	24	7,3
Hemiksem	01:32	00:14	27,6	3,6
Totaal	01:32	01:32	27,6	0

Bij elke halte wordt de waterdiepte geregistreerd. Met behulp van een getijcurve kan worden onderzocht of er bij laagwater voldoende waterdiepte onder de kiel of draagvleugels is om veilig aan te meren. De onderstaande waarden geven de heersende waterstand weer in meters, waarbij rekening is gehouden met de locatie van de dieptemeter. De meter bevindt zich 1,6 meter onder water, wat reeds in de metingen is opgenomen.

Halte	Waterstand (m)
Lillo	7
Liefkenshoek	16,7
Kallosluis	14,6
Zwijndrecht	5,6
Sint-Anna	15,6
Steenplein	11
Kruibeke	9,5
Hemiksem	9,7

Bijlage B: Stuurmanskunst op de Schelde: Een Gesprek met een Kapitein van de Waterbus

Het personeel aan boord was uiterst vriendelijk en nodigde me uit om mee te varen op de brug van de Waterbus. Tijdens de vaart kreeg ik de gelegenheid om een interview met de kapitein af te nemen. Hieronder vindt u zowel de gestelde vragen als de antwoorden van ons gesprek.

- Wat is het gemiddeld aantal passagiers aan boord per dag?
 - 50-60
 - Veel volk dat voor de Katoennatie werkt.

- De maximumsnelheid van de Waterbus is 40 km/uur (21,5 knopen). Wordt deze vaak bereikt?
 - Ja, ze varen 40 km/uur wanneer ze kunnen en dus niet moeten vertragen om golfslag te minderen.
 - Soms is het net iets sneller dan 40 km/uur wanneer de stroom mee zit, soms iets trager wanneer de stroom tegen zit.

- Het openbaar vervoer wordt vaak gesubsidieerd door de overheid. Is dit ook het geval voor de waterbus?
 - Ja

- Hoeveel waterbussen zijn er?
 - 6 in de vaart en 2 in reserve, dus 8 boten.
 - Er is één grotere boot van 248 passagiers.
 - Normaal gezien zijn dat er 125.
 - Schepen met meer dan 250 personen aan boord hebben zeepapieren nodig.

- Maakt de Waterbus veel golfslag?
 - Ja, ze vertragen omdat ze anders problemen hebben met de boten die stilliggen of kruisen.

- Hoeveel toeren draait de motor wanneer je vertraagt, op volle snelheid vaart, of aangemeerd ligt?
 - Het schip draait 1300 toeren omdat ze anders problemen hebben met de boten die stilliggen en de trossen ervan.
 - Bij een snelheid van 40 km/uur draaien ze 2100 toeren.
 - Ze kunnen gaan tot 2600 toeren, maar ze zijn afgesteld, anders zouden ze 50 km/uur varen.

- Aangemeerd blijven ze 700 toeren draaien, elk.
- Hoeveel verbruikt een Waterbus per dag?
 - Ze verbruiken ongeveer 1000 liter per dag per boot.
- Wat zijn volgens u de voornaamste voordelen bij het gebruik van draagvleugels?
 - De schipper zegt dat het verbruik en niet moeten vertragen de grootste voordelen van draagvleugels kunnen zijn.
 - Verminderen van snelheid voor golfslag is volgens de schipper de grootste handicap
- Ligt er puin, zoals hout en vuilnis in de weg?
 - Veel hout, takken en stronken.
 - Met de waterbus moeten ze ook goed uitkijken omdat het plastic boten zijn.
 - De Pieterkoeke van DEME ruimt dit meestal op.
- Hun hoofdkwartier is bij DEME, halte Zwijndrecht.
- Gebeuren er veel ongevallen?
 - Nee
 - Kan gebeuren bij het afmeren bij slecht weer en veel wind dat er iemand omvalt, maar in het algemeen praktisch nooit ongevallen.
- Zijn er veel golven op de Schelde?
 - Bij slecht weer, op plaatsen waar de wind en getij tegen elkaar staan, zijn er soms golven.
 - Ongeveer 1 – 1,5 max. en enkel op de plaatsen waar wind en stroming tegen elkaar staan.
- De Waterbus heeft een tijdje op het Albertkanaal gevaren, waarom zijn ze gestopt?
 - Op het Albert kanaal is er zeer veel verkeer, waardoor er een snelheidslimiet is. Passagiers vonden dit te traag en dus niet voordelig om de Waterbus te nemen.
 - Ze moeten opletten om de oevers niet te beschadigen met hun golfslag.
- Duurt het lang om van stilstand naar volle snelheid te komen?
 - Versnellen en vertragen duurt maar enkele seconden.

De Waterbus moet regelmatig vertragen om aangemeerde schepen of passerende schepen niet te hinderen met de gegeneerde golfslag. Tijdens mijn observatie van de route werd er tussen Zwijndrecht en Sint-Anna vertraagd vanwege schepen die bezig waren met laden of lossen aan de kade. Net na het Steenplein vertraagde de Waterbus voor passerende binnenvaartschepen die uit de tegenovergestelde richting kwamen. Het kan voorkomen dat de Waterbus door dit vertragen vertraging oploopt bij aankomst bij een halte, wat er soms toe leidt dat het schip een uur of meer nodig heeft om het schema weer in te halen.

Het schip behoort tot het type Waterbus2407 en is vervaardigd door Damen Shipyards Group. Dit bedrijf produceert een breed scala aan schepen, waaronder stadsferries. De afmetingen van het Waterbus2407-model kunnen worden aangepast aan de wensen van de klant. In Antwerpen zijn de Waterbussen iets groter dan het standaardmodel, namelijk 25,78 meter lang, 7,30 meter breed, met een diepgang van 1,02 meter. De vergrote lengte en breedte maken het mogelijk om 125 passagiers te vervoeren. Deze informatie is verkregen uit het brandbestrijdings- en veiligheidsplan aan boord van een van de Waterbussen in Antwerpen.