



CHALMERS



En studie om vindassisterad framdrivning

Vindassisterad framdrivnings potential och hur svenska rederier ställer sig till tekniken

Examensarbete inom Sjökapstensprogrammet

JOAKIM KILLMAN

AXEL NILSSON

INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2025

En studie om vindassisterad framdrivning

Vindassisterad framdrivnings potential och hur svenska rederier
ställer sig till tekniken

Examensarbete inom Sjökapstensprogrammet

JOAKIM KILLMAN

AXEL NILSSON

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
Avdelningen för maritima studier
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2025

En studie om vindassisterad framdrivning.

Vindassisterad framdrivnings potential och hur svenska rederier ställer sig till tekniken.

JOAKIM KILLMAN

AXEL NILSSON

© JOAKIM KILLMAN, 2025

© AXEL NILSSON, 2025

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Omslag:

Framtidens fartyg med modeller för vindassisterad framdrivning. Prototyper från Oceanbird.

Bild tagen och godkänd av Oceanbird.

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper

Chalmers tekniska högskola

Göteborg, Sverige 2025

FÖRORD

Arbetet i denna rapport är ett avslutande examensarbete för sjökaptensprogrammet på Chalmers tekniska högskola. Sjökaptnensprogrammet är en fyraårig utbildning om 180 högskolepoäng där utbildningen innefattar teoretiska studier i skolan samt praktik ute på olika fartyg, fartygsförlagd utbildning. Huvudämnena är navigation, lasthantering, säkerhet, regelverk samt ledarskap och lagarbete. Utöver huvudämnena läggs vikt på miljö, juridik och ekonomi. Dessa ämnen, tillsammans med fartygsförlagd utbildning, är en förberedelse för sjöbefälsstudenter till rollen som befälhavare på ett fartyg eller i land inom en myndighet eller ett rederi.

När detta arbete skrevs var vindassisterad framdrivning i startgroparna och det sågs som en potentiell lösning till traditionella framdrivningsmotorer. Mycket fokus lades på renare bränsletyper men något som inte var i centrum var vinden, som är gratis och en oförbrukbar källa. Då strängare regelverk gällande miljö- och klimatavtryck kommer mer och mer i dagens moderna samhälle, kändes det naturligt för oss blivande sjöbefäl att skriva ett arbete om vindassisterad framdrivning och dess påverkan på sjöfarten.

Rapportens författare vill ge ett stort tack till vår handledare Tomas Olsson Neptun och vår examinator Reto Weber för deras fina engagemang och kloka råd. Vi vill även tacka de rederier som ställde upp för mycket givande och intressanta intervjuer till vårt arbete.

*Joakim Killman, Axel Nilsson
Göteborg, Sverige 2025*

En studie om vindassisterad framdrivning

Vindassisterad framdrivnings potential och hur svenska rederier ställer sig till tekniken

JOAKIM KILLMAN

AXEL NILSSON

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper

Chalmers tekniska högskola

SAMMANDRAG

Vindassisterad framdrivning är en gammal teknik som har fått liv på nytt på grund av stigande bränslepriser och ett behov av att ställa om till förnybara energikällor. WAPS, Wind Assisted Propulsion System, har under de senaste åren börjat installeras ombord på handels- och passagerarfartyg i större omfattning, även om det stora genombrottet för tekniken ännu inte skett.

Syftet med detta arbete var att undersöka teknikens potential och funktion samt hur svenska rederier ser på och eventuellt förbereder sig för vindassisterad framdrivning. För att besvara arbetets frågeställningar har intervjuer samt litteraturstudier genomförts. De rederier som intervjuats har sina fartyg i drift främst i norra Europa, de flesta inom samma typ av sjöfart, men inte alla.

Data och forskning pekar på att WAPS kan minska fartygs bunkerförbrukning med 60% eller mer i framtiden under de rätta förhållandena, och att många fartyg idag kan spara runt 10–20% bunker med tekniken. Det finns dock stora variationer, och den vindassisterande framdrivningen kommer vara olika effektivt beroende på rutt och fartygsdesign.

Hos de svenska rederierna som blivit intervjuade finns positivitet, skepsis och engagemang kring vindassisterad framdrivning. Rederierna ser att det finns en möjlighet att minska bunkerkostnader och spara pengar genom WAPS-tekniken. Samtidigt så finns det en tveksamhet hos dem, som kan kopplas till en brist på verkliga framgångsrika exempel, och tekniska frågetecken kring bland annat installation och effektivitet. WAPS kommer att under de kommande åren installeras ombord flera fartyg, och resultaten från dessa fartyg kan accelerera eller fördröja den vindassisterade framdrivningens implementation.

Arbetet har fokuserat på bränslebesparingar och rederiernas syn på vindassisterad framdrivning ur ett tekniskt och ekonomiskt perspektiv. För att inte göra arbetet för stort, har avgränsningar gjorts på fartygens maskineri, propeller och roder samt rederiernas syn på teknikens framtid.

Nyckelord: vindassisterad framdrivning, ekonomi, teknik, bränslebesparing

A study on wind-assisted propulsion

The potential of Wind-assistant Propulsion and the perspective of Swedish shipping companies

JOAKIM KILLMAN

AXEL NILSSON

Department of Mechanics and Maritime Sciences

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Wind-assisted propulsion is an old technology that has been revived due to rising fuel prices and the need to convert to renewable energy sources. WAPS, Wind Assisted Propulsion System, has in recent years begun to be installed aboard merchant and passenger ships on a larger scale, although the major breakthrough for the technology has not yet occurred.

The purpose of this work was to investigate the potential and function of the technology and how Swedish shipping companies view and possibly prepare for wind-assisted propulsion. To answer these questions, interviews and literature studies have been conducted. The shipping companies interviewed have their ships in operation mainly in northern Europe, mostly in the same shipping segment, but not only.

Data and research indicate that WAPS can reduce ships' bunker consumption by 60% or more in the future under the right conditions, and that many ships can currently save around 10–20% fuel with the technology. However, there are large variations, and wind-assisted propulsion will be different in effectiveness depending on the route and ship design.

The Swedish shipping companies that were interviewed were both positive and skeptic to the subject of wind-assisted propulsion. The shipping companies see that there is an opportunity to reduce bunker costs and save money through WAPS technology. At the same time, there is hesitation among them that can be linked to a lack of real successful examples, and technical question marks regarding, among other things, installation and efficiency. WAPS will be installed on board several ships in the coming years, and the results from these ships can accelerate or delay the implementation of wind-assisted propulsion.

The thesis has focused on fuel savings and the shipping companies' view of wind-assisted propulsion from a technical and economic perspective. In order not to make the thesis too large, boundaries have been set towards the ships' machinery, propeller and rudder, as well as the shipping companies' view of the future of the technology.

Keywords: wind-assisted propulsion system, economy, technics, fuel savings

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING	1
1.1 Syfte.....	2
1.2 Frågeställning	2
1.3 Avgränsningar	2
2. BAKGRUND OCH TEORI	3
2.1 Historik om vind- och vindassisterad framdrivning av fartyg	3
2.2 Jordens väder med fokus på vind	4
2.3 Tekniska system	4
2.3.1 Flettnerrotorn.....	5
2.3.2 Sugsegel	7
2.3.3 Vingsegel.....	8
2.3.4 Mjuksegel.....	9
2.3.5 Kitesegel.....	10
3. METOD	11
3.1 Informationsinsamling	11
3.2 Val av metod.....	12
3.3 Intervjuer	12
3.4 Urval.....	13
4. RESULTAT.....	13
4.1 Bränslebesparingar	13
4.1.1 WAPS potentiella bränslebesparing	13
4.1.2 Faktorer som påverkar WAPS potentiella bränslebesparing.....	15
4.2 Intervjuer hos svenska rederier	18
4.2.1 Rederi 1	19
4.2.2 Rederi 2	20
4.2.3 Rederi 3	21
4.2.4 Rederi 4	22
5. DISKUSSION	23
5.1 Hur kan vindassisterad framdrivning bidra till bränslebesparing?	23
5.1.1 Bränslebesparingar, potential	23
5.1.2 Bränslebesparingar, variationer och osäkerheter.....	25
5.2 Intervjuer	26
5.2.1 Hur ser svenska rederier på att installera vindassisterad framdrivning?.....	26

5.3 Metoddiskussion	28
6. SLUTSATS.....	29
6.1 Hur kan vindassisterad framdrivning bidra till bränslebesparing?	29
6.2 Hur ser svenska rederier på att installera vindassisterad framdrivning?.....	29
6.3 Rekommendationer till fortsatt arbete.....	30
REFERENSLISTA	31
BILAGOR	35
1.1 Frågor till intervjuer	35
1.2 Bunkerbesparingstabell	36

FIGURFÖRTECKNING

Figur 1. Cutty Sark	3
Figur 2. Vindframdrivet bilfraktfartyg.	5
Figur 3. Två flettner rotorer på fartyget Buckau (1925).	6
Figur 4. Fartyg från Terntank utrustat med sugsegel i uppfälld och nedfälld position.	7
Figur 5. Fartyg från Terntank utrustat med sugsegel i uppfälld och nedfälld position.	8
Figur 6. Vingsegel monterat och i drift på ett bilfraktfartyg.....	9
Figur 7. Illustrerar fundamentet till Oceanbirds vingsegel.	10
Figur 8. Mjuksegel i drift, The Maltese Falcon	11
Figur 9. Kiteseglare och ett tankfartyg.	13
Figur 10. Karta över rutter där en desto rödare rutt illustrerar en större bunkerbesparing och desto gulare en mindre besparing.	19
Figur 11. Karta över rutter där en desto rödare rutt illustrerar en större bunkerbesparing och desto gulare en mindre besparing.	20
Figur 12. Illustrerar ruttdensitetsdata för Panamax bulkfartyg. Desto ljusare grön, desto högre densitet.	20
Figur 13. Ett svenskägt fartyg från Terntank med WAPS-system utanför Göteborgs hamn på Rivöfjorden.	22

FÖRTECKNINGAR OCH BEGREPP

DWT	Deadweight tonnage
EEDI	Energy Efficiency Design Index
EU-ETS	European Union Emission Trading System
Retrofit	Efterinstallation av vindassisterad framdrivning på befintligt fartyg
RoRo	Roll on Roll off fartyg
Time Charter	Kund hyr fartyg under en viss period
WAPS	Wind Assisted Propulsion System
Weather Routing	En kommersiell tjänst som tillhandahålls av kommersiella företag för lastfartyg, för att optimera deras reseprestanda

1. INLEDNING

Den globala handeln är en av pelarna i den moderna världen där sjöfarten står för ca 80–90% (IMO 2018) av den totala lastvolymen, och cirka 3% av de globala koldioxidutsläppen. Prognoser över världens transportbehov år 2050 visar att det kommer att dubbla den nuvarande nivån. På grund av att andra sektorer inom ekonomin förväntas ställa om snabbare än sjöfarten så riskerar sjöfartens relativa utsläpp öka till 5–8% av de totala utsläppen till 2050 (Mærsk McKinney Møller Center, 2021). Samtidigt måste sjöfarten bli mer energieffektiv och före 2050 minska sitt bidrag till utsläppen av växthusgaser till 50% av nivån 2008 (Ships and Offshore Structures 2023).

Klimatförändringar är utan tvekan en av de mest väsentliga utmaningarna i vår tid och det har redan blivit en kritisk situation för samhället med luftföroreningar (Ships and Offshore Structures 2023). De internationella organisationerna relaterade till sjötransport söker efter att uppnå målen för hållbar utveckling genom att uppmana individer som är involverade i sjötransporter att öka beroendet av förnybara energikällor (Ships and Offshore Structures, 2022).

Samtidigt har även bunkerpriserna stigit och lagt sig på en högre nivå sedan millennieskiftet, vilket har lett till att vissa redare har låtit sina fartyg sänka farten som ett sätt att minska bunkerkostnader. Dessutom har EU infört EU-ETS, European Union Emission Trading System, ett system med utsläppsrätter inom Europa för att beskatta utsläpp av CO₂, för att minska koldioxidutsläpp (European Commission, 2024). Allt sammantaget har gjort WAPS-teknik till en möjlighet att minska kostnader (Viola et al., 2015).

För att minska sjöfartens miljöpåverkan och minska dess utsläpp av växthusgaser har vindassisterad framdrivning fått stor uppmärksamhet som en potentiell lösning. Det beräknas att cirka 50 kommersiella fartyg har utrustats med sådana system i början av 2024, en flotta som snabbt växer. Enligt prognoser kan hela 10 000 fartyg framdrivas med hjälp av WAPS 2030, och upp mot 40 000 år 2050 (Naida Hakirevic Prevljak, 2025) (RISE, n.d.) Genom att utnyttja energin från vinden, kan vindassisterad framdrivning delvis ersätta effektbehovet hos traditionella framdrivningssystem, vilket minskar beroendet av fossila bränslen och även minskar ekonomiska kostnader (Ocean Engineering 311, 312 2024).

Vindassisterad framdrivning är en ny och innovativ lösning som delvis kan ersätta effekten av förbränningsmotorer. Eftersom detta är steg in i framtiden ställer det krav på företag och rederier att utveckla nya sätt att arbeta med vinden som källa, det är något som kommer tas upp och diskuteras i arbetet.

1.1 Syfte

Syftet med detta arbete är att undersöka hur svenska rederier ser på och eventuellt förbereder sig för vindassisterad framdrivning. För att ge läsaren en bättre förståelse av ämnet kommer arbetet även behandla vilka WAPS-teknologier som finns och hur dessa fungerar. Av samma anledning kommer arbetet också att beröra WAPS potential.

1.2 Frågeställning

Arbetet kommer utgå från rubriken "*En studie om vindassisterad framdrivning - Vindassisterad framdrivnings potential och hur svenska rederier ställer sig till tekniken*".

Frågorna som kommer ligga till grund för arbetet är:

- Hur kan vindassisterad framdrivning bidra till bränslebesparing?
- Hur resonerar svenska rederier kring möjligheten att installera och implementera WAPS ombord sina fartyg och i sjöfarten?

1.3 Avgränsningar

Arbetet kommer fokusera på svenska rederiers syn på vindassisterad framdrivning ur ett tekniskt och ekonomiskt perspektiv. För att ge läsaren förståelse kring ämnet kommer det även läggas vikt vid de tekniska system som finns idag. Avgränsningar i denna studie kommer att göras mot installationskostnader av WAPS, förändrad fartygsstabilitet, utsläpp, WAPS tekniska påverkan på fartygsmaskineri och propeller samt rederiers syn på framtiden kring WAPS.

2. BAKGRUND OCH TEORI

2.1 Historik om vind- och vindassisterad framdrivning av fartyg

Segel har varit den dominerande framdrivningsformen för fartyg i årtusenden, och de första hybridfartygen var de segel- och årordrivna trimaranerna i antikens Grekland och Rom. På 1800talet kunde clipperfartyg som den berömda *Cutty Sark* byggd 1869, som visas i figur 1, uppnå hastigheter på cirka 15 knop vid gynnsamma vindar. Segelfartygen var dock mycket beroende av vindförhållandena, vilket kunde leda till oförutsägbara resor. Detta väderberoende i kombination med öppnandet av Suezkanalen 1869 och framväxten av ångdrivna fartyg under den industriella revolutionen, ledde till en gradvis minskning av användningen av segel som det primära framdrivnings medlet för oceangående fartyg (Atkinson, 2018).



Figur 1. Cutty Sark

<https://itoldya420.getarchive.net/amp/media/cutty-sark-ship-1869-slv-h91250-163-e222ab>

Ursprungligen hade ångfartyg och segelfartyg olika funktioner och konkurrerade inte direkt (Atkinson, 2018). Många tidiga ångfartyg var fortfarande utrustade med master och segel som användes antingen i händelse av motorbortfall eller när vindförhållandena var gynnsamma. Under övergångsperioden från segel till ånga fanns det flera fartyg som kombinerade både

segel- och ångkraft. Ett av de tidigaste exemplen var *SS Savannah*, det första ångfartyget som korsade Atlanten 1819. Under den 29 dagar långa resan från Savannah i USA till Liverpool i Storbritannien användes ångmaskinen endast under cirka 100 timmar, eller ungefär 16% av den totala restiden. På *Great Britain* som sjösattes 1843, gick det ännu längre i denna hybridstrategi. Fartyget var utrustat med en massiv ångmaskin på 1 000 hästkrafter, men rigg och segel var särskilt utformade för att komplettera och förbättra det primära ångframdrivna systemet. På resor till Australien förlitade sig fartyget i högre grad på segelkraft och använde ångmaskinen främst när vindförhållandena var ogynnsamma.

På 1920-talet hade segel i stort sett slutat användas på oceangående fartyg (Atkinson, 2018). Intresset för segelteknik kvarstod dock, särskilt som ett sätt att minska bränsleförbrukningen. På 1980-talet utrustades fartyg som *Shin Aitoku Maru* och *Usuki Pioneer* med styva segel som utvecklats av Japan Marine Machinery Development Association (JAMDA). Dessa segel var inte avsedda som den primära framdrivningskällan, utan snarare som ett sätt att bidra till att minska bränsleförbrukningen. Detta koncept är känt som vindassisterad framdrivning.

I slutet av 2024 fanns det 54 fartyg utrustade med vindassisterad framdrivning (Naida Hakirevic Prevljak, 2025).

2.2 Jordens väder med fokus på vind

Motorn i den allmänna cirkulationen på jorden är värmen från solen och i genomsnitt värms luften framförallt upp vid ekvatorn. Den något varmare luften kommer att stiga och ersätts av luft från norr och söder. Denna rörelse sätter i gång den globala cirkulationen.

Denna strömning in mot ekvatorn, som i stort sett alltid är konstant, kallas för passadvind (Laurin, 1994). Dessa genomsnittliga rörelsemönster är en produkt av naturens strävan efter att jämna ut temperaturskillnader. Om inga andra krafter fanns skulle luften röra sig rakaste vägen från högt till lågt tryck, från kallt till varmt.

2.3 Tekniska system

Vinddrift för fartyg är en gammal teknik som blivit modern, se figur 2, drivet av behovet av att minska koldioxidutsläppen inom sjöfarten (Chica, 2023). Vind är en förnybar och gratis energikälla som drar nytta av den minimala friktion som upplevs över öppet hav jämfört med land. Detta ger vindframdrivning en klar fördel jämfört med andra nya ”renare” tekniker inom sjötransporter. En rad avancerade vindframdrivna tekniker är för närvarande under utveckling, främst i syfte att minska bränsleförbrukningen och minska utsläppen av luftföroreningar.

Dessa tekniker kan fungera på två huvudsakliga sätt: som en del av ett hybridssystem som fungerar tillsammans med konventionella motorer (vindassisterad framdrivning), eller som den huvudsakliga framdrivningskällan, där traditionella huvudmaskiner endast används under minimala förhållanden (Chica, 2023). Sedan framstegen på 1980-talet har fokus för införandet av vindkraftsdrift legat på att eftermontera befintliga fartyg för att minska bränsleförbrukningen, snarare än att installera det som det primära framdrivningssättet.

Hybridmodellen där vindframdrivningen kompletterar den huvudsakliga diesel- eller biodieselmotorn, har visat sig vara avgörande för ett bredare införande. I detta upplägg bidrar vindkraften till att minska bränsleförbrukningen samtidigt som fartygen kan hålla sina tidtabeller.



Figur 2. Vindframdrivet bilfraktfartyg.

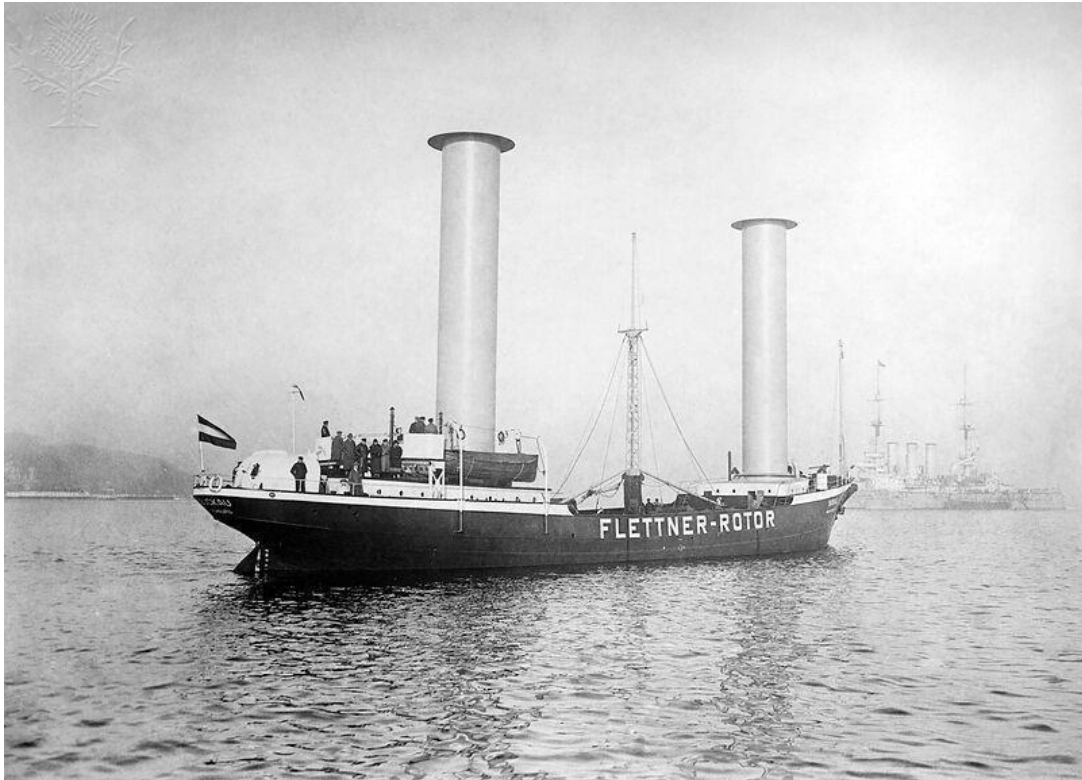
Bild tagen och godkänd av Oceanbird.

Olika typer av vindframdrivningstekniker har utvecklats, var och en med sin egen design, men alla delar målet att utnyttja vindkraft för att minska bränsleförbrukningen och spara på miljö samt klimat (Chica, 2023).

2.3.1 Flettnerrotorn

Flettnerrotorn är en roterande cylinder som genererar ett aerodynamiskt lyft tack vare Magnuseffekten (Ocean Engineering, 2023), se figur 3 för illustration. Rotorsegel, som det också kallas, har väckt intresse som en effektiv teknik för att utnyttja vindkraft som ett sätt att generera framdrivning för marina applikationer och för att minska energieffektivitetsdesign indexet (EEDI) för ett fartyg.

Ett stödtorn i stål där rotorseglet sitter, sträcker sig invändigt upp till ca 2/3 av rotorseglets höjd (Sustainable Energy Systems on Ships, 2022). Rotorseglets stålstöd är anslutet till ett stålfundament med en bultkoppling, vilket överför krafterna som genereras till fartygets däckskonstruktion.



Figur 3. Två flettner rotorer på fartyget Buckau (1925).

Bild tagen från Britannica Imagequest https://quest-ebcom.eu1.proxy.openathens.net/images/search/flettner%20rotor/detail/132_1368996

Magnuseffekten är ett fysiskt fenomen som genererar en sidokraft på ett snurrande föremål som rör sig genom en vätska när det finns en relativ rörelse mellan föremålet och vätskan (Lasky, 2022). Mekaniken i effekten är relativt enkel och lätt att förklara när den demonstreras med exemplet med en boll som rör sig genom luften. En snurrande boll som färdas genom atmosfären skapar automatiskt ett gränsskikt av luft som omsluter bollens yta när den rör sig. På ena sidan av bollen kolliderar detta gränsskikt av luft med annan luft som rör sig i motsatt riktning. Samtidigt möter detta gränsskikt på andra sidan bollen luft som rör sig i samma riktning som bollen snurrar. Kollisionen mellan luftens gränsskikt och luften som rör sig i motsatt riktning gör att luften bromsar in och resulterar i att det skapas ett högtrycksområde. Eftersom det inte sker någon kollision på andra sidan bollen, rör sig luften på den sidan snabbare och skapar ett lågtrycksområde. Den resulterande tryckskillnaden mellan kulans två sidor ger sedan upphov till en lyftkraft som gör att kulan ändrar riktning och kröker sig mot den lägre trycksidan. Denna lyftkraft är Magnuseffekten.

Enligt Clarkson Research World Fleet Register (Clarkson Research, 2024) finns det inom den globala handelsflottan cirka 25 fartyg med flettner rotorerna installerade ombord och cirka 20 under beställning. Till exempel har passagerarfartyget *Viking Grace* installerat, men också tagit bort, rotorsegel (Mao, 2024).

Det finländska företaget Norsepower är ledande inom tillverkning av rotorsegel (Norsepower, n.d.-

b). Deras rotor är tio gånger effektivare än ett vanligt traditionellt segel och behöver inte att besättningen aktivt hanterat det.

2.3.2 Sugsegel

Sugsegel, på engelska “Suction Sails”, är vingformade vertikala strukturer som är monterade på däck (Laursen, 2023), se figur 4 och 5. I motsats till rotorsegel roterar inte de yttre delarna för att generera dragkraft, men vingarna är orienterbara, det vill säga de kan roteras automatiskt för att anpassa till vindriktningen. Vingarna har ventilationsöppningar och en intern fläkt som utnyttjar gränsskiktets sugkraft för att generera dragkraft, utöver den dragkraft som genereras av seglens vingform. Sugsegel ger optimal dragkraft vid sidvindar, medan dragkraften är praktiskt taget noll vid mot- och medvind. Höjden på sugsegel varierar mellan 10–36 m. Två eller fyra vingar per fartyg är vanligt, men i vissa fall installeras endast en vinge. Små sugsegel (10 m höga) levereras också som containerenheter av en leverantör, vilket gör deras placering och transportsätt mer flexibelt.



Figur 4. Fartyg från Terntank utrustat med sugsegel i uppfälld och nedfälld position.

Bild tagen och godkänd av Terntank.



Figur 5. Fartyg från Terntank utrustat med sugsegel i uppfälld och nedfälld position.

Bild tagen och godkänd av Terntank.

Enligt Clarkson Research World Fleet Register (Clarkson Research, 2024) finns det i världen över cirka 12 fartyg med sugsegel installerade ombord och cirka 40 under beställning.

2.3.3 Vingsegel

Profilen på ett vingsegel, särskilt tjockleken på dess aerofoil form, gör att det kan generera betydande lyftkraft, vilket ger en stark framdrivande kraft samtidigt som det inducerade luftmotståndet som vanligtvis sänker ett fartygs hastighet minimeras (Ships and Offshore Structures 2020). Dess funktionsprincip bygger på att maximera den aerodynamiska lyftkraften genom att justera anfallsvinkeln till det optimala läget i förhållande till vinden, ungefär som en vingprofil. Vingseglets mast kan roteras 360 grader, vilket gör att den kan anpassas till olika vindvinklar, även i motvind, och gör att fartyget kan manövrera både effektivt och säkert under många olika förhållanden.

Vingsegel har generellt ett bredare spann med hög effektivitet, om man jämför med till exempel rotorsegel (Johansson, 2024). Däremot har vingseglen en lägre maximal nivå än rotorseglen.

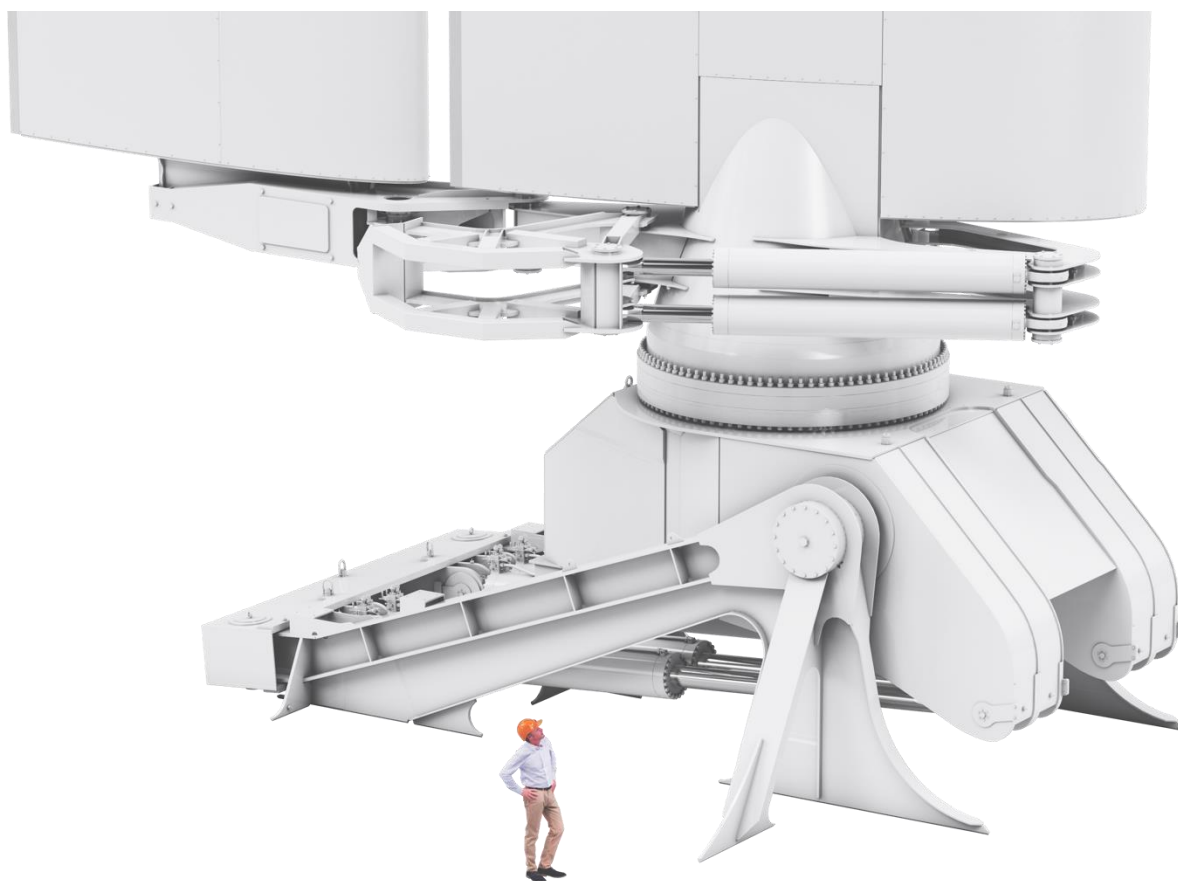


Figur 6. Vingsegel monterat och i drift på ett bilfraktfartyg.

Bild tagen och godkänd av Oceanbird.

Enligt Clarkson Research World Fleet Register (Clarkson Research, 2024) finns det globalt cirka 8 fartyg med vingsegel installerade ombord och cirka 25 under beställning.

Bland annat Oceanbird, samägt av Wallenius och Alfa Laval, som utvecklar vingsegel (Lindsten, 2024), se figur 6 och 7.



Figur 7. Illustrerar fundamentet till Oceanbirds vingsegel.

Bild tagen och godkänd från Oceanbird.

2.3.4 Mjuksegel

Mjuksegel är flexibla segel som skiljer sig från traditionella segel genom sin förmåga att böja och anpassas efter vinden (Laursen, 2023). Dessa segel är ofta tillverkade av material som kan ge efter för olika vindförhållanden, vilket gör dem mer effektiva i vissa situationer. Precis som vissa andra WAPS tekniker, är vissa moderna mjuka segel vingformade för att optimera aerodynamiken och maximera dragkraften, vilket ger bättre prestanda och högre hastigheter. I vissa konstruktioner av mjuksegel kan masterna också ha dubbel funktion, där de inte bara stödjer seglen utan också fungerar som kranar.

Modern mjuksegelteknik har introducerat en rad innovativa konstruktioner, bland annat PintaRig, DynaRig, Delta wing sail och Fastrigs (Ships and Offshore Structures 2020). Bland dessa utmärker sig DynaRig, se figur 8, genom att vara självförsörjande och lätt att använda, vilket gör den till ett särskilt populärt val. DynaRig har en mast som är lätt stöttad av staglinor och kan rotera fritt, vilket möjliggör säkra och kontrollerade manövrar. Även om lyftkoefficienterna normalt är lägre än för vingsegel, genererar DynaRig betydande lyftkraft tack vare sin större yta. Den är dock mindre effektiv när den seglar i motvind.



*Figur 8. Mjuksegel i drift, The Maltese Falcon
Wikimedia Commons*

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Maltese_Falcon_%282906785674%29.jpg

Enligt Clarkson Research World Fleet Register (Clarkson Research, 2024) finns 2 fartyg med operativa mjuksegel installerade ombord. Det finns dock inga siffror för hur många fartyg av denna typ som är under beställning.

2.3.5 Kitesegel

En kite bogserar ett fartyg när den fälls ut från fören och utnyttjar kraften i vinden på högre höjder (Nase More, 2021). Den flyger vanligtvis på höjder mellan 100 och 300 meter, där vindhastigheten är starkare, för att bättre framdriva fartyget.

Kitesegel kan fästas i fören på ett fartyg för att generera lyftkraft och drag. De måste sjösättas och dras in beroende på vindförhållandena, och för detta ändamål har automatiserade system utvecklats (Laursen, 2023). Jämfört med andra tekniker kan drakar utnyttja de högre vindhastigheter som finns på högre höjder, även om det finns en kompromiss mellan höjd och drivkraft på grund av den ökade höjdvinkeln. Det finns passiva och dynamiska drakar. Passiva drakar följer vindriktningen, medan dynamiska drakar aktivt rör sig i hög hastighet för att öka lyftkraften t.ex. genom att flyga i en åttaformad bana. Dynamiska kites kan generera dragkraft

effektivt i medvind, men den dragkraft de levererar sjunker snabbt när vind vinklarna minskar. Passiva drakar påverkas mindre av detta problem. Små kites för fritids- och fiskebåtar finns i storlekar från 10-40 m². För större fartyg är den största kite som används för närvarande 1.000 m², men kite-storlekar på upp till 5.000 m² är under utveckling, vilka potentiellt skulle kunna användas i kombination, arrangerade ovanför varandra.

Enligt Clarkson Research World Fleet Register (Clarkson Research, 2024) består handelsflottan av 3 fartyg utrustade med kitesegel, samt 2 under beställning.



Figur 9. Kiteseglare och ett tankfartyg.

*Bild tagen från Geograph, fotograf Richard Sutcliffe,
<https://www.geograph.org.uk/reuse.php?id=7509093>*

3. METOD

För att uppfylla studiens syfte kommer detta kapitel att besvara hur informationen samlats in.

3.1 Informationsinsamling

Under arbetets inledningsfas gjordes sökningar på internet för att skapa en översikt över ämnet. Då vindassisterad framdrivning har varit högaktuellt under hela arbetet och mycket varit nytt

under arbetets gång, publicerades många artiklar, experiment, ny forskning och ny statistik dagligen. Till en början användes många källor för att skapa en övergripande blick över vindassisterad framdrivning. Allt eftersom användes källor med mer specifik inriktning såsom vetenskapliga artiklar som; *Wind-assisted, electric, and pure wind propulsion - the path towards zero-emission RoRo ships* mm.

Efter arbetets inledningsfas användes mer specifika källor så som till exempel litteraturstudier om vilka tekniska system för vindassistans som finns idag. Intervjuer hos rederier gjordes för att få inblick kring hur de svenska rederierna ser på ämnet i stort och dess framtid ombord på deras fartyg.

Största delen av litteraturen som använts i arbetet är hämtade från Chalmers biblioteksdatabas men det har också gjorts informationsinsamling från artiklar från webbaserade sidor, där Google har använts som sökmotorn.

3.2 Val av metod

Då studiens syfte är att undersöka hur de svenska rederierna ser på och eventuellt förbereder sig för vindassisterad framdrivning, har litteratur från en rad olika källor använts för att skapa en övergripande bild av ämnet (Denscombe, 2014). Dessa litteraturstudier har kombinerats med semistrukturerade intervjuer för att få en inblick i ämnet och förstå de svenska rederiernas uppfattning av vindassisterad framdrivning. Detta för att ge de som blir intervjuade möjlighet att utveckla tankar och även reflektera mer brett om de ämnen arbetet berör (Denscombe, 2014).

3.3 Intervjuer

Under arbetets gång har intervjuer genomförts hos svenska rederier. Det för att kunna besvara frågeställningen och få en inblick i hur rederier ser på ämnet och deras eventuella förberedelser. Intervjuerna har varit semistrukturerade där frågeformulär har funnits men det har samtidigt varit en öppen dialog och diskussion där den intervjuade tagit diskussionen åt det håll som varit relevant för stunden.

Semistrukturerade intervjuer valdes för att kunna ge rederierna, forskaren och experten möjlighet att dela med sig av sina tankar och erfarenheter av ämnet som diskuteras. Enligt *The Good Research Guide* (Denscombe, 2014) så är personliga intervjuer den passande metoden då allt fokus kan läggas på informanten och att intervjun fortlöpte smidigt.

Även en forskare knuten till ett forskningsinstitut inom vindassisterad framdrivning och en expert från ett företag har intervjuats för att få ut relevant och högaktuell information kring ämnet.

För frågeformulär se BILAGOR - 1. Frågor till intervjuer.

Intervjuerna har anonymiserats för att skydda de personer och rederier som intervjuats och för att få så trovärdiga svar som möjligt. De intervjuade har även fått frågor till sig på förhand för

att få möjlighet att förbereda sina svar. Dessa personer har även godkänt sin medverkan skriftligen.

3.4 Urval

Hos rederier har intervjuer riktats mot personer med övergripande syn och ansvar för ämnet i sitt företag. Detta för att få ut så relevant information och med så mycket data som möjligt.

Intervjuer har även gjorts med personer inom företag för forskning och metodutveckling inom området vindframdrivna fartyg.

4. RESULTAT

4.1 Bränslebesparingar

I detta avsnitt kommer resultatet på vindassisterad framdrivnings potentiella bränslebesparing och de faktorer som påverkar det, att presenteras.

4.1.1 WAPS potentiella bränslebesparing

I *Tabell 1* finns bunkersparardata från ett trettiotal fartyg och modeller utrustade med vindassisterad framdrivning. En del siffror är uppmätta från riktiga fartyg, andra är projekterade för fartyg som kommer att installera WAPS. Ytterligare en del av informationen kommer från modeller som inte har en direkt anknytning till ett existerande eller snart existerande fartyg.

Tabellen visar att det inom WAPS-branschen och WAPS-forskningen finns en tro att vindassisterad framdrivning kan minska sjöfartens bunkerkonsumtion. Det totala genomsnittet för tabellen är en minskning av bunker med dryga 12%.

Fartyget med högst bunkerbesparing i tabellen är *Pyxis Ocean* med 32% (Naida Hakirevic Prevljak, 2024). Fartyget har två vingsegel och har en global rutt. Det ska dock sägas att den siffran gäller under goda förhållanden.

SC Connector, ett RoRo-fartyg (Roll on Roll Off) med rotorsegel trafikerandes norra Europa, sparade 20–25% bunker (Norsepower, n.d.-c).

Ett annat fartyg med hög bunkerbesparing är bulkfartyget *Wind Challenger* som lyckades spara 20–30% över Stilla havet, mellan Yokohama, Japan, och Seattle, USA (Ouchi et al., 2013). Bulkfartyget hade, som *Pyxis Ocean*, också vingsegel. *Shofu Maru*, ett liknande med bulkfartyg med liknande rutt och samma teknik, sparade dock bara 8% (Laursen, 2023). Det kan bero på att *Wind Challenger* i modellen hade nio segel, medan *Shofu Maru* hade utrustats med ett.

Alla fartyg i tabellen når dock inte dessa nivåer. *Pyxis Ocean* och *SC Connector* kan jämföras med data från *Annika Braren* och *Ankie*, uppmätt av svenska SSPA, där *Annika Braren* sparar 3,2% bunker (Werner, 2022a) och *Ankie* 3,5% (Werner, 2023a). Särskilt informationen från *Annika*

Braren är dock osäker, enligt rapporten. Dessa fartyg är däremot betydligt mindre i storlek, *Annika Braren* har en dödvikt på 5023 DWT och *Ankie* 3638 DWT.

EMSA, European Maritime Safety Agency, undantar i sina räkneexempel WAPS-fartyg mindre än 5000 DWT (Laursen, 2023). Organisationen grundar detta antagande i tron att vindassisterad framdrift kommer att vara mindre vanligt inom detta segment på grund av att dessa fartyg trafikerar mer i kustområden, där vindförhållandena är mindre fördelaktiga. EMSA säger också att de tekniska system som idag finns är för stora för denna storlek av fartyg.

Sammantaget tyder ovan information och fakta på att WAPS potential är låg för mindre, kustnära, fartyg.

Oceanbird, samägt av Wallenius och Alfa Laval, arbetar på ett roro-fartyg (roll on, roll off), *Orcelle Wind*, som ska använda sig av vindassisterad framdrivning som huvudsakligt framdrivningsmedel och ska ha sex enheter (Lindsten, 2024). Fartygets design ska vara såpass klart att en beställning kan läggas 2026. Oceanbirds vd, Niclas Dahl, säger även att de segel företaget har under utveckling ska kunna minska ett bilfraktfartygs bunkerförbrukning med 7000 bilar över Atlanten med 7–10 procent per enhet. "Det finns andra fartyg som kommer spara betydligt mer än 7–10 procent, det finns vissa som kommer spara betydligt mindre" (Lindsten, 2024).

Niclas Dahl fortsätter: "Vi har definitivt passerat frågan om vind kommer att spela en roll i framtidens sjöfart. Nu handlar det om vilka bolag och tekniker som kommer att dominera". Han säger också: "Vi ser oss som en möjliggörare för framtidens bränslen. Kombinationen av vind och nya bränslen kan minska bränslebehovet och göra det mer ekonomiskt framkomligt med nya, men ofta dyrare, bränslen". Det pekar på att vindassisterad framdrivning kan ha en större total potential i att spara bränsle än vad tekniken kan åstadkomma i sig själv.

Danska Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping skriver i en rapport att de uppskattar att vindassisterad framdrivning kan minska den globala sjöfartens koldioxidutsläpp med 0–8% (Mærsk Mc-Kinney Møller Center, 2021).

Maersk Tankers ingick kontrakt 2024 på tjugo retrofit sugsegel för fem stycken 50 000 DWT tankfartyg, vars storlek även kallas Medium Range (MR), som ska installeras under 2025 och 2026 (Bound4Blue, 2024).

Sofia Werner från RISE tror att en majoritet av fartygen kommer att ha WAPS system i framtiden (S. Werner, personlig intervju, 26 november, 2024), men att bilden inte kommer att vara den samma överallt. Hon uppskattar även att fartyg som byggs med WAPS och som har en lämplig rutt kan uppnå bunkerbesparingar mellan 20–60% de närmsta 20 åren. För ett liknande retrofit fartyg kommer genomsnittet att vara lägre, runt 20%.

Werner tror också att WAPS kan vara en möjliggörare för andra bränslen: “Men om vindassistans kan kapa bränsleförbrukningen med 20–30 procent så kanske det går att ett rederi har råd eller plats med andra bränslen. På så sätt kan vind möjliggöra andra lösningar” (Johansson, 2024).

Potentialen för WAPS är dock högre än 60% enligt Sofia Werner (Johansson, 2024). Hon säger att RISE “har räknat på olika scenarier och kan få ner bränsleförbrukningen med allt mellan 40 och 90 procent“. Werner säger även att det rent tekniskt går att komma upp i nära fullständig vinddrift, och att maskin då bara behövs för att manövrera i hamn.

Det finns alltså data som pekar på att vindassisterad framdrivning har potential att minska många fartygs bränsleåtgång. Men vad är det som avgör WAPS effektivitet?

4.1.2 Faktorer som påverkar WAPS potentiella bränslebesparing

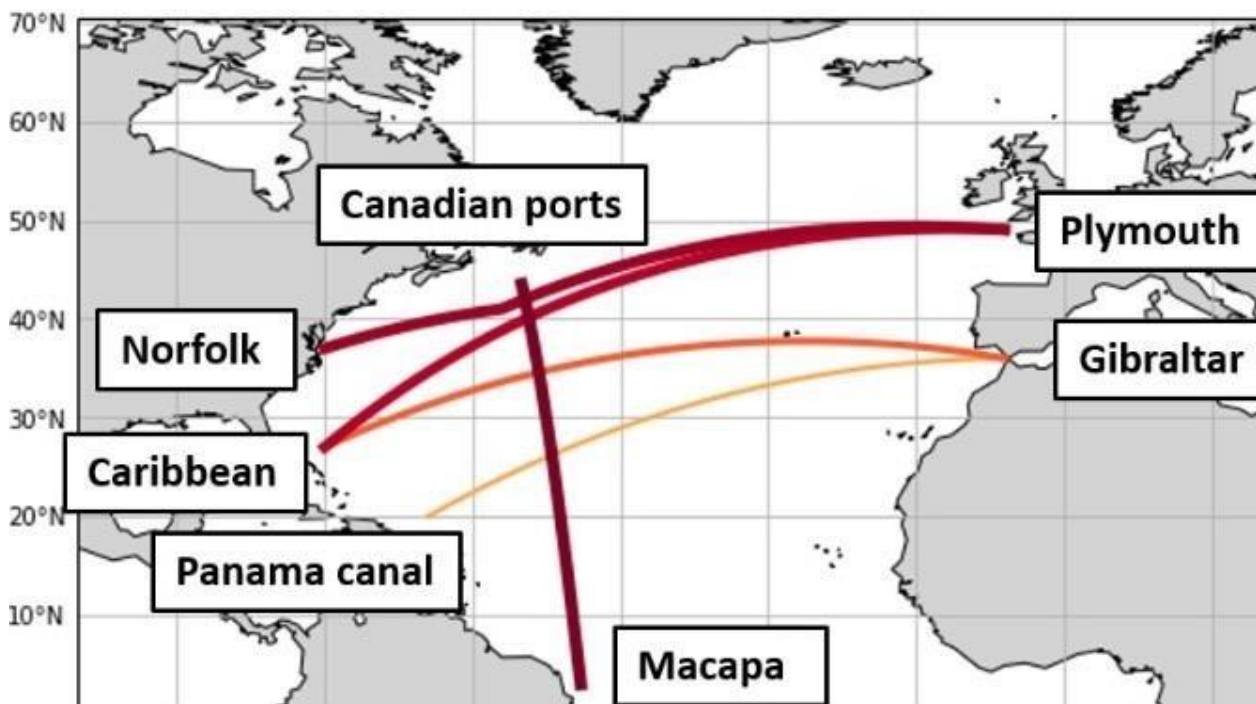
Det finns flera faktorer som påverkar den vindassisterade framdrivningens effekt. I en tes från England (Mason, 2021) där ett simulerat Panamax bulkfartyg (80 000 DWT) med fyra Flettner rotoror genomförde 368 resor världen över baserat på fyra års väderdata från europeiska ECMWF, pekas flera olika omständigheter ut som avgörande. Författaren för tesen, James C Mason, uppmätte en skillnad i sina modellers bunkerbesparingar mellan sommar och vinter, då man i augusti sparade 6,4% och i februari 17% på en rutt över Nordatlanten.

I samma tes sågs också att desto längre norr över Atlanten fartyget seglade, desto effektivare blev WAPS-systemet, vilket man kopplade till ökad genomsnittlig vindstyrka. Från tesen: “Koldioxidbesparingarna visar också ett viktigt beroende av latitud. Seglen producerar mer kraft på rutter bort från ekvatorn på grund av de högre vindhastigheterna som observeras i dessa områden”.

Sofia Werner stöttar detta (S. Werner, personlig intervju, 26 November, 2024) och säger att i de delar av världen med mindre vind, så som Medelhavet, Persiska Gulven, havet utanför den västafrikanska kusten och på insjöar, såsom Stora sjöarna, kommer vindassisterad framdrift att implementeras i mindre omfattning än i regioner med mer vind, till exempel Atlanten och Nordeuropa.

Den rutt som i Masons tes (Mason, 2021) emellertid hade högst bunkerbesparing från vindassisterad framdrivning var dock inte densamma som den med högst vindstyrka, vilket visas i figur 10. I rутten “Canadian Ports – Macapa” mellan östra Kanada och norra Brasilien

sparade WAPS-enheten 16% bunker. Det kan jämföras med “Norfolk – Plymouth” på 15% som var den mest nordliga ruten över Atlanten, eller “Caribbean – Plymouth” på 14% som gick lite längre söderut. Den sydligaste ruten, “Panama Canal – Gibraltar” hade lägst bunkerbesparing, 6%. Mason kommenterar skillnaden så här: “Detta är ett viktigt resultat när det gäller att förstå vindpropulsionens prestanda; rutter behöver inte ha starka vindhastigheter för att generera stora bränslebesparingar på grund av den betydande inverkan som vindvinkeln har på segelprestandan. En svag vind med en fördelaktig vindvinkel kan öka bränslebesparingarna nästan lika mycket som starka vindar”. Han säger även: “vindvinkeln sticker ut som en viktig variabel, vilket har lovande konsekvenser för optimering av resan.” Detta, att vindriktning spelar stor roll, stöds även i annan forskning (Tillig & Ringsberg, 2020).



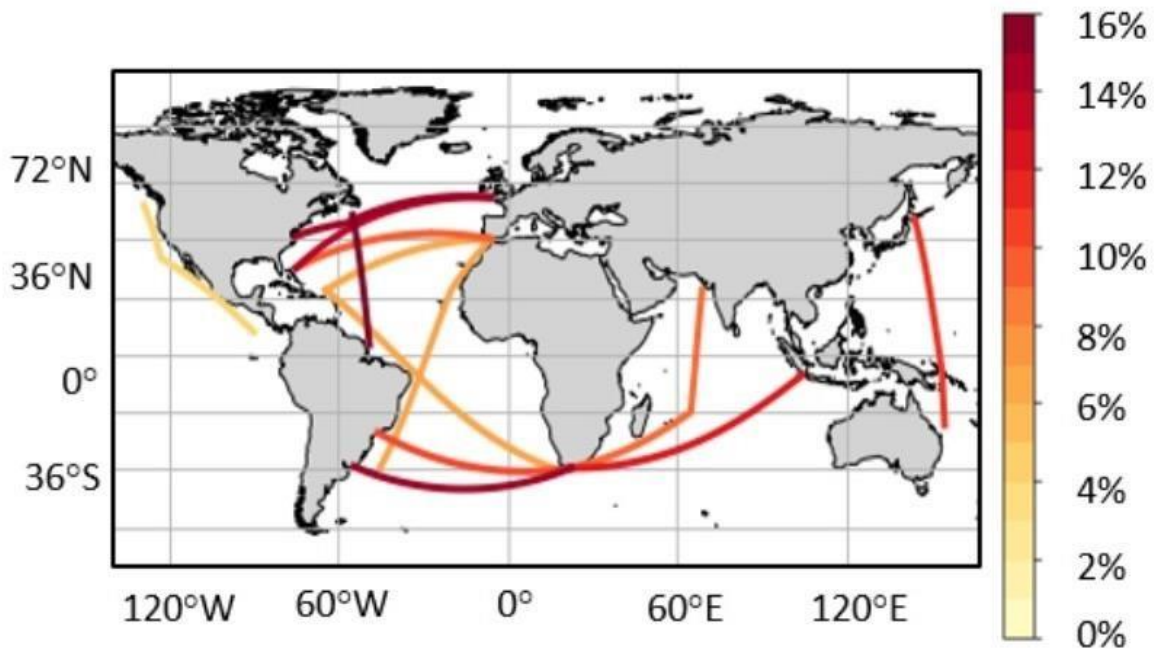
Figur 10. Karta över rutter där en desto rödare rutt illustrerar en större bunkerbesparing och desto gulare en mindre besparing.

Från ”Quantifying voyage optimisation with wind-assisted ship propulsion: a new climate mitigation strategy for shipping” (Mason, 2021). Bild tagen och godkänd av James C. Mason.

Simuleringar genomfördes även på tretton av de globalt mest trafikerade rutterna för Panamax bulkfartyg (figur 12). Vindassistansen gav på dessa leder i genomsnitt bunkerbesparingar på 10,5%. Även här kan man se att rutter längre från ekvatorn är bättre lämpade för vindassisterad framdrivning, som visas i figur 11.

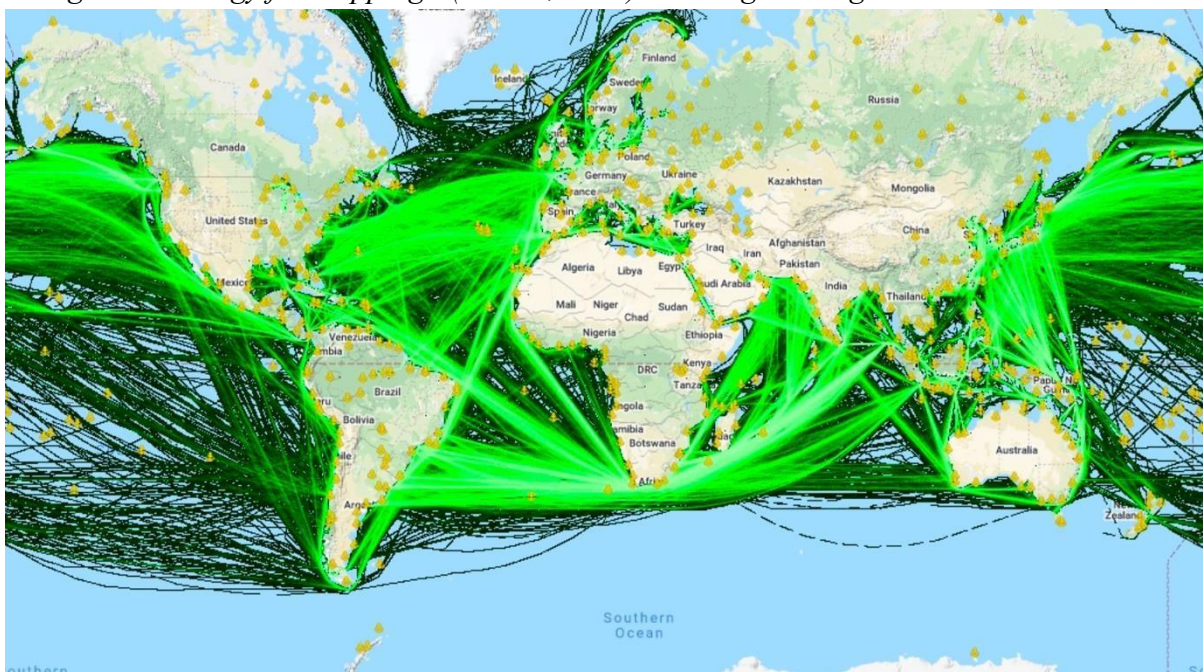
Men åter visar Mason att WAPS inte blir effektivare per automatik desto längre ifrån ekvatorn ruten är. Atlantruten “Canadian Ports – Macapa” och “Victoria (USA) - Panama Canal West”, som löper längs Förenta staternas och Mexikos västkuster, har flera likheter. De har båda en

nordsydlig riktning, och börjar och slutar kring samma latitud, "Victoria (USA) – Panama Canal West" är lite mer nordlig än "Canadian Ports – Macapa". Trots dessa likheter är "Canadian Ports – Macapa" simulationens mest effektiva rutt för vindassisterad framdrivning på 16%, medan "Victoria (USA) - Panama Canal West" är den minst effektiva, på 4,3%.



Figur 11. Karta över rutter där en desto rödare rutt illustrerar en större bunkerbesparing och desto gulare en mindre besparing.

Från "Quantifying voyage optimisation with wind-assisted ship propulsion: a new climate mitigation strategy for shipping" (Mason, 2021). Bild tagen och godkänd av James C. Mason.



Figur 12. Illustrerar ruttensitetdata för Panamax bulkfartyg. Desto ljusare grön, desto högre densitet.

Från ”Quantifying voyage optimisation with wind-assisted ship propulsion: a new climate mitigation strategy for shipping” (Mason, 2021). Bild tagen och godkänd av James C. Mason.

Mason tar även upp fart som en faktor, och lägger fram att en WAPS-enhet kan spara mer bunker om fartygets fart sänks. I tesen så sparade det simulerade Panamax bulkfartyget 12,2% bunker vid 12 knop över Nordatlanten. Siffran ökade till 25,2% vid fartsänkning till 8 knop.

Även Sofia Werner är inne på samma spår: ”Kan du vara flexibel i när du kommer fram så kan du komma väldigt högt, men har du noll flexibilitet och behöver gå i ett visst antal knop så blir det en helt annan siffra” (Johansson, 2024).

Detta motbevisas dock delvis av informationen från Rederi 1, som efter beräkningar har kommit fram till att de sparar mer bunker om de behåller sin normala maskinstyrka och lägger till kraft från WAPS-enheterna. Fartygen har en snittfart på cirka 12 knop. Det kallas för ”Fixed Power, Varying Speed”. Alternativet, ”Fixed Speed”, där maskinstyrkan varierar beroende på hur mycket effekt WAPS enheterna skapar, ger en lägre bunkerbesparing. R1 sparar 11% bunker vid ”Fixed Speed”, och 13% om ”Fixed Power, Varying Speed” används. Det betyder att de fartyg som Rederi 1 bygger med vindassisterad framdrivning planeras ha en högre genomsnittlig fart än sina systrar, fartyg utan WAPS, med cirka 1,5 knop.

Enligt beräkningar kan R1 fartyg spara ännu mer bunker om de använder sig av ett datorsystem som har ett angivet ETA, Estimated Time of Arrival. Då kommer systemet att hämta information kring strömmar och vind och sedan utforma resan för minsta möjliga bunkerförbrukning. Det kan leda till att fartygets fart och maskinstyrka kommer att variera.

Idag är det däremot svårt att jämföra olika modeller och resultat, eftersom det inte finns någon standardmodell för att beräkna dessa, även om guidelines har tagits fram (S. Werner, personlig intervju, 26 November, 2024). Exempel på data som kan skilja sig åt från modell till modell och som påverkar är fartygets hastighet, djupgående, väder, och om weather routing används eller ej (Laursen, 2023). Resultatet kan också presenteras på olika sätt, till exempel genom att redovisa WAPS-enheternas effekt, medan andra gånger nämns fartygets totala kraft framåt eller genom sparande av bunker. Emellanåt är det oklart om vindassisterad framdrivnings egen energiåtgång, som kraften för att rotorn ska rotera, ingår i beräkningen. I vissa modeller räknar man inte på vågors påverkan, och i andra studier kollar man inte hur skrovet, maskinen och propellern samverkar med seglen (Mao, 2024). Vissa modeller har körts på vinddata hämtad från ett tidsspänn över flera år, i andra exempel från en kortare period. Därför är det inte alltid möjligt att jämföra WAPS modeller med varandra.

4.2 Intervjuer hos svenska rederier

I detta avsnitt kommer de olika intervjuer som gjorts hos svenska rederier att presenteras, se figur 13 för svenskägt WAPS fartyg. Underrubrikerna kommer att behandla rederi för rederi och förklara deras tekniska och ekonomiska perspektiv.



Figur 13. Ett svenskt fartyg från Terntank med WAPS-system utanför Göteborgs hamn på Rivöfjorden.

Bild tagen och godkänd av Terntank.

4.2.1 Rederi 1

Rederi 1, R1, bygger nya fartyg med vindassisterad framdrivning. Företaget har en lång historia av att bygga fartyg som ligger i teknologisk och miljömässig framkant. Bakom detta ligger att man tycker det är roligt att pröva nya saker och att vara först. Därför tog R1 beslutet att investera i WAPS teknologi 2022, när nya fartyg beställdes.

Under denna process lät R1 designern av fartyget beräkna bland annat hur fartygen bäst framförs med vindassistans gällande kurs och maskinstyrka, var seglen skulle placeras, vilken WAPS teknik som skulle användas samt potentiell bunkerbesparing. Specifika beräkningar för rutter kopplade till kunder som visat intresse för satsningen gjordes också.

Testerna visade att man skulle kunna behålla tidigare kurser och maskinstyrka som på liknande äldre fartyg om man valde sugsegel. Också viktigt för valet av sugsegel var att i områdena R1 trafikerar är västliga vindar vanliga, vilket i detta fall gynnade denna teknik framför andra, så som rotorsegel. Rederiet förväntar sig att systemet ska vara relativt självständigt, och att besättningen inte ska behöva arbeta med det i någon större omfattning på en daglig basis. Prognosen från designern pekar på att den vindassisterade framdrivningen kan minska bunkerförbrukningen med 20%, men R1 har valt att gardera sig och hoppas på ca 10%.

Rederi 1 lyfter fram att man sparar pengar på de olika gröna satsningar man gjort, som installation av batteri och möjligheten att ta emot elektricitet från land. Dessa, tillsammans med den framtida vinningen från WAPS, gynnas extra av EU-ETS (European Union Emission Trading System). Rederiet har också haft nytta av de gröna, bunkerbesparande, investeringarna som ett försäljningsargument till kunder, som har sett det som ett sätt att minska kostnader och samtidigt förbättra sin gröna profil.

Enligt R1 får rederiet genom regelverket FuelEU Maritime räkna med att man har minskat 1% av sina koldioxidutsläpp enbart genom installationen av WAPS, av de 2% som ska minskas 2025 enligt regelverket. Rederi 1 säger att man redan har minskat sina utsläpp med mer än 2%, men om det inte varit fallet så hade det betytt att man inte hade behövt blanda i lika mycket, dyrare, biobränsle som annars i fartygens bunker.

Den intervjuade säger dock att det inte varit avgörande för rederiet att till exempel EU-ETS införts för att satsa på vindassisterad framdrivning, enligt R1 hade satsningen gjorts ändå. Man pekar på att R1 i 10 år på olika sätt försökt minska sina utsläpp, flera år innan sjöfarten inkluderades i EUETS. Däremot är utsläppssystemet välkommet och hjälper rederiet.

R1 upplever att det finns ett intresse från kunder kring investeringen i WAPS, och hävdar att detta intresse har hjälpt rederiet att beställa fler fartyg.

Man är dock inte övertygande om att installera WAPS på tidigare fartyg, en så kallad retrofit, och det finns flera skäl. Dels så anser rederiet att förarbetet, att bygga fundament för vindassisterad framdrift på samma plats som på de fartyg som byggs med WAPS, är för stort. Då finns möjligheten placera segel på tankdäcket, men där tvivlar man kring hur effektivt systemet kan bli.

Det framfördes även att andra delar av de äldre fartygen inte har byggts med WAPS i åtanke, specifikt rodret. Rodret på de tidigare fartygen riskerar att "äta upp" vinsten som den vindassisterande framdriften kan bidra med. På nybyggena har man installerat ett roder som ska fungera väl tillsammans med segel.

Dessutom klarar rederiet och dess fartyg de miljö- och utsläppskrav som idag finns, vilket betyder att denna faktor inte påverkar i detta fall.

Vad som däremot skulle kunna ändra kalkylen är om det skulle uppstå ett intresse och vilja från rederiets kunder att installera vindassisterad framdrift på befintliga fartyg.

4.2.2 Rederi 2

Rederi 2 har valt att avvakta med vindassisterad framdrivning med olika faktorer som grund. När rederiet designade nya fartyg under 2018 upplevde man att det var för tidigt, att WAPS var för nytt och oprövat, för att installera. Man ville då, 2018, och vill även idag ha mer data och information kring vindassisterad framdrift innan man investerar i det. Företaget såg det som att man väntade med att använda sig av tekniken och att man hoppades på att eventuella barnsjukdomar skulle lösas innan man eventuellt i framtiden genomför investeringen. R2 nämnde att bortplockandet av rotorsegel från *Viking Grace* har bidragit till deras beslut att inta en inväntande hållning gentemot

WAPS.

Vilken teknik, både i drift och under utveckling, som intresserade R2 mest i dagsläget var sugsegel, delvis genom inspiration från Rederi 1, men det ska inte tolkas som att det är givet att rederi 2 väljer denna teknik i framtiden. Man var tveksamma till något större vingsegel, eftersom man tvivlade på att segel av den storleken skulle fungera väl ur en praktisk synvinkel för deras fartyg och deras arbete. De intervjuade nämner också vikten av fällbara segel, eftersom man inte vill riskera att fartygen inte kan passera under till exempel broar eller få eventuella problem med stabiliteten.

Dessutom hade R2 efter egna beräkningar tvivel kring WAPS effektivitet i rederiets huvudsakliga fartområde. R2 poängterade även att man istället under designfasen hade valt att satsa på andra områden som minskade bunkerförbrukningen. Man uteslöt däremot inte att i framtiden installera WAPS på eventuella nybyggen.

För rederi 2 var det grundläggande att en eventuell investering i vindassisterad framdrift på sikt skulle löna sig. Ingen övre tidsgräns för att investeringen skulle börja löna sig nämndes dock för att rederiet skulle utesluta WAPS.

R2 reflekterade också kring om rederier är något mer positiva kring WAPS än vad vissa kunder är, eftersom det är lättare för rederierna att se den eventuella ekonomiska vinsten.

Under intervjun diskuterades även betydelsen av fartygsrutter gällande WAPS vara eller icke vara inom handelsflottan. Rederi 2 bedömer att vissa områden i Europa, och för den delen världen, är mer tillämpbara för denna typ av framdrivning, än vad andra är. De framförde, som exempel, att fartyg som går på en fast rutt hos en och samma kund har en stor fördel, då man hos dessa lättare kan beräkna lönsamhet i förväg utifrån studier och statistik, mot fartyg med ett större och osäkrare fartområde. Om fartyg trafikerar för olika kunder på olika områden gör det beslutet, att installera WAPS, mer utmanande då man får titta på data från många olika områden och väga samman mer statistik.

R2 var däremot mer tveksamma kring retrofits. De intervjuade trodde att projektet skulle bli för stort ur ett tekniskt, ekonomiskt och energikrävande perspektiv. Som exempel ansåg rederiet att installation av nya fundament för WAPS systemen var ett problem, att fundament och andra förstärkningar skulle innebära för mycket arbete för att vara värt det. Det fanns även oro kring hur lång tid en retrofit installation skulle ta, och därmed hur länge fartyget/fartygen skulle vara ur drift.

4.2.3 Rederi 3

Rederi 3 skiljer sig delvis från de tidigare intervjuade rederierna, då rederiet inte själv designar sina fartyg utan samarbetar med ett annat rederi som leder processen av fartygsdesign. När rederiet senast beställde fartyg år 2015 var vindassisterad framdrivning inte ett alternativ eftersom det var nytt och oprövat, och satsningar gjordes istället inom andra områden för att minska fartygens bunkerkonsumtion.

För tillfället planeras inga nybyggen, men om så vore fallet hade rederiet varit öppna för att bygga dessa med vindassisterad framdrift, eftersom man tror att det är ett sätt att spara pengar

över tid. Men R3 hade dock velat ha mer data från fartyg med WAPS som visar på att tekniken är effektiv, fungerar och sparar pengar.

Rederiet har inte någon särskild WAPS teknik som favorit, utan är öppna för såväl rotor, sug- som vingsegel. Om R3 hade bestämt sig för att investera i vindassisterad framdrivning hade man velat att tester av olika tekniker skulle gjorts. Däremot följer man R1:s installation av sugsegel med extra intresse, eftersom dessa rederier och dess fartyg är liknande till storlek och design samt fartområde.

Man nämner det över tid högre bunkerpriset, utsläppsrätter och kunders vilja att använda sig av miljövänligare fartyg som anledningar till att man är öppna för WAPS. Dessutom pekar man även på eventuella framtida skatter, lagar, regler som vi idag inte känner till, och samhällets fokus på att ställa om till förnybart som gör det långsiktigt gynnsamt att satsa på gröna initiativ. Rederi 3 tror alltså att följa den gröna trenden idag kan ge okända fördelar i framtiden. Där i ingår vindassisterad framdrivning.

Liknande R1 och R2 tänker även R3 kring retrofit. Man är inte övertygade om att systemen kommer passa sina fartyg, och har inga planer på att installera WAPS på befintliga fartyg.

R3 reflekterar över att incitamenten för att installera WAPS kommer vara större hos de rederier som vet eller tror sig veta att deras fartyg kommer att ha långa sjöresor. Samtidigt innebär det att rederier med fartyg som har kortare resor, till exempel genom att tillbringa längre perioder i hamn eller uppankrade, kommer lockas mindre av segel. Som exempel kan oceangående fartyg som tillbringar lång tid till havs nämnas jämfört med kustgående bulkfartyg eller supplyfartyg som ligger stilla en större del av tiden. Dessa skillnader, även om kontrasterna är mindre, kan finnas även inom liknande sektorer inom sjöfarten. Ett tankfartyg som är inhyrt av ett oljebolag, genom en så kallad time charter, och befinner sig i områden med kortare väntetider till terminal, kör antagligen över tid mer än ett tankfartyg som tillhör spotmarknaden och ofta rör sig i områden med långa köer in till hamn och terminal.

De intervjuade funderar även över om vindassistans är mer attraktivt för rederier med fartyg som syns mer och behöver bra PR, till exempel passagerarfärjor. Skälet skulle vara att konsumenter är mer medvetna om miljön och klimatet än vissa företag, vilket därför skulle påverka de fartyg som direkt har att göra med konsumenter. Passagerarfartyg med en grön profil skulle kunna tjäna på det, eller förlora om man uppfattas som en stor utsläppare av koldioxid. Det samma gäller inte på samma sätt för de rederier som riktar sig till kunder som inte prioriterar miljön lika högt. Som exempel kan nämnas relationen mellan tankfartyg och vissa oljebolag, där oljebolag i vissa fall har valt det billiga fartyget framför det dyrare, men miljövänligare, fartyget. (Argument påminner om 5.2.1)

4.2.4 Rederi 4

Intervjun med rederi 4 gav informationen att de är i ett tidigt stadie av appliceringen av WAPS inom flottan och väntar på vad som kommer ske inom tekniken och branschen i framtiden. De undersöker möjligheterna till vindassisterad framdrivning men har ännu inte valt att installera det på något av deras fartyg - varken som retrofit eller genom nybyggnation.

Undersökningarna som gjorts på olika fartyg inom rederiets flotta är genom simuleringar med flettner rotorn. Simuleringarna visar att WAPS är en genomförbar lösning och alla tester som gjorts visar på bränslebesparingar. Utmaningen med denna typ av framdrivning är att rederiets flotta består av fartyg som håller en förhållandevis hög snitthastighet, vilket är ett måste för att fartygen ska kunna följa sina tidtabeller. Den höga hastigheten verkar enligt R4:s simuleringar inte gagna vindassisterad framdrivning, vilket därmed tar bort en del av den potentiella vinsten.

Ett konstaterande som också gjordes i intervjun var att rederiets perspektiv på vindassisterad framdrivning präglas av storleken på eventuella besparingar i bränsleförbrukning och dess relation till installationskostnaden. Med tanke på att WAPS är relativt nytt räknar R4 med att det kommer att komma nya regler och skatter med tiden, vilket i sin tur kommer att påverka de ekonomiska förutsättningarna.

Anledningen till att rederi 4 valt att genomföra simuleringar med flettnerrotorn är för att man ser mest potential med denna teknik. Rotorn är enkel till sin konstruktion och relativt okomplicerad både gällande underhåll och drift. Det gör att besättning ombord bara skulle behöva genomföra en enklare och kortare utbildning för eventuella framtida installationer.

Som tidigare nämnt från rederi 4 passar förmodligen flettner rotorn in bäst för deras typer av trader, något som även Sofia Werner från RISE nämnt; "Rotorsegel har ett smalt spann där de fungerar bra, men inom det spannet ger de mycket hög framdrivningskraft".

"Scandlines har installerat rotorsegel på sin färja mellan Gedser och Rostock. Det är en jättebra rutt för rotorerna eftersom de har halvvind nästan hela tiden." (Johansson, 2024)

5. DISKUSSION

5.1 Hur kan vindassisterad framdrivning bidra till bränslebesparing?

I detta avsnitt diskuteras arbetets ena frågeställning kring bränslebesparing.

5.1.1 Bränslebesparingar, potential

Tabell 1 pekar på att bunkeråtgång kan minskas med användandet av WAPS. Däremot kan listan inte användas för att dra några större slutsatser kring vilka fartygstyper eller vilka rutter som kan gynnas mer av vindassisterad framdrivning, med möjligt undantag för kustnära fartyg runt eller under 5000 DWT (deadweight tonnage). Anledningen är att tabellen består av för lite, för spridda och för osäkra data. Mer om osäkra modeller i 5.1.2.

I tabellen kan man också se en till synes stor skillnad mellan de uppmätta och uppskattade siffror, där de uppskattade siffrorna är ungefär dubbelt så stora. Betyder detta då att de beräkningar på modeller som genomförts är glädjekalkyler? Inte nödvändigtvis, även om det inte helt kan uteslutas då det i flera fall är utvecklarna och producenterna av seglen själva som gjort modellerna. En viktig anledning till de lägre uppmätta siffrorna är att en stor del av fartygen i det genomsnittet är små, vilket tidigare i resultatdelen har förklarats vara till WAPS nackdel. Dessutom är utvecklingen och produktionen av vindassisterad framdrivning i ett tidigt stadie, och det, tillsammans med att seglen har varit retrofits där WAPS-systemen inte alltid har kunnat placeras på det mest optimala stället, kan ha minskat dess effektivitet. I jämförelse med de verkliga testerna så har WAPS i modellerna, kan man förmoda, placerats på de mest gynnsamma platserna ombord.

De potentiella minskade ekonomiska kostnaderna för redarna kan få positiva effekter. Med sparade pengar kan det satsas mer på nya, miljövänligare, men dyrare bränslen. Sofia Werner från RISE säger: “Men om vindassistans kan kapa bränsleförbrukningen med 20–30 procent så kanske det går att ett rederi har råd eller plats med andra bränslen. På så sätt kan vind möjliggöra andra lösningar” (Johansson, 2024). Niclas Dahl, VD Oceanbird, är inne på samma spår: “Vi ser oss som en möjliggörare för framtidens bränslen. Kombinationen av vind och nya bränslen kan minska bränslebehovet och göra det mer ekonomiskt framkomligt med nya, men ofta dyrare, bränslen” (Lindsten, 2024). Vindassisterad framdrivning kan därför ha en större potentiell effekt på utsläpp av växthusgaser än de som visas i simuleringar och mätningar.

Man kan dock invända mot detta resonemang. Argumentet emot är att redare kommer vilja se ekonomisk avkastning på varje investering, och inte tänka att de pengar som sparas på WAPS kan läggas på andra dyrare bränslen enbart för miljöns skull. De nya bränslena måste på något sätt komma företaget till gagn. Däremot kan vindassistans, som Werner säger, skapa plats för grönare men lågeffektiva bränslen. Till exempel, om WAPS minskar ett fartygs bunkerförbrukning med 20%, så behövs bara 80% av volymen av det nya bränslet för att framföra fartyget. Om “100%” av det nya bränslet hade behövts hade kanske inte investeringen blivit lönsam, på grund av till exempel minskad lastkapacitet i form av bränslets och tankarnas vikt.

Utifrån forskningen av Mason (Mason, 2021) och intervjun av Werner (Johansson, 2024) gällande var någonstans vindassisterad framdrivning är som mest effektiv, och vad det är som gör det effektivt, så är det inte osannolikt att fartyg i framtiden, med hjälp av t ex weather routing och väderkällor som SMHI, YR och Windy, kommer förändra sitt trafikmönster. Fartyg med WAPS kan, för att maximera användningen av sina segel, söka sig till områden med starkare och/eller mer gynnsam vind. Det kan innebära att fartyg väljer eller blir uppmanade av weather routing att gå närmare stormar eller hårt väder än tidigare. Rutter längre ifrån ekvatorn kan bli vanligare. Det kan i sin tur få flera effekter, så som fler olyckor, både på grund av stormar och andra fenomen som är vanligare i dessa områden, som is. Det här är dock spekulativt, och ett övergivande av att prioritera säkerheten inom sjöfarten är inget som detta arbete pekar på.

Resultaten från samma forskning pekar också på att vissa sektorer inom sjöfarten är osannolika att, i alla fall i en nära framtid, installera vindassistans i en större omfattning. Till dessa hör fartyg som trafikerar Stora sjöarna i Nordamerika. En anledning är att en stor del av flottan som trafikerar Stora sjöarna läggs upp under vintermånaderna mellan den 15 januari och den 25 mars eftersom slussar, exempelvis Soo Locks mellan Lake Superior och de lägre sjöarna, stänger (NKY Railfan, 2024). Siffror från Masons arbete visar att WAPS är effektivare under vintern, då det generellt blåser mer. Men vindassisterad framdrift på insjöar och kanaler har också nackdelen att det finns mindre yta för fartyg att korrigera sin rutt för att förbättra användningen av WAPS, vilket försvagar incitamenten för denna teknik i dessa områden, som Stora sjöarna (S. Werner, personlig intervju, 26 November, 2024).

Andra sektorer kan dock vara mer troliga att anamma WAPS, och där kan det eventuellt gå relativt fort. Maersk Tankers ingick 2024 (Bound4Blue, 2024) ett kontrakt för att installera sugsegel på fem 50 000 DWT, så kallade MR, fartyg. Ombord på dessa fartyg är det relativt enkelt att installera retrofits på de bästa platserna ombord, i motsats till fartygen som ägs av rederierna som blev intervjuade. MR fartyg trafikerar ofta längre rutter, som över Atlanten och Stilla havet, där man i större utsträckning kan använda sig av weather routing. Dessa faktorer föreslår att många MRfartyg snart kan använda sig av WAPS-teknik. Kombinationen av enkel installation och god placering plus möjligheten att använda sig av till exempel weather routing gör att MR-fartyg skulle kunna spara mycket bränsle med hjälp av WAPS. Om detta blir fallet, att WAPS fungerar väl på de första MR-fartygen som testas, såsom Maersks fartyg, kan man tänka sig att många andra rederier i samma segment kommer att ta efter. Dels för att spara pengar åt det egna rederiet, dels för att behålla sin konkurrenskraft gentemot fartyg som redan installerat WAPS.

I inledningen nämns det att sjöfarten står för 3% av de globala koldioxidutsläppen, men att dessa kan öka till 5-8% på grund av sjöfartens långsammare omställning till grönare bränslen än andra industrier (Mærsk Mc-Kinney Møller Center, 2021). Samma källa säger också att det kan leda till att det blir svårare att få in kapital i sjöfarten, och att konsumenterna kommer välja bort sjöfarten för andra transportslag, samt att dessa eventuellt kommer föredra lokala produkter. Om detta blir verklighet, så kan vindassisterad framdrivning hjälpa sjöfarten i stort och enskilda rederier i synnerhet att behålla kunder och möjligheten att få in kapital, till exempel genom lån eller yttre investeringar. Man kan dock tänka sig att detta gäller i högre grad för de rederier som har kunder som arbetar inom branscher där hållbarhet är av högre vikt. Därför skulle denna aspekt kunna bli mer relevant för rederier med kunder som har ett större miljöfokus.

5.1.2 Bränslebesparingar, variationer och osäkerheter

Även om det finns mycket forskning och data som pekar på att vindassistans är lönsamt och minskar utsläpp, så finns det frågetecken. Vid 2024 års slut fanns det 54 fartyg med WAPS-enheter i drift (Naida Hakirevic Prevljak, 2025). Siffran förväntas öka, men det är blott 0,1% av de uppemot 40 000 fartyg som möjligtvis kan ha installerat WAPS fram tills 2050. Tekniken är alltså ännu oprövad i större skala.

Det finns ingen standardmodell för beräkning av vindassisterad framdrift, även om det har tagits fram guidelines som hjälp för nya modeller som ska beräkna WAPS effekt (S. Werner, personlig intervju, 26 November, 2024). Med detta, avsaknaden av standardmodell, finns för och nackdelar. Fördelarna med bristen på enhetliga modeller är att nya sätt att räkna kan prövas, att tekniken för att modellera vindassistans lättare kan föras framåt och bli bättre. Nackdelarna är att vissa modeller kan vara osäkra, och ge rent felaktiga data.

“The difficulty of accurately estimating the fuel saving from WAPS is also the direct reason for the *Viking Grace* to remove her Rotor Sail in 2021” (Mao, 2024).

Osäkra modeller gav felaktiga data till installationen av WAPS på *Viking Grace*, vilket ledde till att seglen senare togs bort. Det är svårt att veta om en modellstandard hade hjälpt just *Viking Grace*, men ett beprövat och standardiserat sätt att räkna skulle framöver kunna göra det mindre svårt att beräkna WAPS bunkerbesparing på andra fartyg.

Ytterligare en nackdel med avsaknaden av en modellstandard är att det är svårt att jämföra olika modeller med varandra på grund av avsaknaden av en standard, simulationer genomförs med olika data och faktorer och resultaten presenteras även på olika sätt. Denna osäkerhet som följer hjälper inte att skapa ett förtroende för WAPS-branschen hos rederierna, och det blir i sin tur något som kan fördröja WAPS storskaliga implementation inom sjöfarten.

Det behövs alltså bättre, säkrare, mer lättförståeliga och mer jämförbara modeller. Samtidigt är det svårt att skapa en standardmodell, på grund av de olika förutsättningar som kommer från fartygs individuella egenheter och de olika rutter med skilda väderförhållanden som trafikerar. Kanske kan en “standardgrund”, med givna data, skapas som sedan byggs på med relevant data för att skraddarsy en WAPS-modell.

Men risken finns att vi kommer få fler fall som *Viking Grace* i framtiden, på grund av svårigheterna att beräkna WAPS effekt. Samtidigt, så är det kanske oundvikligt till en början. Med WAPS så inleds en ny era inom sjöfarten, ny mark bryts. Man måste nog närmast räkna med att inte alla installationer av WAPS kommer att bli helt lyckade eftersom det ännu är svårt att beräkna hur väl seglen fungerar på varje fartyg, vilket *Viking Grace* exemplifierar.

Med detta sagt så kan vi fortfarande generellt anta att vindassisterad framdrift kommer att vara effektivare i områden med mer och gynnsam vind (Mason, 2021), vilket presenteras i resultatdelen.

5.2 Intervjuer

I detta avsnitt diskuteras resultatet av intervjuerna utifrån arbetets frågeställning.

5.2.1 Hur ser svenska rederier på att installera vindassisterad framdrivning?

Det finns positivitet, skepsis och engagemang från svenska rederier i frågan, även om det givetvis skiljer sig åt från rederi till rederi. Å ena sidan är många rederier positiva, eftersom de inser möjligheten att minska sina kostnader och bli grönare med vindassisterad framdrivning. Å andra sidan är rederierna skeptiska och tveksamma, eftersom det ännu finns en brist på

faktiska exempel på fartyg med WAPS som minskat sina bunkerkostnader. Man hoppas alltså på tekniken, men litar inte på den än.

Hos de rederier vi intervjuat centreras tveksamheten framför allt kring retrofits, att installera WAPS i efterhand, inte nybyggen. Även hos Rederi 1, som bygger nya fartyg med vindassisterad drift, var man inte övertygade om retrofit. R1 var dock öppet för retrofit ifall rederiet upplevde att det efterfrågades av kunderna. Anledningen, enligt de intervjuade rederierna, var att man inte tror att man kan installera WAPS på de mest effektiva platserna ombord, på samma sätt som man kan när man bygger nytt. Frågan har alltså väckts om retrofit, i synnerhet, är lönsamt. Det kan också innebära att denna tveksamhet inte finns hos de rederier där man inte har några tekniska svårigheter att installera vindassisterad framdrift på de mest gynnsamma platserna ombord. Sammantaget så gör dock denna tveksamhet att prognoser om att 10 000 fartyg ska ha utrustats med WAPS till 2030 avlägset, vilket nämns i arbetets inledning.

I de två tidigare styckena har vi två möjliga nycklar till att WAPS, som på såväl nybyggen som retrofits, ska bli ett standardinslag i handelsflottan. Dels så behövs fler fartyg, inom olika segment, som har installerat och kan rapportera att vindassisterad drift fungerar och är ekonomiskt lönsamt. Det behövs fler lyckade exempel. Med mer "kött på benen" kan rederierna våga investera i WAPS. Fler lyckade exempel kan också leda till att kunder börjar efterfråga tekniken, vilket leder oss till nästa punkt.

Om fartygskunder efterfrågar vindassisterad framdrivning kan, som R1 öppnade för, mer WAPS installeras. Det gäller framför allt fartyg där den ekonomiska vinsten inte är lika självklar eller stor, till exempel retrofits. På fartyg där WAPS förväntas vara effektivt och lönsamt, som på många nybyggen, kan man vänta sig att många rederier i framtiden själva väljer att installera WAPS på grund av ekonomiska skäl. Detta gäller särskilt om tilltron till tekniken ökar genom fler goda exempel, som diskuterades i tidigare stycke.

Hos kunderna verkar det idag, efter intervjuer med redarna, finnas skillnader. Vissa kunder har redan hjälpt rederier att satsa på WAPS, medan andra inte tycks förstått den potentiella vinningen. Här kan det finnas kulturella skillnader, där kunder från skandinaviska länder verkar mer positiva till vindassisterad framdrivning än företag från andra delar av världen. Men det kan också bero på tillfälligheter och företagsspecifika samt individuella skillnader.

Kunderna kan driva på den vindassisterade framdrivningens utveckling genom att antingen betala rederierna för det, vilket kan vara lättare vid en T/C (Time Charter). Kunderna kan också genom regeländringar tvinga rederierna att installera WAPS, eventuellt med klimathotet och behovet av minskade utsläpp som skäl. Man kan också blanda metoderna.

Retrofits kan också bli vanligare om installationerna blir billigare och enklare, och/eller det visar sig ekonomiskt lönsamt. Det sistnämnda tvivlar idag de intervjuade rederierna på.

De tekniska system som idag finns och/eller är under utveckling ger alla en ökad vinst i bunker- och miljöbesparing. I det långa loppet vill rederierna välja den teknik som ger minst tekniska problem, den teknik som kräver minst utbildning för besättning och den teknik som kräver minst underhåll och tillsyn. Det skall vara ett tekniskt system som är självfungerande.

Sugsegel och vingsegel, men även till viss del rotorsegel, är de tekniska system som idag är mest aktuella för svenska rederier. Det är dessa teknologier rederierna framför allt undersöker och investerar i.

Det är intressant, men kanske inte oväntat, att R2 och R3 är mest intresserade av den teknik R1 har valt att investera i. Dessa tre rederier har liknande fartyg, och intresset från R2 och R3 i sugsegel kan bygga på samma anledningar som fick R1 att välja tekniken. Men det kan också bero på fördelarna som kommer från att göra samma som andra. R2 och R3 skulle kunna dra eventuell nytta av R1:s risk och förarbete, genom att till exempel välja samma leverantör av segel, om dessa visar sig vara effektiva. Det kan spara de två rederierna tid, kraft och pengar.

Det betyder inte att svenska redare har valt eller kommer att utrusta sina fartyg med sugsegel, för utvecklingen av tekniken är fortfarande i ett tidigt skede. Men kanske betyder det att sugsegel har tagit en tidig ledning för att bli den WAPS-teknik svenska fartyg kommer att använda sig av, åtminstone inom den del av sjöfarten R1, R2 och R3 verkar inom.

Något som också varit uppe på tapeten under intervjuerna är påverkan på rederierna från nya regler och skatter gällande fossila bränslen, både de som nyligen införts och de som kommer att införas. Även risken, eller chansen, för potentiellt fler regler och skatter har diskuterats. Här har vindassisterad framdrivning en fördel. Vind kan inte beskattas och kostar inga pengar, och systemet är även billigt i drift. Tekniken kan, om det visar sig effektivt, bli ett tryggt sätt för rederier att minska sina kostnader.

5.3 Metoddiskussion

För att besvara frågeställningarna i arbetet användes litteratur från flera källor som har direkt anknytning till sjöfarten gällande arbetets ämne. Litteraturen var avgörande för arbetet då mycket av den information som publicerats, direkt blir applicerad på intervjuerna som ägt rum under arbetets gång. Källorna är högt rankade inom branschen och anses därför ha en god trovärdighet. En metodkombination har alltså genomförts för att möjliggöra skapandet av både en bred och djup bild av WAPS potential och svenska redares syn på denna teknik (Denscombe, 2014).

Då syftet med arbetet var att undersöka hur svenska rederier ser på och eventuellt förbereder sig för vindassisterad framdrivning användes data från fyra olika rederier. Då dessa rederier som intervjuats bedriver olika typer av sjöfart men inom ungefär samma geografiska område, kunde jämförelser genomföras. Den information som utvärderades från intervjuerna gav en övergripande bild på hur rederier ser på och eventuellt förbereder sig för vindassisterad framdrivning. För ökad reliabilitet och möjlighet att jämföra rederierna djupare skulle ytterligare något eller några rederier kunnat tillämpas.

Intervjuerna bidrog med insikt i hur rederiernas tankegång går kring vindassisterad framdrivning och om det är något att satsa på i sin fartygsflotta. Då de rederier som blivit intervjuade opererar i ungefär samma geografiska område där flera rederier dessutom har sin flotta i samma typ av sjöfart, anses resultatet bidra med en god validitet. Diskussionerna inom de rederier som är inom samma sjöfart visar att resultatet är någorlunda likvärdigt.

Däremot går resonemanget och tankegångarna annorlunda för det rederi som inte är inom samma typ av sjöfart, till exempel val av teknik.

6. SLUTSATS

6.1 Hur kan vindassisterad framdrivning bidra till bränslebesparing?

Vindassisterad framdrivning kan bidra till bränslebesparing i varierande omfattning beroende på bland annat fartygsrutter och fartygsdesign.

I modeller visar fartyg som trafikerar områden med mer och gynnsamma vindar, samt möjlighet att anpassa sin rutt efter dessa faktorer, större potential att minska sin bunkerkonsumtion än till exempel kustnära fartyg i områden med omvända förhållanden.

WAPS potentiella effektivitet är hög, och beroende på hur mycket fartygen och handeln kan anpassas efter vindassistans, desto större nytta kan den vindassisterade framdrivningen göra.

Tekniken kan minska kostnader för rederierna, och göra dessa mindre påverkansbara för rörliga bunkerpriser och skatter på fossila bränslen. WAPS kan också möjliggöra andra, ofta dyrare, gröna bränslen genom att frigöra pengar och resurser till dessa.

Långt ifrån allt är dock klart, och hur och i vilken omfattning WAPS kommer bli en del av sjöfarten är ännu inte givet. Antagligen kommer användningen av vindassisterad framdrivning att skilja sig mycket från segment till segment. WAPS går en spännande framtid till mötes.

6.2 Hur ser svenska rederier på att installera vindassisterad framdrivning?

Det råder generellt en positivitet och ett engagemang från svenska rederier kring frågan, samtidigt som det finns en skepsis kring delar av ämnet. Möjligheten att eventuellt minska kostnader genom WAPS ser rederierna som något intressant och positivt. Skepsisen från de intervjuade rederierna grundar sig i den osäkerhet som ännu omgärdar området, till exempel

om tekniken verkligen fungerar och om den fungerar på just de rutter och fartyg det egna rederiet använder sig av. Det finns idag en allmän brist på reella exempel av fartyg med WAPS-teknik, och i synnerhet för lite fartyg med retrofit inom de segment våra intervjuade rederier verkar. Mot retrofit finns bland våra intervjuade rederier också tekniska invändningar, rederierna tror inte att retrofits går att installera på ett fördelaktigt sätt på sina fartyg.

Ett av de intervjuade rederierna, R1, har bestämt sig för att själva testa tekniken genom att installera den på sina nybyggen, medan andra av de intervjuade rederier delvis väntar på utfallet av detta test.

Därför kan resultatet av bland annat Rederi 1:s test spela stor roll för WAPS eventuella implementering för framför allt liknande fartyg, men även generellt inom sjöfarten. Om resultatet för dessa tester av R1 och liknande rederier blir lyckat kan WAPS snart finnas med som en del av framdrivningen på många nybyggen, och eventuellt även på retrofits. Om testen däremot inte faller väl ut, kan det ta längre tid för vindassisterad framdrivning att bli en standard för dessa fartyg, och möjligen inte alls om resultaten visar på väldigt låg effektivitet och lönsamhet.

Sammantaget vill sjöfarten ha mer data och information om WAPS innan man tar beslutet att installera. Dessa tidiga installationer och tester spelar därför en stor roll för WAPS framtid.

6.3 Rekommendationer till fortsatt arbete

Under arbetets gång gavs en inblick i hur vindassisterad framdrivning kan bidra till bränslebesparing och det gavs även ett resonemang kring hur svenska rederier ser på möjligheterna för installation och implementering av WAPS-tekniken ombord på sin fartygsflotta. Frågor som även väcktes var hur rederier ser på framtiden kring vindassisterad framdrivning inom de närmsta 15–20 åren, om och i så fall hur fartygens maskineri, propeller och roder skall anpassas efter tekniken, samt hur man ser på en förändrad fartygsstabilitet.

REFERENSLISTA

- Atkinson, G., Nguyen H., Biins. (2018). Considerations regarding the use of rigid sails on modern powered ships. *Cogent Engineering* (vol 5, 2018).
<https://research.ebsco.com/c/lu54te/search/details/xm2kk456wf?q=Considerations%20regarding%20the%20use%20of%20rigid%20sails%20on%20modern%20powered%20ships>
- B4B, Case Studies. Retrieved February 3, 2025, from
<https://bound4blue.com/installationsorderbook/#case-studies>
- Bahtić, F. (2024). *Back to overview VESSELS*. <https://www.offshore-energy.biz/nike-to-christenmaersks-new-methanol-enabled-containership/>
- Bound4Blue. (2024, November 11). *Bound4blue secures major wind propulsion retrofit contract with Maersk Tankers*. <https://bound4blue.com/bound4blue-secures-major-wind-propulsionretrofit-contract-with-maersk-tankers/>
- Chica, M., Hermann, R., Lin, N. (2023) Adopting different wind-assisted ship propulsion technologies as fleet retrofit: An agent-based modeling approach. *Technological Forecasting & Social Change* (2023, 192, 122559).
[https://research.ebsco.com/c/lu54te/search/details/ma2lrhuji5?limiters=FT1%3AY&q=A dopting%20different%20wind-assisted%20ship%20propulsion%20technologies%20as%20fleet%20retrofit%3A%20A n%20agent-based%20modeling%20approach](https://research.ebsco.com/c/lu54te/search/details/ma2lrhuji5?limiters=FT1%3AY&q=A%20adopting%20different%20wind-assisted%20ship%20propulsion%20technologies%20as%20fleet%20retrofit%3A%20An%20agent-based%20modeling%20approach)
- Craig Jallal. (2023, December 21). Wisby Tankers' juice carrier to receive eSails wind-assistance. *Riviera*. <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-contenthub/wisby-tankers-juice-carrier-to-receive-esails-wind-assistance-79008>
- Denscombe, M. (2014). *The Good Research Guide (electronic resource): for small scale research projects* (5th ed.). Open University Press.
- Econowind. (n.d.). *Client Stories, Chemship*. Retrieved February 11, 2025, from
<https://econowind.nl/client-stories/chemship/>
- European Commission. (2024, April 27). *What is the EU-ETS?*
https://climate.ec.europa.eu/euaction/eu-emissions-trading-system-eu-ets/what-eu-ets_en
- Ghorbani, M., Slaets, P., Lacey, J. (2024) Sensor-based modelling of suction sails to integrate into a numerical simulation tool for a wind-assisted vessel and its application to green shipping. *Ocean Engineering* (2024, 311, 118937).
[https://research.ebsco.com/c/lu54te/search/details/yye22txibr?limiters=FT1%3AY&q=Se nsor-based%20modelling%20of%20suction%20sails%20to%20integrate%20into%20a%20numerical%20simulation%20tool%20for%20a%20wind-assisted%20vessel%20and%20its%20application%20to%20green%20shipping](https://research.ebsco.com/c/lu54te/search/details/yye22txibr?limiters=FT1%3AY&q=Sensor-based%20modelling%20of%20suction%20sails%20to%20integrate%20into%20a%20numerical%20simulation%20tool%20for%20a%20wind-assisted%20vessel%20and%20its%20application%20to%20green%20shipping)
- Guzelbulut, C., Suzuki, K., Badalotti, T. (2024) Optimization techniques for the design of crescent-shaped hard sails for wind-assisted ship propulsion. *Ocean Engineering* (2024, 312, 119142)
<https://research.ebsco.com/c/lu54te/search/details/2pzxpb6gej?limiters=FT1%3AY&q=O>

[ptimization%20techniques%20for%20the%20design%20of%20crescentshaped%20hard%20sails%20for%20wind-assisted%20ship%20propulsion](#)

Johansson, K. (2024, November 15). Sjöfartstidningen. *Sjöfartstidningen*, 34, 38–39.

Lasky, J. (2022) Magnus effect. *Salem Press Encyclopaedia of Science* (2022)

Laurin, S., Färnlöf, S. (1994) Meteorologi Ett häfte om väder och klimat från SMHI. *Meteorologi* (1994, s. 44)

https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.165429!/Meteorologi_ett_hafteom_vader_och_klimat.pdf

Laursen, R. ; P. H. ; S. D. ; Z. R. ; N. D. ; V. S. D. ; P. E. , (2023). (American B. of S. C. D. and A. (2023). *EMSA - Potential of Wind-Assisted Propulsion for Shipping*.

www.emsa.europa.eu

Li, Z., Tang, J. (2024) Circulation-controlled wind-assisted ship propulsion: Technical innovations for future shipping industry decarbonization. *Energy conversion and management* (2024, 319, 118976)

<https://research.ebsco.com/c/lu54te/search/details/bi6pmgwdjv?limiters=FT1%3AY&q=Circulation-controlled%20wind-assisted%20ship%20propulsion%3A%20Technical%20innovations%20for%20future%20shipping%20industry%20decarbonization>

Lindsten, P. O. (2024, October 29). Oceanbird ska sätta segel på alla världens fartyg. *Dagens Industri*. <https://www.di.se/nyheter/oceanbird-ska-satta-segel-pa-alla-varldens-fartyg/>

Lu, R., Ringsberg, J. (2020) Ship energy performance study of three wind-assisted ship propulsion technologies including a parametric study of a Flettner rotor technology. *Ships and Offshore Structures* (vol 15, 2020)

<https://research.ebsco.com/c/lu54te/search/details/cmsndlhvd5?limiters=FT1%3AY&q=Ship%20energy%20performance%20study%20of%20three%20wind-assisted%20ship%20propulsion%20technologies%20including%20a%20parametric%20study%20of%20the%20Flettner%20rotor%20technology>

Mærsk Mc-Kinney Møller Center. (2021). *MMMCZCS_Industry-Transition-Strategy_Oct_2021*.

https://cms.zerocarbonshipping.com/media/uploads/documents/MMMCZCS_IndustryTransition-Strategy_Oct_2021.pdf

Mao, W. (2024). *PROJEKTSPECIFIKATION-FOI VERSION 5.0*.

Mason, J. C. (2021). *Quantifying voyage optimisation with wind-assisted ship propulsion: a new climate mitigation strategy for shipping* [The University of Manchester].

https://pure.manchester.ac.uk/ws/portalfiles/portal/209787529/FULL_TEXT.PDF

Naida Hakirevic Prevljak. (2024, May 15). *WindWings on Pyxis Ocean cut energy consumption of main engine by 32% per NM, DNV confirms*. <https://www.offshore-energy.biz/windwings-on-pyxis-ocean-cut-energy-consumption-of-main-engine-by-32-pernm-dnv-confirms/>

Naida Hakirevic Prevljak. (2025, January 13). Wind ship propulsion in maritime: 2024 was a year to remember. *Offshore Energy*. <https://www.offshore-energy.biz/wind-shippropulsion-in-maritime-2024-was-a-year-to-remember/>

NKY Railfan. (2024, March 9). *Winter Layup on the Great Lakes (25+ Ships): A Beginner's Guide to the Ships of the Great Lakes* [Video recording]. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=iKhln6y-yf4>

- Norsepower. (n.d.-a). *Norsepower Gas Carriers*. Retrieved February 11, 2025, from <https://www.norsepower.com/gas-carriers/>
- Norsepower. (n.d.-b). *Norsepower; Product*. Retrieved January 7, 2025, from <https://www.norsepower.com/product/#>
- Norsepower. (n.d.-c). *Norsepower roro*. Retrieved February 11, 2025, from <https://www.norsepower.com/roro/>
- Ouchi, K., Uzawa, K., Kanai, A., & Katori, M. (2013). “*Wind Challenger*” the Next Generation Hybrid Sailing Vessel.
- Petkovic, M., Zubčić, Marko., Krčum, Maja., Pavić, I. (2021) Wind Assisted Ship Propulsion Technologies – Can they Help in Emissions Reduction? *Nase More* (vol 168, 2021) <https://research.ebsco.com/c/lu54te/search/details/6kkyl75wyb?limiters=FT1%3AY&q=Wind%20Assisted%20Ship%20Propulsion%20Technologies%20%E2%80%93%20Can%20they%20Help%20in%20Emissions%20Reduction%203%20F%20>
- Ringsberg, J., Thies, F. (2023) Wind-assisted, electric, and pure wind propulsion – the path towards zero emission RoRo ships. *Ships and Offshore Structures* (vol 18, No 8) <https://research.ebsco.com/c/lu54te/search/details/66byh6tm35?limiters=FT1%3AY&q=Windassisted%2C%20electric%2C%20and%20pure%20wind%20propulsion%20-%20the%20path%20towards%20zero-emission%20RoRo%20ships>.
- RISE. (n.d.). *Expertise areas Offer About RISE Wind drives shipping forward*. Retrieved January 21, 2025, from <https://www.ri.se/en/our-stories/wind-drives-shipping-forward>
- Terntank. (2024). *Setting Sail for the Future*.
- Thies, F., Fakiolas, K. (2022) Wind propulsion. *Sustainable Energy Systems on Ships*. <https://research.ebsco.com/c/lu54te/search/details/3wcqad4kdf?limiters=FT1%3AY&q=Wind%20propulsion%20Sustainable%20Energy%20Systems%20on%20Ships%20Thies%2C%20F>
- Tillig, F., & Ringsberg, J. W. (2019). A 4 DOF simulation model developed for fuel consumption prediction of ships at sea. *Ships and Offshore Structures*, 14(sup1), 112–120. <https://doi.org/10.1080/17445302.2018.1559912>
- Tillig, F., & Ringsberg, J. W. (2020). Design, operation and analysis of wind-assisted cargo ships. *Ocean Engineering*, 211. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107603>
- Tillig, F., Ringsberg, J. W., Psaraftis, H. N., & Zis, T. (2020). Reduced environmental impact of marine transport through speed reduction and wind assisted propulsion. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 83. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102380>
- Viola, I. M., Sacher, M., Xu, J., & Wang, F. (2015). A numerical method for the design of ships with wind-assisted propulsion. *Ocean Engineering*, 105, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.06.009>
- Werner & Nisbet. (2023). *Speed trial and route analysis of m/v Copenhagen with Flettner rotor*. https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20230505141934_RE40201042-01revBCopenhagen.pdf

- Werner, S. (2022). *Speed trial and route analysis of m/v Annika Braren with rotor sail*.
https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20220707112458_RE40201042-0300-A.pdf
- Werner, S. (2023). *Speed trial and route analysis of m/v Ankie with suction wings*.
https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20230523105108_RE4020104204Ankie.pdf
- Werner, S. (2022b). *Speed trial and route analysis of m/v Frisian Sea with suction wings*.
https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20220728155051_RE40201042-02-00-A.pdf
- Werner, S. (2023b). *Speed trial and route analysis of m/v Tharsis with wings*.
https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20230505142244_RE4020104205Tharsis.pdf
- Clarkson Research. (2024). World Fleet Register. <https://www.clarksons.net/wfr/>

BILAGOR

1.1 Frågor till intervjuer

I detta avsnitt visas de frågor som delvis diskuterats i de semistrukturerade intervjuerna.

–

1. Har ni funderat på att installera vindassisterad framdrivning?
2. Om inte - varför gör ni inte det?
 - Argument för och emot
 - Hur har ni tänkt?
3. Hur ser ni på den tekniska biten kring ämnet?
 - Vilka tekniska system?
 - Val av teknik och varför det valet?
 - Vilka typer av fartyg kan gynnas av detta?
4. Hur ser ni på vindassisterad framdrivning rent ekonomiskt?
 - Hur långtid tar det innan man tar igen satsningen?
 - Hur mycket bunker tror ni att det kommer sparas?
5. Har ni funderat över retrofit (efterinstallation) på nuvarande fartyg?
 - Om det är fallet – vilken teknik satsar ni på då?
 - Varför / varför inte?
7. Har ni förberedelser för vindassisterad framdrivning?
 - På fartyg
 - Besättning som ska hantera drift och underhåll
8. Hur ser lastägarna kring ämnet?
 - Positiva / negativa?
 - Förberedelser gentemot de?

1.2 Bunkerbesparingstabell

Nedan är en sammanställning av bränslesparingsdata från befintliga och modellerade fartyg.

Namn:	Teknik:	Antal segel:	Fartygstyp:	LOA: / DWT:	Rutt / Område:	Bunkerbesparing:
Afros (Laursen, 2023)	Rotor	4	Bulk	200m / 63 223	Nantong (CN) – Vancouver (CA)	12.5% (uppmätt)
Alcyone (Norsepower, n.d.-b)	Rotor	2	Tanker	183m / 49 990	Sydkorea – Franska Polynesien	8% / 4–18% (uppskattning, producent)
Ankie (Werner, 2023a)	Sugsegel	2	Bulk	85m / 3638	Nordeuropeisk	3,5% (uppmätt, SSPA)
Annika Braren (Werner, 2022a)	Rotor	1	Bulk	85m / 5023	Nordeuropeisk	3,2%* (uppmätt, SSPA)
Atlantic Orchard (Craig Jallal, 2023)	Sugsegel	4	Bulk / Juice Carrier	180m / 34 500	Belgien - Brasilien	10–15% (uppskattning)
Camellia Dream (Norsepower, n.d.-b)	Rotor	2	Bulk	300m / 207 317	Global	6–10% (uppskattning, producent)
Capesize (B4B, Case Studies, n.d.)	Sugsegel	5	Capesize	300m / 210 000 DWT	Tubarao – Qingdao (Brasilien-Kina, söder om Afrika)	17,9 % (uppskattning, producent)
Chemical Challenger (Econowind, n.d.)	Sugsegel	4	ChemicalTanker	134m / 16 000	Atlanten	10% (uppskattning, producent)

Ciudad de Mahón (Laursen, 2023)	Vingsegel	2	RoPax	155m / 3400	Spanien – Nordafrika	7–22%, 15% “realistiskt” (uppskattning, forskning)
Copenhagen (Werner & Nisbet, 2023)	Rotor	1	Passenger	169m / 5000	Gedser (DK) - Rostock (DE)	7% (uppmätt, SSPA)*
Delphine (Norsepower, n.d.-c)	Rotor	2	RoRo	234m / 27 687	Nordeuropeisk	7 – 10% (uppskattning, producent)

Estraden (Norsepower, n.d.-c)	Rotor	2	RoRo	162m / 9741	UK - NL	6,1% (uppmätt, producent & NAPA)
Frisian Sea (Werner, 2022b)	Sugsegel	2	Bulk	118m / 6477	Nordeuropeisk	10% (uppskattning, producent)
General Cargo (B4B, Case Studies, n.d.)	Sugsegel	1	General Cargo	90m / 2850	Skagen - Rotterdam	15,6% (uppskattning, producent)
Maersk Pelican (Norsepower, n.d.-b)	Rotor	2	Tanker	245m / 109 647	Mellan & Fjärran Östern	8,2% (uppmätt, Lloyds Register)
MR Rotor Tanker (Tillig et al., 2020)	Rotor	6	Tanker		Rotterdam - New York - Houston	12% (uppskattning, forskning)
MR Suction Tanker (B4B, Case Studies, n.d.)	Sugsegel	4	Tanker	183m / 40K	New York - Rotterdam	15,1% (uppskattning, producent)
Northern Pioneer & Pathfinder (Norsepower, n.d.-a)	Rotor	1	CO2 Tanker	130m / 8000	Europeisk	5% (uppskattning, producent)
Oceanus Aurora (Norsepower, n.d.-a)	Rotor	2	Gas	230m / 62 500	Global	4% (uppskattning, metod verifierad av ClassNK)
Panamax Mason (Mason, 2021)	Rotor	4	Bulk	225m / 80 000	Nordatlanten	12,2% (uppskattning, forskning)

Panamax Mason (Mason, 2021)	Rotor	4	Bulk	225m / 80 000	Global	10,5% (uppskattning, forskning)
Pyxis Ocean (Naida Hakirevic Prevljak,	Vingsegel	2	Bulk	229m / 80 962	Global	32% (DNV, goda förhållanden)

2024)						
RoRo (B4B, Case Studies, n.d.)	Sugsegel	3	RoRo	200m / 18 000	Yokohama- Los Angeles	13,5% (uppskattning, producent)
SC Connector (Norsepower, n.d.-c)	Rotor	2	RoRo	155m / 8843	Nordeuropeisk	20 - 25% (uppmätt, producent)
Sea Zhoushan (Laursen, 2023)	Rotor	5	Bulk	340m / 324 268	Global	8% (uppmätt)
ShipClean Tanker (Tillig & Ringsberg, 2020)	Rotor	6	Tanker	183m / 50 600	Stilla havet	30% (uppskattning, forskning)
ShipClean RoRo (Tillig & Ringsberg, 2020)	Rotor	4	RoRo	200m / 21 000	Östersjön	14% (uppskattning, forskning)
ShipJourney (Tillig & Ringsberg, 2019)	Rotor	4	Tanker	183m / 50 610	Göteborg- St Petersburg	12 – 20% (uppskattning, forskning)
Shofu Maru (Laursen, 2023)	Vingsegel	1	Bulk	235m / 100 422	Japan – Nordamerika Japan - Australien	8% (uppskattning) 5% (uppskattning)
Terntank (Terntank, 2024)	Sugsegel	4	Tanker	147m / 15 000	Nordeuropeisk	11–19% (uppskattning, producent)
Tharsis (Werner, 2023b)	Vingsegel	2	Bulk	84m	Goole (UK) Rotterdam	2,5% (uppmätt, SSPA)
Wind Challenger	Vingsegel	9	Bulk	300m / 180 000	Yokohama - Seattle	20-30% (uppskattning, forskning)
(Ouchi et al., 2013)						

Totalt genomsnitt:	12,2%					
Uppskattning, producent, Snitt:	11,5%		Uppmätt forskning snitt:	5.1%		
Uppskattat totalt snitt:	12.9%		Uppmätt totalt snitt:	6,4%		

**INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**

Göteborg, Sverige 2025
www.chalmers.se



CHALMERS