

Potential och förutsättningar för sjöfartens omställning till fossilfri framdrift

Sammanfattande slutrapport

Inge Vierth
Karin Ek
Lina Trosvik

vti



VTI rapport 1169
Utgivningsår 2023
vti.se/publikationer

Potential och förutsättningar för sjöfartens omställning till fossilfri framdrift

Sammanfattande slutrapport

Inge Vierth

Karin Ek

Lina Trosvik

Författare: Inge Vierth (VTI), Karin Ek (VTI), Lina Trosvik (VTI)

Diarienummer: 2020/0202-7.2

Publikation: VTI rapport 1169

Utgiven av VTI 2023

Publikationsuppgifter – Publication Information

Titel/Title

Potential och förutsättningar för sjöfartens omställning till fossilfri framdrift. Sammanfattande slutrapport./Potential and conditions for shipping's conversion to fossil-free propulsion. Summarizing final report.

Författare/Author

Inge Vierth (VTI, orcid.org/0000-0001-6401-6536)

Karin EK (VTI, orcid.org/0000-0002-6235-3229)

Lina Trosvik (VTI, orcid.org/0000-0002-8511-882X)

Utgivare/Publisher

VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut/
Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI)
www.vti.se/

Serie och nr/Publication No.

VTI rapport 1169

Utgivningsår/Published

2023

VTI:s diarienumr./Reg. No., VTI

Diarienumret 2020/0202-7.2

ISSN

0347-6030

Projektnamn/Project

Potential och förutsättningar för svensk sjöfarts omställning till fossilfri framdrift/Potential and conditions for Swedish shipping's conversion to fossil-free propulsion

Uppdragsgivare/Commissioned by

Trafikverket/Swedish Transport Administration

Språk/Language

Svenska/Swedish

Kort sammanfattning

Projektet syftar till att analysera förutsättningarna och potentialen för en omställning till fossilfri framdrift för fartyg som anlöper Sverige. Tyngdpunkten är på fartygens framdrift och direkta utsläpp av växthusgaser. I denna slutrapport sammanfattas de resultat som har tagits fram inom ramen för delleveranserna Holmgren et al. (2021) "Sjöfartens användning av alternativa bränslen – trender och förutsättningar", Malmgren et al. (2021) "The feasibility of alternative fuels and propulsion concepts for various shipping segments in Sweden" och Trosvik & Brynolf (2023) "The Swedish maritime transport sector and scenario analyses of climate policy instruments".

Samtliga delleveranser har utvärderat den befintliga litteraturen. Holmgren et al. (2021) har därutöver genomfört en enkätstudie och analyserat data som beskriver energianvändningen och rörelserna av de över 4 300 fartyg som anlöpte Sverige 2019. Malmgren et al. (2021) har använt de i Holmgren et al. (2021) framtagna fartygssegment och matchat fartygens egenskaper såsom funktion, ruttlängd, bunkringstid, energianvändning och ålder mot prestationsprofiler utifrån tekniska, miljömässiga och ekonomiska förutsättningar av ett urval av alternativa energibärare och framdrivningstekniker. Trosvik & Brynolf (2023) har utvecklat den så kallade SETS-modellen (Swedish energy transition of shipping model) som syftar till att simulera fartygsägares val av drivmedel och framdrivningssystem utifrån en kostnadsminimerande ansats och analyserat effekter av olika styrmedelspaket.

Projektet har kommit fram till följande resultat:

- i) Omställning till fossilfri framdrift är ett relativt nytt område inom sjöfarten och det saknas allmänt accepterade definitioner till exempel för nya drivmedel. Den officiella statistiken saknar uppgifter för elanvändningen, dessutom är statistiken för utrikes sjötrafiken (som utgår ifrån sålt bränsle) svårt att använda.
- ii) Lösningar för att uppnå fossilfri framdrift skiljer mellan olika fartygssegment. Flytande naturgas (LNG), hydrerade vegetabiliska oljor (HVO) och el är de alternativa drivmedel som används mest. Ropax- och passagerarfärjor är de fartygssegment som är mest lämpade till eldrift.

Nyckelord

Sjöfart, klimat, omställning, energi, fossilfri framdrift, styrmedel.

Abstract

The project aims to analyze the conditions and potential for a conversion to fossil-free propulsion for ships calling Swedish ports. The emphasis is on the ships' propulsion and direct emissions of greenhouse gases. This final report summarizes the results produced within the framework of the deliverables Holmgren et al. (2021) "Shipping's use of alternative fuels – trends and conditions (in Swedish)", Malmgren et al. (2021) "The feasibility of alternative fuels and propulsion concepts for various shipping segments in Sweden" and Trosvik & Brynolf (2023) "The Swedish maritime transport sector and scenario analyzes of climate policy instruments".

All deliverables evaluated the existing literature. Holmgren et al. (2021) have also conducted a survey and analyzed data describing the energy use and movements of the over 4,300 ships that called Sweden in 2019. Malmgren et al. (2021) used the in Holmgren et al. (2021) identified ship segments and matched the ships' characteristics, such as route length, bunkering time, energy use and age, against performance profiles based on technical, environmental, and economic conditions of a selection of energy carriers and propulsion technologies. Trosvik & Brynolf (2023) developed the so-called SETS-model (Swedish energy transition of shipping model) which aims to simulate shipowners' choice of energy carriers and propulsion system based on a cost-minimizing approach and studied the impacts of four policy packages.

The project has found the following results:

- i) Conversion to fossil-free propulsion is a new area within shipping with a lack of generally accepted definitions. The official statistics lack data for the use of electricity, and the statistics for foreign maritime traffic (based on fuel sold) are difficult to use.
- ii) Solutions to achieve fossil-free propulsion differ between different ship segments. Liquefied Natural Gas, Hydrotreated Vegetable Oil and electricity are the most used alternative energy carriers. Ropax- and passenger ferries are the ship segments most suited to electric operation.

Keywords

Shipping, climate, conversion, energy, fossil-free propulsion, policy instruments.

Sammanfattning

Enligt Sveriges uppsatta klimatmål ska utsläppen av direkta växthusgaser från inrikes transporter (exklusive flyg) år 2030 endast uppgå till 30 procent av 2010 års nivå för att år 2045 nå nettonollutsläpp från alla sektorer. Sjöfart lyfts ofta som ett mer klimatvänligt alternativ jämfört med andra trafikslag då utsläppen per tonkilometer är relativt låga, men i jämförelse med väg- och järnvägstransporter har sjöfartens utveckling mot fossilfrihet gått långsamt.

Projektet syftar till att analysera förutsättningarna och potentialen för en omställning till fossilfri framdrift för fartyg som anlöper Sverige. Tyngdpunkten är på fartygens framdrift och direkta utsläpp av växthusgaser. I denna slutrapport sammanfattas de resultat som har tagits fram inom ramen för delleveranserna Holmgren et al. (2021) ”Sjöfartens användning av alternativa bränslen – trender och förutsättningar”, Malmgren et al. (2021) “The feasibility of alternative fuels and propulsion concepts for various shipping segments in Sweden” och Trosvik & Brynolf (2023) “The Swedish maritime transport sector and scenario analyses of climate policy instruments”.

Samtliga delleveranser har utvärderat den befintliga litteraturen. Holmgren et al. (2021) har därutöver genomfört en enkätstudie och analyserat data som beskriver energianvändningen och rörelserna av de över 4 300 fartyg som anlöpte Sverige 2019. Malmgren et al. (2021) har använt de i Holmgren et al. (2021) framtagna fartygssegment och matchat fartygens egenskaper såsom funktion, ruttlängd, bunkringstid, energianvändning och ålder mot prestationsprofiler utifrån tekniska, miljömässiga och ekonomiska förutsättningar av ett urval av alternativa drivmedel och framdrivningstekniker. Trosvik & Brynolf (2023) har utvecklat den så kallade SETS-modellen (Swedish energy transition of shipping model) som syftar till att simulera fartygsägares val av drivmedel och framdrivningssystem utifrån en kostnadsminimerande ansats och analyserat effekter av olika styrmedelspaket.

Den första versionen av SETS-modellen avser handelssjöfarten, i övrigt har dock särskilt fokus lagts på den offentligt styrda sjötrafiken. År 2020 gav regeringen Sjöfartsverket och Kustbevakningen i uppdrag att analysera hur deras respektive fartygsflotta kan bli fossilfri. I uppdragen uttrycktes en ambition om att staten ska gå före i omställningen till fossilfria transporter, både för att stärka trovärdigheten i klimatpolitiken och för att visa andra aktörer på möjligheten till omställning. Den offentligt upphandlade sjötrafiken utgörs framför allt av Gotlandstrafiken och den regionala kollektivtrafiken i Region Stockholm och Västra Götalandsregionen.

Förutsättningarna för omställningen till fossilfri framdrift skiljer dock mellan de tre största statliga fartygsägarna. För Sjöfartsverket är vägen framåt att hålla sig till sin nuvarande investeringsplan och att vid varje nytt investeringstillfälle göra en bedömning av vilka framdrivningssystem som är lämpliga. Under tiden ska minskade växthusgasutsläpp uppnås genom operationella åtgärder (som kan påverka servicenivån på längre sikt) och tekniska effektiviseringar samt användandet av HVO. Sjöfartsverket uppskattar att den sammanvägda potentialen att minska energianvändningen mellan 2020 och 2045 kan vara upp till 50 procent. Kustbevakningen planerar användandet av alternativa drivmedel, ombyggnationer av fartyg till hybridelektrisk framdrivning, energieffektiviseringar och investeringar i laddinfrastruktur. Helelektrisk framdrivning bedöms inte som lämpligt för myndighetens fartyg. Trots att myndigheten avbröt inköpen av HVO i februari 2023 av kostnadsskäl uppskattas utsläppsminskningen under perioden 2020–2045 kunna uppgå till 50 procent.

År 2017 tog Färjerederiet, som är den del av Trafikverket, fram handlingsplanen ”Vision 45” för hur verksamheten ska uppnå en flotta med nettonollutsläpp 2045. För att finansiera nya och ombyggda färjor, laddningsstationer och kajer planerar Färjerederiet prisökningar för färjedriften (som huvudsakligen betalas av Trafikverket) fram till 2033.

Projektet har kommit fram till följande resultat:

- i) Omställning till fossilfri framdrift är ett relativt nytt område inom sjöfarten och det saknas allmänt accepterade definitioner till exempel för nya drivmedel. Den officiella statistiken

saknar uppgifter för elanvändningen, dessutom är statistiken för utrikes sjötrafiken (som utgår ifrån sålt bränsle) svår att använda.

- ii) Lösningar för att uppnå fossilfri framdrift skiljer mellan olika fartygssegment, LNG, HVO och el är de alternativa drivmedel som används mest. Ropax- och passagerarfärjor är de fartygssegment som är mest lämpade till eldrift.

Summary

According to Sweden's climate targets, the emissions of greenhouse gases from domestic transport (excluding aviation) in 2030 must amount to 30 percent of the 2010 level to reach net zero emissions from all sectors in 2045. Shipping is often highlighted as a more climate-friendly alternative compared to other modes of transport as the emissions per tonne-kilometer are relatively low, but compared to road and rail, shipping's development towards fossil-free solutions has been slow.

This project aims to analyze the conditions and potential for a conversion to fossil-free propulsion for ships calling Swedish ports. The emphasis is on the ships' propulsion and direct emissions of greenhouse gases. This final report summarizes the results produced in the framework of the deliverables Holmgren et al. (2021) "Shipping's use of alternative fuels - trends and conditions (in Swedish)", Malmgren et al. (2021) "The feasibility of alternative fuels and propulsion concepts for various shipping segments in Sweden" and Trosvik & Brynolf (2023) "The Swedish maritime transport sector and scenario analyzes of climate policy instruments".

All deliverables evaluated the existing literature. Holmgren et al. (2021) have also conducted a survey and analyzed data describing the energy use and movements of the over 4,300 ships that called Sweden in 2019. Malmgren et al. (2021) used the in Holmgren et al. (2021) identified ship segments and matched the ships' characteristics, such as route length, bunkering time, energy use and age, against performance profiles based on technical, environmental, and economic conditions of a selection of alternative fuels and propulsion technologies. Trosvik & Brynolf (2023) developed the so-called SETS-model (Swedish energy transition of shipping model) which aims to simulate shipowners' choice of energy carrier and propulsion system based on a cost-minimizing approach and studied the effects of different policy packages.

The first version of the SETS model concerns commercial shipping; otherwise, however, special focus has been on the publicly controlled maritime fleet. In 2020, the Swedish government commissioned the Swedish Maritime Administration and the Coast Guard to analyze how their respective fleets can become fossil-free. The publicly procured sea traffic consists primarily of traffic to the island of Gotland and the public transport in Region Stockholm and Region Gothenburg.

The conditions for the shift to fossil-free propulsion, however, differ between the three largest state ship owners. For the Swedish Maritime Administration, the plan is to stick to its current investment plan and to assess which propulsion systems are suitable at each new investment opportunity. In the meantime, reduced emissions must be achieved through operational measures (which may affect the service level in the longer term) and technical efficiency improvements as well as the use of HVO. The Swedish Maritime Administration estimates that the combined potential to reduce energy use between 2020 and 2045 can be up to 50 percent. The Swedish Coast Guard plans the use of alternative energy carriers, conversions of ships to hybrid electric propulsion, energy efficiency improvements and investments in charging infrastructure. All-electric propulsion is not considered suitable for the authority's vessels. Although the authority canceled the purchase of HVO in February 2023 for cost reasons, it is estimated that the emission reduction during the period 2020–2045 could amount to 50 percent.

In 2017, Färjerederiet (that is part of the Swedish Transport Administration) adopted the "Vision 45", which is an action plan for how to achieve a fleet with net zero emissions by 2045. To finance new and rebuilt ferries, charging stations and quays, Färjerederiet plans price increases for ferry operations (which are mainly paid by Swedish Transport Administration) until 2033.

The project has arrived at the following results:

- i) Conversion to fossil-free propulsion is a new area within shipping with a lack of generally accepted definitions. The official statistics lack data for the use of electricity, and the statistics for international maritime traffic (based on fuel sold) are difficult to use,

- ii) Solutions to achieve fossil-free propulsion differ between different segments. Liquefied Natural Gas, HVO and electricity are the most used alternative energy carriers. Ropax- and passenger ferries are well suited to electric operation.

Förord

Projektet ”Potential och förutsättningar för sjöfarts omställning till fossilfri framdrift” har genomförts av VTI i samarbete med Chalmers tekniska högskola, Sjöfartsverket och Kustbevakningen mellan hösten 2020 och våren 2023. Projektledare var Kristina Holmgren (till 2021-03-31) och därefter Inge Vierth, övriga medarbetare från VTI var Lina Trosvik och Karin Ek. Från Chalmers arbetade Selma Brynolf, Maria Grahn, Julia Hansson och Elin Malmgren i projektet. Från Trafikverket Färjerederiet bidrog Fredrik Almlöv och Peter Peterberg och från Sjöfartsverket Albert Hagander och Björn Andreasson, från Kustbevakningen ingick Jonas Nilsson i referensgruppen.

I denna rapport sammanfattas projektets resultat och sätts i relation till utvecklingen sedan projektets start och framöver.

Projektdeltagarna tackar Trafikverkets Sjöfartsportfölj för finansieringen.

Stockholm, april 2023

Inge Vierth
Projektledare

Granskare/Examiner

Pia Bergdahl, Trafikanalys.

De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning. /The conclusions and recommendations in the report are those of the authors and do not necessarily reflect the views of VTI as a government agency.

Innehållsförteckning

Publikationsuppgifter – Publication Information	3
Kort sammanfattning.....	4
Abstract	5
Sammanfattning	6
Summary	8
Förord.....	10
Begreppslista.....	13
1. Inledning	14
1.1. Bakgrund.....	14
1.2. Syfte, fokus och avgränsningar	14
1.3. Övergripande angreppssätt och leveranser.....	14
1.3.1. Koppling mellan leveranserna	16
1.3.2. Drivmedel som behandlas	18
2. Ramar för sjöfartens omställning	20
2.1. Drivmedelkonsumtion och utsläpp i inrikes och utrikes trafik	20
2.2. Klimatstyrmedel.....	21
2.2.1. Nationella styrmedel	21
2.2.2. Internationella styrmedel	21
2.3. Teknisk utveckling	23
3. Holmgren et al., (2021).....	24
3.1. Metod	24
3.2. Resultat.....	25
3.2.1. Användning av alternativa drivmedlen baserat på enkätundersökning.....	25
3.2.2. Sjöfartens drivmedelsförbrukning beräknad med Shipair.....	26
3.2.3. Linjetrafik och elektrifieringspotential – en exempelanalys.....	27
4. Malmgren et al., (2021)	29
4.1. Metod	29
4.2. Resultat.....	29
5. Omställning av den offentligt kontrollerade sjötrafiken	34
5.1. Statens fartygsflotta.....	34
5.1.1. Sjöfartsverket och Kustbevakningen	34
5.1.2. Färjerederiet	37
5.2. Offentligt upphandlat sjötrafik.....	38
6. Trosvik & Brynolf (2023)	39
6.1. Metod	39
6.1.1. Styrmedelsscenarioer	43
6.1.2. Antaganden för offentlig och offentligt upphandlad sjöfart	44
6.1.3. Modellens omfattning och begränsningar.....	48
6.2. Resultat.....	49
6.2.1. Växthusgasutsläpp i modellens basår	49
6.2.2. Scenarioestimeringar.....	50

7. Slutsatser och diskussion	53
7.1. Omställning till fossilfri framdrift är ett relativt nytt område inom sjöfarten	53
7.2. Den officiella statistiken för utrikessjötrafiken är svårt att använda	53
7.3. LNG, HVO och el är de alternativa drivmedel som används mest	53
7.4. Förutsättningar skiljer för statliga fartygsägare	54
7.5. Ropax- och passagerarfärjor är bra lämpade för eldrift	55
7.6. SETS modellerar fartygsägarnas beslut baserade på kostnader för olika alternativ	55
7.7. Beräknade effekter av styrmedelsscenarioer.....	55
7.8. Det finns ett stort analysbehov avseende fartygens omställning till fossilfri framdrift	56
7.9. Den genomsnittliga åldern av fartygen som anlöper Sverige är relativt högt	56
Referenser	57

Begreppslista

Begrepp	Förklaring
AIS	Automatic identification system
BAU-scenario	Business as usual-scenario
Bruttodräktighet	Enhetslöst mått på ett fartygs storlek vilket anger fartygets totala inneslutna volym. Förkortas även GT efter det engelska begreppet Gross tonnage.
CO ₂ e	Koldioxidekvivalenter
AFIR	Alternative Fuels Infrastructure Regulation.
Dwt	Dödsvikston
ETD	Energy Tax Directive, energiskattedirektivet.
EU ETS	European Union Emission Trading System, Europeiska unionens utsläppshandelssystem.
EUA	European Union Allowance, utsläppsrätt under EU ETS.
FF55	"Fit for 55", styrmedelspaket med förslag på ny lagstiftning inom Europeiska unionen för att nå klimatmålen 2030.
GJ	Gigajoule
GT	Bruttodräktighet (Gross Tonnage)
HELCOM	Helsinki Commission The Baltic Marine Environment Protection Commission
HFO	Heavy fuel oil
HVO	Hydrerade vegetabiliska oljor
IMO	International Maritime Organization, internationella sjöfartsorganisationen.
IMO-nummer (IMO/MMSI-nummer)	Ett unikt ID-nummer för varje fartyg som följer fartyget under hela dess livstid.
LBG	Liquefied Biol Gas, (förvätskad biogas).
LNG	Liquefied Natural Gas, flytande naturgas.
MGO	Marine gas oil
MRV-databas	Monitoring, Reporting & Verification, EU:s system för vilket fartygsägare på årsbasis rapporterar in drivmedelsförbrukning och koldioxidutsläpp.
NH ₃	Ammoniak
Ro-Ro	Roll on/roll off, lastfartyg som är konstruerade för att lasten lätt ska kunna transporteras av och på fartygen.
Ro-Pax	Roll on/roll off- passagerarfartyg, en färjeform med både passagerar- och lastkapacitet.
SETS-model	Swedish energy transition of shipping model
StatCode	Indentifikationssystem för fartyg administrerat av IHS Markit
TTW-perspektiv	Tank to wake
WTW-perspektiv	Well to wake

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Enligt Sveriges uppsatta klimatmål ska utsläppen av direkta växthusgaser från inrikes transporter (exkl. flyg) år 2030 endast uppgå till 30 procent av 2010 års nivå för att år 2045 nå nettonollutsläpp från alla sektorer. Sjöfart lyfts ofta som ett mer klimatvänligt alternativ jämfört med andra trafikslag då utsläppen per tonkilometer är relativt låga, men i jämförelse med väg- och järnvägstransporter har sjöfartens utveckling mot fossilfrihet gått långsamt.

Projektet ”Potential och förutsättningar för svensk sjöfarts omställning till fossilfri framdrift” är till stor del en uppföljning av projektet ”Morötter och piskor inom sjöfarten för att uppnå miljö kvalitetsmål” som visade att energieffektiviseringar, helelektrifiering och övergång till biodrivmedel har en stor potential för att reducera sjöfartens utsläpp till luft men att det krävs ytterligare styrmedel för att miljö kvalitetsmålen ska nås samt att det behövs mer forskning och utveckling kring den faktiska potentialen och förutsättningar för fossilfri framdrift inom sjöfarten. I Vierth et al. (2020) sammanfattas slutsatserna under rubrikerna: 1) Underlagen för att följa upp och prognosticera sjöfartens utsläpp behöver förbättras, 2) Miljö kvalitetsmålen kommer inte att nås med dagens styrmedel och 3) En kombination av olika styrmedel behövs för att uppnå målen.

Föreliggande projekt tillför en vidare analys och kvantifiering av förutsättningarna och potentialen för en omställning till fossilfri framdrift av de fartygen som anlöper svenska hamnar. Särskilt fokus läggs på den offentligt styrda sjötrafiken; det vill säga den statligt ägda fartygsflottan och den offentligt upphandlade trafiken som utgör cirka sju procent av de samlade växthusgasutsläppen från fartygen som anlöper Sverige i Shipair-området¹ och cirka 40 procent av inrikestrafiken (Trosvik & Brynolf, 2023). Färjerederiet antog 2017 inriktningsbeslutet ”Vision 45” vilket är en handlingsplan för hur verksamheten ska uppnå en flotta med nettonollutsläpp 2045. År 2020 gav regeringen Sjöfartsverket och Kustbevakningen i uppdrag att analysera hur deras respektive fartygsflotta kan bli fossilfri. I uppdragen uttrycktes en ambition om att staten ska gå före i omställningen till fossilfria transporter, både för att stärka trovärdigheten i klimatpolitiken och för att visa andra aktörer på möjligheten till omställning (Regeringsbeslut, I2020/01135/US; Regeringsbeslut, I2020/01136/US). Uppdragen redovisades 31 januari 2021. Den offentligt upphandlade sjötrafiken utgörs framför allt av Gotlandstrafiken och den regionala kollektivtrafiken i Region Stockholm och Region Västra Götaland.

1.2. Syfte, fokus och avgränsningar

Projektet syftar till att analysera förutsättningarna och potentialen för en omställning till fossilfrihet för fartyg som anlöper Sverige i inrikes och utrikes trafik. Tyngdpunkten är på fartygens framdrift. Fritidsbåtar behandlas inte. Projektets fokus rör klimatpåverkan och direkta utsläpp av växthusgaser, det vill säga TTW-perspektivet (tank to wake). Livscykeln, det vill säga WTW-perspektivet (well to wake), och luftföroreningar täcks inte inom ramen för slutrapporten.

1.3. Övergripande angreppssätt och leveranser

De för projektet uppsatta målen har uppnåtts genom de i Tabell 1 listade leveranserna. I föreliggande slutrapport inkluderas den utveckling som ägt rum under projekttiden (hösten 2020 till våren 2023) i kapitel 2 och 7; i övrigt återges indata och resultat som presenterat i de respektive leveranserna.

Två leveranser har använts i regeringsuppdrag och utredningar. VTI rapport 1093 (Holmgren et al. 2021) citeras i SOU 2022:15 och i VTI:s regeringsuppdrag avseende elektrifieringen av transporterna (Sjöstrand & Lindgren, 2022) och Malmgren et al. (2021) i SOU 2022:15 och i en underlagsrapport till

¹ Se Figur 1.

Trafikanalys regeringsuppdrag inför den kommande klimatpolitiska handlingsplanen (Fridell et al., 2022). Dokumenten Malmgren et al. (2021) och Trosvik & Brynolf (2023) har tagits fram inom ramen för Elin Malmgrens och Lina Trosviks doktorsavhandlingar och kommer vara tillgängliga så snart manuskripten är accepterade av vetenskapliga tidskrifter.²

Tabell 1. Projektets leveranser.

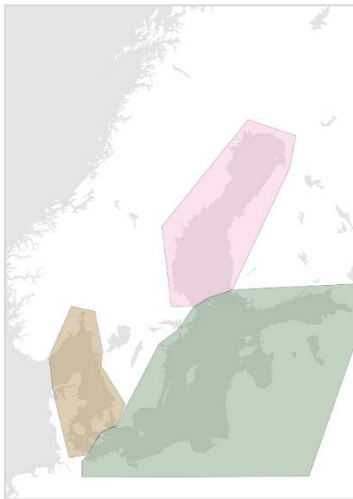
	Leverans	Mål
April 2021	Digital workshop med 28 aktörer anordnas (se Bilaga 3 i VTI rapport 1093)	Att anordna ett seminarium där representanter för dem som bedriver sjöfart kan presentera sitt arbete med omställningen till fossilfri framdrift och teknikleverantörer kan presentera sin bild av teknikutvecklingens utmaningar och möjligheter.
Juni 2021	Digitalt öppet granskningsseminarium av VTI rapport 1093 med cirka 50 deltagare	Att ta fram data som visar hur stor användningen av alternativa drivlinor och drivmedel är idag inom inrikes sjöfart och för utrikes linjesjöfart. Detta inkluderar exempelvis LNG, HVO, metanol och el för framdrift.
Juni 2021	VTI rapport 1093 publiceras: Holmgren et al. (2021) "Sjöfartens användning av alternativa bränslen – trender och förutsättningar"	
Nov. 2021	Elin Malmgren (Chalmers) presenterar bidraget Malmgren et al. (2021) "The feasibility of alternative fuels and propulsion concepts for various shipping segments in Sweden" på IAME-conference in Rotterdam.	Att genom en litteratursammanställning ta fram en matris som visar vilka parametrar som är kritiska vid valet av fossilfri framdriftsteknik för fartyg. Att för olika fartygstyper med olika kravspecifikationer ange vilka tekniker för fossilfri framdrift som är möjliga i olika tidsperspektiv (idag, till 2030 samt till 2045). Resultaten presenteras i en matris
	Färjerederiets, Sjöfartsverkets och Kustbevakningens leveranser presenteras i slutrapportens kapitel 5.	
Sept. 2022	Inge Vierth (VTI) och Selma Brynolf (Chalmers) presenterar preliminära resultat på Transportstyrelsens sjöfartsseminarium 21/22 september 2022	
Maj 2023	Lina Trosvik (VTI) lämnar in licentiatsuppsats där bidraget "Trosvik och Brynolf (2023)" ingår som ett papper.	Att bedöma olika fartygstypers möjlighet att övergå till olika fossilfria framdriftstekniker 2030 resp. 2045 och därmed ta fram olika potentialer för bränslen och annan framdrift fördelat på tekniktyper. Att uppdatera scenarieberäkningar (Trosvik m.fl., 2020) av växthusgas-utsläpp och luftföroreningar från inrikes och utrikes linjesjöfart med uppdaterade data. Utsläppen uppskattas baserat på scenarier över olika bränslemixer för fartygsflottan, vilka i sin tur baseras på bättre kunskap kring de alternativa teknikerna för framdrift med hänsyn till teknisk mognadsgrad, uppskattad tillgång på olika bränsletyper samt fartygens potential till omställning. Detta användas för att undersöka hur mycket utsläppen av växthusgaser och luftföroreningar kan minskas till 2030 resp. 2045. Att ta fram kostnader för att ställa om fartygen till de olika alternativa framdrifternas fördelat på fartygskostnader och infrastrukturkostnader i tidsperspektivet till 2030 och 2045.
April 2023	Sammanfattande slutrapport (VTI rapport nr 1169 publiceras i slutet på april)	Resultaten sammanfattas i kort populärvetenskaplig form.
Maj 2023	Slutseminarium anordnas 2023-05-08	

² Intresserade som inte vill avvakta de vetenskapliga publikationerna kan be Elin Malmgren respektive Lina Trosvik om underlag. E-postadresserna är elin.malmgren@chalmers.se och lina.trosvik@vti.se.

1.3.1. Koppling mellan leveranserna

I kapitel 2 beskrivs ramarna för sjöfartens omställning till fossilfri framdrift, det vill säga utvecklingen av drivmedelskonsumtionen, emissionerna, styrmedlen, tekniska lösningar och kostnader. Som källor används litteraturen inklusive officiella dokument och den officiella statistiken.

I leveransen Holmgren et al (2021), se kapitel 3, utfördes olika datainsamlingar för att beskriva utgångsläget 2019. Förutsättningarna för omställningen analyseras i huvudsak utifrån tre faktorer: 1) storleken på den totala drivmedelskonsumtionen, 2) vilka alternativa drivmedel som i utgångsläget används och i hur stor utsträckning och 3) hur trafikmönstren ser ut för olika fartygssegment. Projektet har anlitat SMHI att ta fram ett "bränsledataset" som beskriver fartygens drivmedelskonsumtion, och ett "ruttdataset" som beskriver deras trafikmönster. Dataseten har framställts med hjälp av Shipair-modellen och AIS-data från Östersjön och Västerhavet.³ Modellområdet visas i Figur 1. AIS-data kompletteras med fartygstekniska uppgifter, i huvudsak från IHS Fairplays databas för 2016. Om tekniska uppgifter saknas för ett fartyg görs uppskattningar utifrån likande fartyg med kända parametrar. Bränsledatasetet är en uppdatering av materialet presenterat i Windmark (2019), framför allt genom användandet av AIS-data från 2019 i stället för 2015. Datasetet täcker 4403 fartyg och drivmedelskonsumtionen presenteras aggregerat till fartygssegment enligt StatCode5 (IHS Markit, 2017). Se Tabell 2. För ruttdatasetet används Shipair modellen för att identifiera trafikmönster hos fartyg som anlöper Sverige regelbundet. Ruttdatasetet inkluderar 4331 fartyg och deras tio vanligaste rutter under 2019.



Figur 1. Shipairs modellområde även inlandssjöfart täcks. Källa Widmark (2019).

I Tabell 3 beskrivs hur de 4331 fartygen i ruttdatasetet fördelar sig över de olika segmenten. Cirka en tredjedel av fartygen utgörs av torrlastfartyg. Kryssnings- och roro-fartyg är störst mätt i bruttodräktighet. Fartygens genomsnittliga ålder är 24 år. Passagerarfärjor har med 48 år högst genomsnittlig ålder och tankfartyg med 12 år lägst genomsnittlig ålder. Detta kan jämföras med den genomsnittliga skrotningsåldern, vilken enligt Hoffman (2020) i genomsnitt uppgår till 30 år för i den globala fartygsflottan. För passagerarfartyg uppgår den genomsnittliga skrotningsåldern globalt till cirka 38 år (Hoffman, 2020), vilket innebär att passagerarfartyg som anlöper Sverige är betydligt äldre än passagerarfartyg i den globala fartygsflottan. Sammansättningen i form av storlek och användningsområde kan dock skilja sig mellan den globala och nationella fartygsflottan.

³ AIS-data samlas in genom HELCOM-samarbetet via Sjöfartsverket. I enlighet med direktiv från IMO är användandet av AIS obligatoriskt för alla fartyg med minst 300 i bruttodräktighet (GT) i internationell trafik, gods-fartyg i nationell trafik med 500 GT och över och alla passagerarfartyg oavsett storlek och trafikmönster. AIS-data ger därför en vältäckande bild av den kommersiella sjötrafiken till, från och inom Sverige.

Tabell 2. Fartygssegment baserat på StatCode 5. Källa: Bearbetning utifrån (Windmark, 2021).

Fartygssegment	StatCode 5	Beskrivning (enligt Statcode5)
Tankfartyg	A1	Inkluderar fartyg som fraktar förvätskad gas, kemikalier, olja och andra vätskor.
Bulkfartyg	A2	Inkluderar fartyg som fraktar torr bulk, torr/olja bulk, självavlastande bulk och annan torr bulk.
Torrlastfartyg	A31, A32, A34, A38	Inkluderar fartyg som fraktar styckegods-, passagerare/styckegods, kyllast-, och övrig torrlast.
Containerfartyg	A33	Inkluderar fartyg som fraktar containers.
Ropaxfartyg	A36	Inkluderar fordonsbärande och passagerarbärande Ro-Ro cargo.
Kryssningsfartyg	A37A	Inkluderar kryssningsfartyg (Passenger cruise).
Passagerarfärjor	A37B	Inkluderar passagerarfärjor (Passenger ferry).
Fiskefartyg*	B1	Inkluderar fartyg som fångar fisk eller annat fiske.
Servicefartyg	B2, B3	Inkluderar fartyg för offshore leveranser (t.ex. supply-fartyg och kabelläggande fartyg) samt blandat (t.ex. forskningsfartyg, bogserfartyg, isbrytare och muddringsfartyg).
Rorofartyg	A35	Inkluderar fartyg gjorda för att transportera last på hjul så som exempelvis bilar, lastbilar och trailers.
Övriga	W, X, Y, Z	Inkluderar alla övriga fartyg W (Inland waterways, X (Non-merchant ships), Y (Non-propelled ships) samt Z (Icke fartygsstrukturer).
Icke klassificerbara fartyg**	-	Fartyg med okänd StatCode.

*Fiskefartyg täcks endast av klimatmålen uppsatta för 2045 och inte målen för transportsektorn till 2030.

**Icke klassificerbara fartyg är endast relevant för bränsledatasetet då Trosvik och Brynolf (2023) har klassificerat alla fartyg i ruttdatasetet.

Tabell 3. Fartygssegment och fartygens och egenskaper utifrån Shipairs ruttdataset och bearbetning av Trosvik & Brynolf (2023).

Fartygssegment	Antal fartyg	Genomsnittlig bruttodräktighet (GT)	Genomsnittlig dödvikt (dwt)	Genomsnittlig ålder (år)
Tankfartyg	821	14 556	21 600	12
Bulkfartyg	118	21 740	33 272	15
Torrlastfartyg	1436	3 636	4 428	17
Containerfartyg	98	24 195	25 372	14
Ropaxfartyg	157	13 923	2590	29
Kryssningsfartyg	81	47 344	4791	23
Passagerarfärjor	248	170	21	48
Fiskefartyg	388	107	42	32
Servicefartyg	740	574	374	24
Rorofartyg	170	43 770	15 711	15
Övriga	74	943	0	30
Samtliga fartyg	4331			24

Leveransen Malmgren et al. (2021), som redovisas i kapitel 4, har använt de i Holmgren et al (2021) framtagna fartygssegment. Kartläggningen av olika drivmedlens potential fram till 2045 innehåller även kostnadsaspekter. Kartläggningen görs framför allt utifrån litteraturen.

Som nämns ovan fick Sjöfartsverket och Kustbevakningen varsitt regeringsuppdrag att analysera möjligheten för respektive myndighets fartygsflotta att bli fossilfri. Metodmässigt tillämpas en liknande ansats som i Malmgren et al. (2021). I Sjöfartsverkets och Kustbevakningens gemensamma ansats studeras dock inte möjliga utvecklingar fram till 2030 och 2045 men myndigheternas uppskattningar för deras respektive flottor är mer detaljerade än uppskattningarna i Malmgren et al. (2021). Se kapitel 5.

Leveransen Trosvik & Brynolf (2023), som redovisas i kapitel 6, har använt det i Holmgren et al. (2021) framtagna ruttdatasetet och teknik- och kostnadskartläggningen i Malmgren et al. (2021) för att utveckla den kostnadsminimerande SETS-modellen (Swedish energy transition of shipping model). I modellen simuleras fartygsägarnas val av drivmedel/energibärare och framdrivningsteknik fram till 2045. Modellen beräknar hur stor omställningen till olika alternativa drivmedel blir givet olika scenarion där olika styrmedel implementeras. Scenarion som testas har utformats utifrån de styrmedel som presenteras i Tabell 8 och Tabell 9. Utöver data från SMHI och definierade styrmedelsscenarion används beskrivningarna av Sjöfartsverkets, Kustbevakningens och Färjerederiets planerade omställningar till fossilfri framdrift, som beskrivs i kapitel 5, och omställningsplaner för offentligt upphandlad sjöfart för att skatta modellen.

1.3.2. Drivmedel som behandlas

Under projektet har ambitionen varit att vara så heltäckande som möjligt i undersökningen av förutsättningarna och potentialen för en omställning till en fossilfri framdrift. Framtagning och användning av alternativa drivmedel är dock fortfarande ett relativt nytt område. Det har bland annat resulterat i att olika uppsättningar av alternativa drivmedel undersöks i projektets olika delar, då olika drivmedlens varierande mognadsgrad gör de olika lämpliga för olika undersökningsfrågor. Det gäller för hur specifikt drivmedlen definieras, jämför ”biogas” mot ”vätgas, kryogen vätska”. Dessutom används olika (ibland överlappande) benämningar för nya drivmedel som tas fram. För att bedömningar som presenteras ska vara så korrekta som möjligt har benämningar och detaljnivåer för drivmedel som beaktas i olika källor och delleranser bevarats i den här rapporten.

Tabell 4 sammanfattar vilka potentiellt fossilfria drivmedelsalternativ som beaktas i vilka kapitel. Beskrivningen ”potentiellt” fossilfria beror på att många av drivmedlen definieras som fossilfria då de, om de framställs biogent, binder växthusgaser vid själva framtagningen. Den bindningen anses kompensera för växthusgasutsläpp som sker vid själva användningen av drivmedlet som på så sätt kan ses som fossilfritt.

Utöver drivmedlen som listas i tabellen ovan diskuteras även LNG som per definition är ett fossilt drivmedel, men är också det idag mest använda ”icke-fossila” drivmedlet. Den största fördelen med LNG jämfört konventionella bränslen är de betydligt lägre utsläppen av svaveloxider. LNG har även en något lägre emissionsfaktor för koldioxid, men användning av LNG medför en hög risk för utsläpp av metan vilket är en väldigt potent växthusgas (IMO, 2020). LNG:s klimatfördelar är därmed ifrågasättbara. Motsvarande biogena drivmedel är LBG och enda skillnaden mellan de två är att LNG framställs med fossil gas medan LBG framställs med biogas. Både fossil gas och biogas består till största delen av metan vilket gör att liquefied methane (förvätskad metan) ibland används synonymt (oftast med LNG) även om alternativen inte nödvändigtvis kan likställas.

Tabell 4. Drivmedlen som behandlas i slutrapporten.

Potentiellt fossilfria drivmedel		Fysiskt tillstånd vid användning som drivmedel	Är drivmedlet per definition biogent framtaget?	Beaktas i kapitel (benämning)
Dieselsubstitut (biodiesel)	Hydrogenated vegetable oil (HVO)	Flytande	JA	3, 4 ("diesel"), 5.1 ("biodiesel"), 6
	Fatty acid methyl ester (FAME)	Flytande	JA	3, 4 ("diesel"), 5.1 ("biodiesel"), 6
Gaser	Ammoniak	Komprimerad vätska	NEJ	4, 5.1
	Vätgas	Kryogen vätska alternativt komprimerad gas	NEJ	4,5.1, 6
	Metan	Kryogen vätska alternativt komprimerad gas	NEJ	4, 6("e-metan" en typ av biogen metan)
	Biogas	Kryogen vätska ⁴ (LBG) alternativt komprimerad gas.	JA	3 (LBG), 4 (LBG), 5.1, 6 (LBG)
Alkoholer	Etanol	Flytande	NEJ	4, 5.1
	Metanol	Flytande	NEJ	4, 5.1, 6 ("e-metanol" och "bio-metanol", det vill säga två sorter av biogen metanol)
Elektricitet			-	3, 4, 5.1, 6

⁴ Kryogen vätska är en vätska som kyls under sin normala kokpunkt, detta görs för att metan och vätgas har högre energidensitet som vätska och därför tar mindre plats. Kryogena vätskor behöver hanteras och förvaras i flytande tillstånd vid låga temperaturer.

2. Ramar för sjöfartens omställning

2.1. Drivmedelkonsumtion och utsläpp i inrikes och utrikes trafik

På senare år har den officiella energistatistiken för sjöfartssektorn uppdaterats till att inkludera fler drivmedel. Data från den senaste publikationen av ”Transportsektorns energianvändning” (Energimyndigheten, 2023), presenteras för inrikes trafik i Tabell 5 och utrikes trafik i Tabell 6. I statistiken ingår i inrikes trafik de drivmedel som har sålts i Sverige och som används för transporter som både avgår från och ankommer till en svensk hamn. I drivmedelsförbrukningen för utrikes trafik (som även kallas för ”internationell bunkring”) ingår drivmedel som har sålts i Sverige och som används för transporter som avgår från en svensk hamn och ankommer i en utländsk hamn. Med statistikens definition är utrikestrafikens energianvändning cirka 16 gånger högre än inrikestrafikens energianvändning. Se tabellerna nedan. Statistiken för utrikestrafiken ger dock inte en särskilt rättvisande bild för de fartyg som anlöper Sverige eftersom den inte beaktar var fartygen bunkrar. Det enda alternativa drivmedlet som det förs statistik över för utrikes sjöfart är i nuläget LNG vilket är ett fossilt drivmedel.

Tabell 5. *Energianvändning för sjöfartens inrikes trafik (MWh). Källa: Energimyndigheten (2023).*

Drivmedel	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Fossil bensin	510	519	473	1474	1429	8772
Fossil diesel	260 092	251 919	259 455	251 037	285 062	288 600
Eldningsolja 1	383 622	448 178	494 744	441 312	323 773	309 744
FAME	-	-	-	275	275	275
HVO	-	12 008	33 116	41 649	86 555	91 134
LNG	-	-	-	179 936	333 801	434 317
Eldningsolja 2–6	1 120 898	1 022 970	1 130 991	941 726	760 945	611 598
El	-	-	-	-	-	-
Total	1 765 122	1 735 593	1 918 779	1 857 409	1 791 840	1 744 440

Tabell 6. *Energianvändning för sjöfartens utrikes trafik (MWh). Källa: Energimyndigheten (2023).*

Drivmedel	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Eldningsolja 1	7 983 641	8 207 417	5 167 025	5 639 998	8 098 892	8 495 678
LNG	-	-	-	253 806	162 016	175 744
Eldningsolja 2–6	14 447 138	17 581 114	14 732 311	18 291 000	20 653 197	19 466 375
El	-	-	-	-	-	-
Total	22 430 779	25 788 531	19 899 336	24 184 805	28 914 105	28 137 797

Tabell 7 visar att utsläppen av växthusgaser från inrikes sjötrafik minskade med sex procent mellan 2016 och 2021; det är svårt att säga i vilken grad den i Tabell 5 beskrivna förskjutningen av energianvändningen har bidragit till denna utveckling. Utsläppen från utrikestrafiken ökade med 26 procent under samma period.

Tabell 7. *Utsläpp av växthusgaser från inrikes och utrikes sjöfart 2016 – 2021. Källa: Naturvårdsverket (2023a,2023b).*

CO2e (kton)	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Inrikes sjöfart	678,7	651,9	711,2	695,8	656,2	640,4
Utrikes sjöfart	6417,1	7409,1	5739,6	7005,6	8322,1	8081,9

2.2. Klimatstyrmedel

Sjöfarten är till stor del internationell, till exempel så rörde 85 procent av all godshantering i svenska hamnar under 2021 utrikes sjötrafik (Trafikanalys, 2022a). Det är också på internationell nivå som svensk sjöfarts klimatpåverkan huvudsakligen regleras. Nedan presenteras översikter av nuvarande och föreslagna styrmedel på nationell och internationell nivå.

2.2.1. Nationella styrmedel

Fossila drivmedel till yrkesmässig sjöfart omfattas inte av energi- och CO₂-skatt eller av reduktionsplikt. I Tabell 8 listas några nationella klimatstyrmedel som ändå tillämpas vid rapportens framtagande. Den övergripande bilden är att dessa inte är särskilt kraftfulla.

Tabell 8. Sammanfattning av befintliga nationella styrmedel som berör sjöfartens utsläpp av växthusgaser. Bearbetning av Trafikanalys (2022b).

Namn	Kort beskrivning	Källa
Klimatklivet	Stöd för klimatåtgärder inom sjöfarten kan sökas inom Klimatklivet. Enstaka ansökningar har beviljats genom Klimatklivet för tankanläggningar för biodrivmedel och för el-stationer för landströmsförsörjning till sjöfart.	SFS 2015:517.
Miljödifferenterade farledsavgifter	En del av Sjöfartsverkets farledsavgift är miljödifferenterad utifrån ett index, där koldioxidutsläpp är en av fem parametrar som bedöms. Från och med 2023 har fler av farledsavgiftens delavgifter börjat miljödifferenteras. Upphandlad kollektivtrafik för persontransporter i skärgårdarna betalar inte farledsavgift. Det gör inte heller vägfärjor. Vidare tas farledsavgift inte ut på fartyg mindre än 300 GT.	Sjöfartsverket (2023), Sjöfartsverket (2022a), SFS 1997:1121.
Miljödifferenterade hamnavgifter	Flera hamnar, vilka ofta är kommunalt ägda, har infört differentierade hamnavgifter som premierar mer miljöanpassade fartyg och elanslutning i hamn. Hamnar har även gjort andra insatser för att bygga ut infrastruktur för elanslutning av fartyg i hamn.	Merkel et al (2022).
Krav på egna fartyg och vid upphandling	Flera myndigheter och regioner (kommuner) ställer klimatkrav vid upphandling av fartyg, transporter eller transporttjänster.	Trafikanalys (2022).

2.2.2. Internationella styrmedel

Trafikanalys (2022b) konstaterar att sjöfartens starka internationella kopplingar gör att internationella (helst globala) klimatstyrmedel är att föredra. Dessa styrmedel är mer effektiva, har mindre negativ påverkan på marknaden och medför en mindre risk för kolläckage. Att nå överenskommelser på global nivå har dock historiskt varit svårt, men under det senaste decenniet har viss utveckling skett, både inom IMO och EU. Tabell 9 sammanfattar redan införda och föreslagna internationella styrmedel.

Tabell 9. Sammanfattning av internationella befintliga och planerade styrmedel som berör svensk sjöfarts utsläpp av växthusgaser. Källa: Trosvik & Brynolf (2023).

Organisation	Namn	Kort beskrivning	Källa
IMO	Energy efficiency design index (EEDI)	Index som sätter standarden för designen av nybyggda fartyg så att utsläpp av CO ₂ per tonkilometer inte ska överstiga en viss gräns. Berör fartyg större än 400 GT.	IMO (2011).
IMO	Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)	Ett verktyg som är till för att assistera fartygsägare att hantera deras fartygs energieffektivitet. Verktöget består av tre delar i) hanteringsplan för att förbättra energieffektivitet (fartyg över 400 GT) ii) plan för insamling av data rörande användningen av eldningsolja (fartyg över 5000 GT) och iii) plan för koldioxidsintensiteten vid fartygsdrift (berör godstrafik, ropax och passagerarfartyg över 5000 GT)	IMO (2011, 2022).
EU	EU Maritime monitoring, reporting and verification (MRV) Regulation	Fartyg på 5000 GT och över som anlöper hamnar inom EES ska årligen samla in data över och rapportera drivmedelsförbrukning, utsläpp av CO ₂ och transportarbete per resa.	Europeiska kommissionen (2021a, 2015).
IMO	IMO Data Collection System (DCS)	Fartyg på 5000 GT och över ska rapportera data över konsumtion för varje typ av eldningsolja som används. Datan är tänkt att användas för CII klassificering och för SEEMP del ii).	IMO (2016).
IMO	Carbon Intensity Indicator (CII)	CII berör all typ av godstrafik, ropax och kryssningsfartyg över 5000 GT. Indikatorn mäter hur effektivt ett fartyg transporterar gods eller passagerare i termer av CO ₂ utsläpp per kapacitetsenhet och nautisk mil. Fartyg tilldelas betyg från E till A baserat på data från DCS. Vid för låga betyg måste fartygsägare implementera en korrigeringsplan (som del av SEEMP del iii)). Kraven för betygen ska höjas för varje år fram till 2030.	IMO (2022).
IMO	Energy efficiency existing ship index (EEXI)	Ett index för fartyg över 400 GT som utökar EEDI för att vara tillämpbar på den existerande fartygsflottan. Standarden för EEXI beror på fartygstyp, kapacitet och framdriftsteknik och beskriver CO ₂ -utsläpp per transporterat ton gods och nautisk mil.	IMO (2021a).
EU	EU Emissions Trading System (ETS)	Förslag att EU:s nuvarande utsläppsrättshandelssystem ska utökas för att även inkludera sjöfart.	Europeiska kommissionen (2021a).
EU	FuelEU Maritime Regulation	Målet för FuelEU Maritime är att öka efterfrågan och användandet av förnyelsebara drivmedel och noll-utsläppstekniker genom att sätta ett tak på den tillåtna mängden växthusgasinnehåll i energi använd av fartyg som anlöper europeiska hamnar. Förslaget innebär tvång för inblandning av bränslen som är lågkoldioxidintensiva eller koldioxidneutrala, med gradvis ökande andelskrav.	Europeiska kommissionen (2022).
EU	Energy taxation directive (ETD)	Revision av EU:s energiskattedirektiv för att inkludera marint drivmedel. Förslaget sätter minimikrav på skattenivåer baserat på bränslets energiinnehåll och miljöprestanda. Miniminivåerna föreslås införas 2023 för att sedan gradvis öka fram till 2033.	Europeiska kommissionen (2021b, 2022).
EU	Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR)	Förordningen syftar till att sätta upp konkreta mål för utbyggnaden av infrastruktur för alternativa drivmedlen. Det föreslås bland annat att minst 90 % av container- och passagerarfartyg på minst 5 000 bruttoton ska ha tillgång till landströmsförsörjning i hamnar i EU:s TEN-T-nätverk senast 2030 samt att det ska finnas tillgång till bunkring av LNG senast 2025.	Europeiska Kommissionen (2021c).

2.3. Teknisk utveckling

I Malmgren et al. (2021) görs en sammanställning över den pågående (2021) tekniska utvecklingen för olika drivmedel. Sammanställningen presenteras i Tabell 10.

Tabell 10. Nuvarande (2021) och planerad produktion i Sverige av icke-fossila drivmedel. Bearbetning av Malmgren et al. (2021) och uppdaterade för denna rapport.

Energibärare	Fysiskt tillstånd vid distribution	Nuvarande svensk produktion		Planerad produktion	
		Biogen	Elektrisk	Biogen	Elektrisk
Elektricitet	Elnät	n/a	Elproduktion, svensk el-försörjning kommer i dag främst från vatten- och kärnkraft, tillsammans med vind- och biodrivmedlen (IEA. 2021)	n/a	Utvecklas kontinuerligt
Väte	Komprimerad gas	2 000 GWh (från industriella avfallsflöden)	Decentraliserad tankstation för personbilar med produktion på plats (PurePOWER, u.å.), produktion i pilot-skala för industrin (Hybrit, u.å.)	-	Botnialänken H2 (Uniper, u.å.), fullskaliga industriprojekt (Hybrit u.å.), grön produktion av väte (Statkraft, 2020)
	Förvätskad gas		-	-	-
Ammoniak	Förvätskad gas	-	-	-	-
Metan	Komprimerad gas	1 800 GWh per år	Undersökningar av potentiella pilotprojekt	Viss nyproduktion är planerad, men planerad konvertering till LBG kommer sannolikt att sänka den totala produktionen	-
	Förvätskad gas	200 GWh per år (Hjort et al., 2019)	Undersökningar av potentiella pilotprojekt	1200 GWh per år (Hjort et al., 2019)	-
Metanol	Flytande	Cirka 30 GWh (Biofuels international, 2020)	-	Planerad produktion i Värö (90 GWh) och Hagfors (540 GWh) (Nygård Basso et al., 2022)	Produktion påbörjad av Liquid Wind genom project FlagshipONE i Örnsköldsvik Project Air planerar ha en anläggning i drift 2025 (Söderholm, 2021)
Etanol	Flytande	1500 GWh per år	-	Ökad produktion diskuteras	-
Diesel	Flytande	1650 GWh per år (specifikt HVO)	-	Planerad utbyggnad av raffinaderiet i Lysekil för produktion av förnybara drivmedel (Cision, 2020)	-

3. Holmgren et al., (2021)

I projektets första leverans, Holmgren et al., (2021) kartlades användningen av alternativa drivmedlen inom inrikes sjöfart och utrikes linjesjöfart år 2019. Övergripande syfte är att ta fram dataunderlag över drivmedelsförbrukningen genom att beskriva användningen av alternativa drivmedel, trender för förändring av drivmedelsförbrukningen och egenskaper för sjöfarten (till exempel rörelsemönster och längd/frekvens av rutter), samt att analysera potentialen att ersätta fossilt drivmedel med el.

3.1. Metod

Kartläggningen gjordes med hjälp av olika metoder. Först genomfördes en litteraturstudie för att, utifrån den, se vilka alternativa drivmedlen som används inom olika fartygssegment. Baserat på resultaten i denna studie skickades enkäter till rederier inom fartygssegment som dokumenterat hade påbörjat någon form av omställning och till aktörer som identifierats vara bland de med störst drivmedelsförbrukning.⁵ Enkätstudien kompletterades även med uppgifter från EU:s MRV-databas. För ytterligare fördjupningar anordnades en digital workshop för att samla in information om hur de svenska aktörerna arbetade med omställningen. I workshopen deltog projektmedlemmarna, projektets referensgrupp samt inbjudna rederier, hamnar, offentliga organisationer som upphandlar sjötransporter, branschorganisationer och myndigheter (se Holmgren et al., 2021, Bilaga 3).

SMHI tog även fram två dataset för projektets räkning. För bränsledatasetet används Shipair för att skatta drivmedelsförbrukningen för olika fartygssegment. Fartygens energibehov skattas utifrån fartygens egenskaper, AIS-data över fartygs hastighet (beräknat utifrån avståndet som ett fartyg förflyttar sig mellan två tidpunkter) och fartygets position – om det befinner sig i hamn, i ett hamninlopp eller ute till havs (se Holmgren et al., 2021 Bilaga 1). Drivmedelsförbrukningen skattas utifrån antagandet att alla fartyg drivs med eldningsolja. Beräkningarna avser drivmedelsförbrukningen inom Shipair-området och rutter där fartyg antingen ankommit och/eller avgått en svensk hamn.

Ruttdatasetet som SMHI levererade användes för att identifiera fartyg i linjetrafik. Bland annat Energimyndigheten (2017) har påvisat att linjetrafikens regelbundna anlop till samma hamnar och mer utbredda samarbeten mellan hamnar och rederier kan göra det enklare för fartyg att ställa om till alternativa framdrivningstekniker. Linjetrafik kan inte direkt identifieras i Shipair då anlop i specifika hamnar inte kan fastställas däremot kan det identifieras att ett hamnanlop skett och i vilket land det skedde. För att hitta rutter mellan specifika hamnar gjordes därför ett uttag ur Shipair med tidserier med fartygsrörelser under 2019 med fem minuters upplösning. Information som inkluderas är fartygs position, driftstatus samt start- och slutland för rutter. Datasetet delas in i nya rutter avgränsade av när fartygen antingen legat stilla i en hamn eller om signalen bryts eller dyker upp utanför en hamn. Dessa positioner kategoriseras sedan för varje enskilt fartyg enligt en hierarkisk klustringsmetod. Varje sådant kluster representeras sedan av medelkoordinater och på så sätt approximeras rutter mellan specifika hamnar.

Holmgren et al. (2021) bearbetar ruttdatasetet, delvis genom att dela in fartygen i samma segment som i bränsledatasetet och delvis genom att aggregera rutter till linjer för de olika fartygskategorierna, det vill säga rörelser i bägge riktningar mellan två ”stopp-positioner”. Fartygsrörelserna klassas sedan som ”linjetrafik” om en linje utgör minst 30 procent av ett fartygs totala seglade kilometer i Shipairs modellområde och om samma fartyg har trafikerat linjen minst tio gånger under 2019. Utifrån denna definition beräknas hur stor andel av varje fartygssegments trafikering som utgörs av linjesjöfart, vilket också används för ett enkelt räkneexempel över potentialen för elektrifiering till 2030.

⁵ Notera att enkätstudien inte utfördes till fullo. Efter att författarna fått kännedom om att Energimyndigheten hade skickat ut liknande enkäter för att uppdatera och förbättra statistiken över sjöfartens bränslekonsumtion beslutades att inte skicka ut fler enkäter än de som redan hunnit skickas. Bortfallet drabbade främst segmenten ropax, men även annan godstrafik (tank, ro-ro och torrlast), främst inom internationella transporter

3.2. Resultat

3.2.1. Användning av alternativa drivmedlen baserat på enkätundersökning

Holmgren et al. (2021) skickade ut enkäter till totalt 29 aktörer, tio inom kollektiv- och passagerartrafik, tre statliga aktörer (Färjerederiet, Sjöfartsverket och Kustbevakningen) och Destination Gotland, åtta aktörer som bedriver utrikes ropax-trafik och sju som bedriver olika typer av gods-transporter. 16 respondenter svarade varav 14 valde att delta och skicka data. Destination Gotland deltog inte, men då Gotlandstrafiken utgör en så pass stor andel av den inrikes sjöfarten och författarna hade god kännedom om Destinations Gotlands användning av LNG, valde författarna att för Destination Gotland komplettera enkätsvaren med statistik från MRV-databasen. Detta kan förklara skillnaden i andelen LNG-användning mellan rapportens enkätstatistik och den officiella statistiken, då Destination Gotlands fartyg med LNG-hybrider här antas endast använda LNG. Sammanställningar presenteras i Tabell 11 (inrikestrafik) och Tabell 12 (utrikestrafik).

Tabell 11. Användning av alternativa energibärare i inrikestrafiken (baserat på enkätsvar). Andelen (längst till höger) är andel jämfört med den totala energianvändningen i den officiella statistiken. Endast el för framdrift är inkluderad. Källa: Holmgren et al. (2021).

Inrikes sjöfart	Energianvändning [MWh]			Andel av total energianvändning [%]	
	2017	2018	2019	2018	2019
Drivmedel					
HVO	30 177	53 256	36 315	2,8	1,9
RME (FAME)	1 845	603	670	0,03	0,04
LNG	1 149	7 554	201 617 ^a	0,39	10,8
LBG	0	0	0	0,00	0,0
El	327	507	590	0,03	0,03
Totalt (varav fossilfritt)	33 498 (32 349)	61 920 (54 366)	239 191 (37 574)	3,2 (2,8)	12,8 (2,0)

^a Notera att LNG-användningen innehåller kompletterande data från MRV-databasen avseende Destination Gotlands LNG-fartyg. Antaganden om att 100 procent av rapporterad drivmedelsförbrukning utgörs av LNG och att fartyget endast seglat i inrikestrafik kan vara en anledning till överskattning av LNG användningen i inrikestrafiken.

Tabell 12. Användning av alternativa energibärare i utrikestrafiken (baserat på enkätsvar). Andelen (längst till höger) är andel jämfört med den totala drivmedelsförbrukningen i sjöfarten enligt den officiella statistiken. Endast el för framdrift är inkluderad. Källa: Holmgren et al. (2021).

Utrikes sjöfart	Energianvändning [MWh]			Andel av total energianvändning [%]	
	2017	2018	2019	2018	2019
Drivmedel					
HVO	0	0	0	0,00	0,00
RME (FAME)	0	0	0	0,00	0,00
LNG	3 776	27 655	56 070	0,14	0,23
LBG	0	0	0	0,00	0,00
El	414	6 990	20 776	0,04	0,09
Metanol	6 463	8 877	10 984	0,04	0,05
Totalt (varav fossilfritt)	10 652 (414)	43 222 (6 690)	87 829 (20 776)	0,22 (0,03)	0,4 (0,1)

Enkätstudien visar att användningen av alternativa energibärare hade påbörjats under 2017 och 2018, främst inom inrikestrafiken. Av Tabell 11 och Tabell 12 framgår också att de skedde en förändring i vilka energibärare som användes. El och LNG hade en ökande trend under de undersökta åren medan HVO backade mellan 2018 och 2019. Holmgren et al. (2021) lyfter att den minskade HVO-användningen troligen är ett resultat av den osäkra tillgången och variationen i pris. Den alternativa

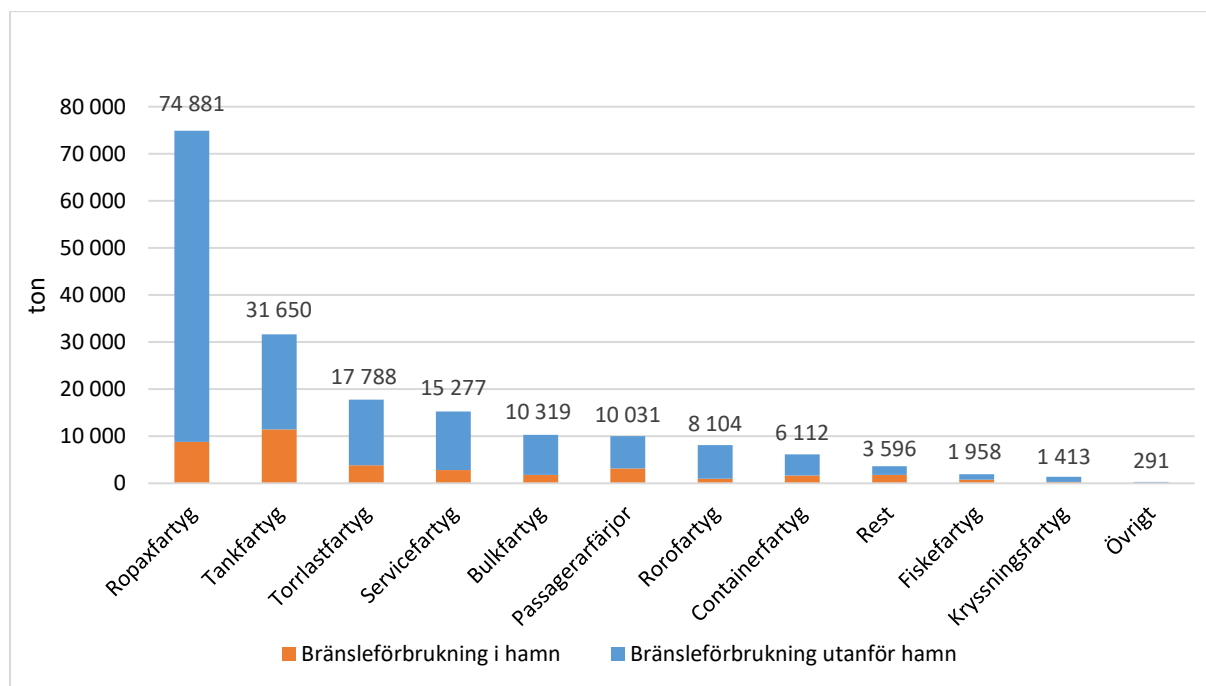
energibäraren med störst användning var LNG vilket är ett fossilt drivmedel. Även metanol är vid rapportens framtagande fossil.

Enkätundersökningen säger också något om vilka aktörer som ställer om. Holmgren et al. (2021) fick svar från de flesta kollektivtrafikaktörerna vilka tillsammans stod för drygt sju procent av energianvändningen i inrikestrafiken. Av dessa sju procent utgjordes cirka 14 procent av förnybara drivmedel (främst HVO och el). I sammanställningen står de statliga aktörerna (inklusive Destination Gotland) för cirka 50 procent av energianvändningen i inrikestrafiken. För de statliga aktörerna var det under 2019 endast Färjerederiet som använde förnybara drivmedel (el och HVO) motsvarande cirka 15 procent av deras drivmedelsförbrukning. Slutligen har Destination Gotland sedan 2020 börjat blanda in en mindre mängd biogas i deras fartyg som drivs av LNG. I februari 2021 var andelen inblandad biogas tio procent (P4 Gotland, 2021).

3.2.2. Sjöfartens drivmedelsförbrukning beräknad med Shipair

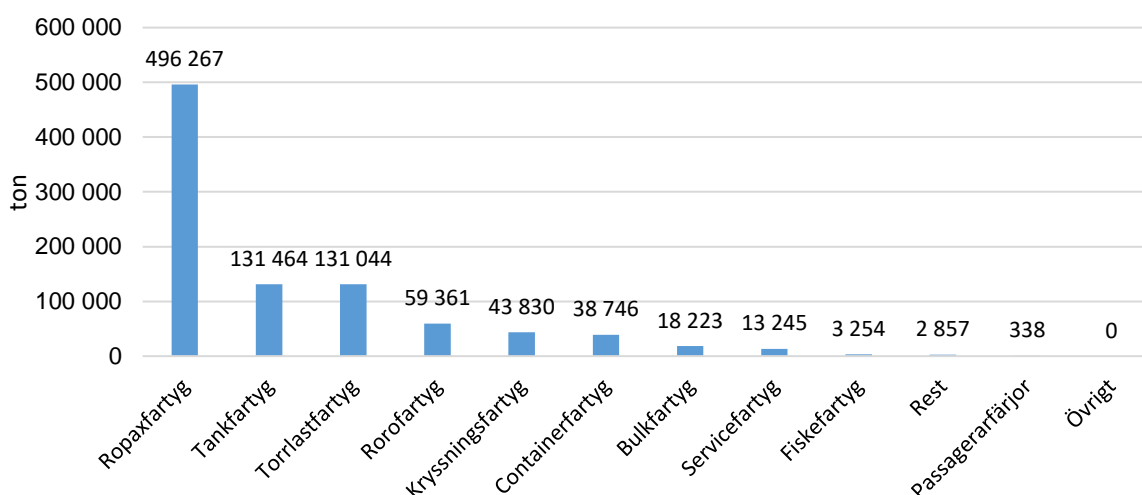
Som komplement till enkätstudien beräknades drivmedelsförbrukningen per fartygssegment med Shipair modellen.

Figur 2 och Figur 3 visar drivmedelsförbrukningen per fartygssegment för inrikes- och utrikestrafiken år 2019.⁶ Det framgår att ropax-fartyg följt av tankfartyg och torrlastfartyg har högst total drivmedelsförbrukning, både för inrikes och utrikes sjöfart. För inrikestrafiken särredovisas även drivmedelsförbrukningen i hamn (trots att denna rapport inte fokuserar på detta). Förbrukningen i hamn har uppskattats utifrån antaganden i Shipairmodellen om användning av huvudmotorer, hjälpmotorer och värmepannor under tiden i hamn. Särredovisningen av drivmedelsförbrukningen är inte möjligt och meningsfullt för utrikestrafiken.



Figur 2. Total drivmedelsförbrukning per fartygstyp för inrikes sjöfart år 2019. Baserat på dataset från Windmark (2021) Källa: Bearbetning av tabeller i Holmgren et al. (2021).

⁶ Inrikestrafik inkluderar alla rutter som både avgår och ankommer en svensk hamn medan utrikestrafik inkluderar alla rutter som endast avgår eller ankommer en svensk hamn. Shipairs beräkningar är därav inte jämförbara med den officiella statistiken för utrikes sjöfart.



Figur 3. Total drivmedelsförbrukning per fartygstyp för utrikes sjöfart år 2019. Baserat på dataset från Windmark (2021) Bearbetning av tabell i Holmgren et al. (2021).

3.2.3. Linjetrafik och elektrifieringspotential – en exempelanalys

Utifrån kategoriseringen av linjetrafik som beskrivs i avsnitt 3.1 identifierar Holmgren et al. (2021) totalt 262 linjer som representerar fartyg som regelbundet trafikerar en eller ett par specifika sträckor. Hur linjetrafiken fördelar sig över de olika fartygssegmenten presenteras i Tabell 13 som även redovisar linjernas geografiska sträckning och längdfördelning. Fartygssegmenten med störst antal identifierade linjer är som förväntat ropax- och passagerarfärjor.⁷

Tabell 13. Antal linjer som utgör mer än 30 procent av fartygs totalt seglade sträcka (inom Östersjöområdet) och som seglas minst tio gånger under 2019 fördelat över fartygssegment samt geografisk sträckning för linjerna. Källa: Holmgren et al. (2021).

Fartygs-segment	Antal linjer	Antal unika fartyg ^a	Linjer med längd			Antal linjer med geografisk sträckning		
			<10 km	<50 km	<100 km	Inrikes	Östersjön	Externt
Ropax	89	82	23	28	45	27	56	6
Passagerarfärjor	72	70	18	62	72	69	3	0
Rorofartyg	22	20	0	0	14	0	4	18
Torrlastfartyg	20	18	4	4	11	5	7	8
Servicefartyg	16	16	7	12	14	14	2	0
Tankfartyg	10	9	1	2	2	3	3	4
Kryssningsfartyg	6	6	0	2	3	1	3	2
Containerfartyg	5	5	0	0	0	0	4	1
Bulkfartyg	3	3	0	1	1	2	1	0
Övrigt	1	1	0	1	1	1	0	0
Totalt	262	248						

^a Ett fartyg kan ha flera linjer som inkluderas i urvalet, vilket gör att antalet unika fartyg är lägre än antalet linjer.

⁷ Notera att de linjer som börjar eller slutar utanför Shipairområdet, har behandlats separat då längden på dessa linjer är okänd.

Jämför man den totala seglade sträckan i bränsledatasetet och den totalt seglade sträckan längst identifierade linjer för varje segment är ropax det segment med störst andel linjetrafik på 70 procent. Näst störst andel har passagerarfärjor med 34 procent.⁸ Eftersom ropax har en så pass hög andel som utgörs av linjetrafik görs Holmgren et al. (2021) en överslagsanalys över hur stor andel av ropax-segmentet skulle kunna helektrifieras till 2030. Utgångspunkten är endast vad som ansågs möjligt med avseende på distans, det vill säga kostnader, tillgång till laddinfrastruktur och så vidare beaktas inte. Rörande tillgången till laddinfrastruktur är dock utgångspunkten att regelbundna anlop ger goda förutsättningar för utbyggnad och användning av infrastrukturen.

Utifrån workshopen (se Holmgren et al. 2021 Bilaga 3) antas att sträckor kortare än 100 km skulle vara möjliga att helektrifiera till 2030. Bränsledatasetet används för att beräkna den genomsnittliga drivmedelskonsumtionen per kilometer för grupper av fartyg indelade utifrån segment och huvudmotorernas kapacitet. Detta är en förenkling då även andra faktorer såsom last och hastighet påverkar drivmedelsförbrukningen. För att till viss del kompensera för förenklingen i uppskattningen av drivmedelsförbrukningen antas hela den seglade sträckan för mindre fartyg vars trafik domineras av linjetrafik kunna helektrifieras medan för större fartyg antas endast trafikeringen längst identifierade linjer kunna elektrifieras. Tabell 14 visar, givet antagandena ovan, hur stor andel av den totalt seglade sträckan och drivmedelsförbrukningen som skulle kunna helektrifieras för olika storleksklasser inom ropax-segmentet. Totalt estimeras att 18 procent av drivmedelsförbrukningen 2019 kunna ersättas med el till 2030. Man bör dock beakta att analysen endast utgår ifrån distansen och beaktar fartygens storlekar på ett mycket förenklat sätt. Fartygs hastighet, tillgång till laddinfrastruktur samt fartygsägares och hamnars kostnader beaktas inte alls.

Tabell 14. Bakgrundsinformation och uppskattad fossil bränslemängd inom segmentet ropax som skulle kunna ersättas genom elektrifiering till år 2030. Källa: Holmgren et al. (2021).

Huvudmotor kapacitet	Seglad sträcka för fartyg med linjer < 100 km ^a	Andel av seglad sträcka i storleksklass ^b	Seglad sträcka på inkluderade linjer <100 km	Andel av seglad sträcka i storleksklass	Bränsleförbrukning	Andel av seglad sträckan som skulle kunna elektrifieras till 2030 ^c	Mängd drivmedel som skulle kunna ersättas genom elektrifiering	Andel av bränsleanvändningen som skulle kunna ersättas
[kW]	1000 km/år	[%]	1000 km/år	%	1000 ton/år	%	1000 ton/år	%
<1000	198	50,5	109	27,8	2,1	50,5	1,1	0,19
1 000–2 000	332	127,8	223	86,0	2,4	86,0	2,0	0,36
2 000–8 000	86	89,8	63	65,7	4,6	89,8	4,1	0,72
8 000–18 000	727	25,2	544	18,9	173,9	25,2	43,9	7,67
18 000–25 000	211	13,4	94	6,0	115,7	6,0	6,9	1,21
25 000–40 000	461	18,0	440	17,2	204,1	18,0	36,8	6,44
40 000–55 000	145	35,9	43	10,8	68,5	10,8	7,4	1,30
>55 000	0	0	0	0	0	0	0	0
Totalt					571,5		102,3	17,9

^a Med en dominerade rutt som utgör mer än 30 procent av fartygets totala seglade sträcka inom Östersjöområdet.

^b Då viss diskrepans finns mellan de två dataseten rörande antalet inkluderade fartyg och klassificeringen av fartyg är andelen för en storleksklass högre än 100 procent.

^c Andelen är för de flesta segment samma som andelen seglad sträcka för de fartyg vars linjer har valts ut. I några fall är det i stället andelen av de utvalda linjernas totalt seglade distans. Detta till exempel då den totala andelen överstiger 100 procent och i de fall Holmgren et al. (2021) har funnit att där finns en större andel fartyg som också seglar på sträckor som är längre än 100 km.

⁸ I Holmgren et al. (2021) redovisas andelar för samtliga fartygssegment.

4. Malmgren et al., (2021)

I Malmgren et al. (2021) används material framtaget i Holmgren et al. (2021) och följande alternativa drivmedel: el, hybrid elektrisk, diesel, ammoniak, metan, metanol, etanol och vätgas analyseras ur bland annat ett tekniskt och kostnadsperspektiv.

4.1. Metod

Fartygssegmenten i Holmgren et al. (2021) och fartygens operationella egenskaper såsom funktion, ruttlängd, bunkringstid, energianvändning och ålder matchas mot prestationsprofiler utifrån tekniska, miljömässiga och ekonomiska förutsättningar av ett urval av alternativa framdrivningstekniker och drivmedel. Kartläggningen av olika drivmedlens potential görs utifrån en litteraturstudie och återkoppling inom projektgruppen. Vidare förs en diskussion kring vilka fartygssegment som kan tänkas övergå till vilka drivmedel och framdrivningstekniker.

4.2. Resultat

Analysen av de olika drivmedlens potential i Malmgren et al. (2021) presenteras i två matriser (se Tabell 15 och Tabell 16) och kompletterande text. I Tabell 15 redovisas möjliga framdrivnings- och drivmedelsalternativ och deras potentiella utveckling i Sverige från 2030 till 2045. Drivmedlen har valts ut utifrån deras nuvarande användning inom sjöfarten samt deras forskningsstatus. Malmgren et al. (2021) gör bedömningen att framdrift med metan (även flytande) eller metanol verkar vara det lämpligaste alternativet för segmenten rorofartyg, passagerarfärjor, tankfartyg och torrlastfartyg. Här lyfts den begränsade räckvidden för andra drivmedelsalternativ som den största begränsande faktorn.

Flytande drivmedel kan dessutom till stor del utnyttja redan etablerad bunkringsinfrastruktur. För fartyg där hastighet är viktig bedöms olika dieselalternativ som lämpligast eftersom alla andra alternativ kräver större lagringsutrymmen ombord vilket kan begränsa fartygs hastighetsfunktionalitet.

Begränsningar rörande utrymme och vikt lyfts som avgörande för fartygssegment som transporterar gods, såsom bulkfartyg och tankfartyg. Den viktigaste ekonomiska parametern för den typen av sjöfart är att kunna frakta så stora godsmängder som möjligt per resa vilket begränsar ökade vikt- och utrymmeskrav för framdrivning.

Elektricitet för framdrivning har, jämfört med flytande drivmedel, fördelen att färre energi-omvandlingssteg krävs. Räckvidden för elektrisk framdrivning är dock fortfarande mycket begränsad och utbyggnaden av infrastruktur kan bli krävande. Malmgren et al. (2021) ser i utgångsläget elektrifieringspotential för passagerarfärjor och ropaxfartyg som trafikerar kortare sträckor. Detta ligger i linje med resultaten i Holmgren et al. (2021).

Vätgas och ammoniak bedöms befinna sig i så pass tidiga utvecklingsstadier att en övergång för någon typ av marin trafik till de drivmedlen sannolikt inte kommer vara möjligt i närtid.

En aspekt som Malmgren et al. (2021) lyfter är att det finns risk för ”lock-in-effekter” i övergången till alternativa drivmedel. Som visas i Tabell 3 behålls fartyg länge i drift inom flera segment, vilket gör att en övergång till alternativa drivmedel via investeringar i nya fartyg kan gå långsamt då investeringar som görs idag låser vilken teknik som används för flera år framöver. Som visas i Tabell 16 är ombyggnation/retrofitting möjligt för många alternativa framdrivningstekniker men oftast krävs omfattande ombyggnationer vilket innebär höga kostnader och komplicerade processer.

LNG lyfts specifikt ha hög risk för att bli ett ”lock-in” drivmedel. Det är det alternativa drivmedlet som idag har högst användning (se Tabell 5, Tabell 6, Tabell 11 och Tabell 12). Dessutom har Gotlandstrafiken som 2019 stod för en stor del av den inrikes drivmedelsförbrukningen (Holmgren et al., 2021) nyligen investerat i nya fartyg med (hybrid) LNG-drift. LNG leder inte till några större förbättringar rörande klimatpåverkan (Bengtsson et al., 2011, Hwang et al., 2019, Iannaccone et al.,

2020), och framställningen är fossil. Infrastruktur och energiomvandlare för LNG kan dock även användas för LBG, men planerad inhemsk produktion av LBG är fortfarande låg.

I Tabell 16 sammanställs egenskaper för marina drivmedel med potentiellt låg eller ingen klimatpåverkan. Drivmedlen studeras med avseende på a) teknisk mognadsgrad för framdrivningssystem och drivmedel, b) tekniska parametrar avseende bunkringstid, seglingsavstånd på en tank, ombyggnations-/retrofitmöjlighet, c) kostnader för drivmedel och fartyg samt d) hållbarhetsaspekter. Alternativen är presenterade utifrån ett 2030-perspektiv och indikerar 1) inga identifierade begränsningar eller större osäkerheter, 2) identifierade begränsningar, 3) möjliga direkta begränsningar respektive 4) okända förhållanden.

Tabell 15. Möjliga marina framdrivnings- och energibärraralternativ och deras potentiella utveckling i Sverige från 2030 till 2045. Energibärare har valts ut utifrån deras nuvarande användning som alternativt drivmedel inom sjöfart samt deras forskningsstatus. Källa: Malmgren et al. (2021).

Drivmedel (Fysiskt tillstånd)	Värmevärde LHV (MJ/kg), Energidensitet (MJ/L)	Drivlina och lagringsteknik	Teknisk mognadsgrad			
			Idag		Möjlig utveckling till 2030 och 2045	
			Framdrivningssystem	Drivmedel	Framdrivningssystem	Drivmedel
El (e)	1, 2.5 (teknisk utveckling förväntad)	Elmotor, generator, ev. batteri för lagring	Fartyg används i flera segment, räckvidden utmanande	Drivmedel tillgängligt (Graden av förnybar komponent bestäms av elnätsmixen och specialavtal) Bunkring utmanande	Räckvidden kommer sannolikt att öka men är fortfarande en utmaning	Drivmedel tillgängligt, graden av förnybar komponent bestäms av elnätsmixen eller policyreglering, att ha tillgång till ström i hamnar kan vara utmanande
Hybrid elektrisk (l, e)	1–43, 2.5–36 (systemberoende)	Förbränningsmotor, bränsletank	Fartyg används i flera segment, mestadels i nära hamn	Fossil drivmedelsproduktion tillgänglig	Räckvidden kommer sannolikt att öka och applikationerna vidgas	El tillgängligt, graden av förnybar komponent bestäms av elnätsmixen eller policyreglering. Olika utmaningar beroende på vilket drivmedel som används som komplement
Diesel (l)	42.3, 36	Bränslecell, elmotor, trycksatt tank	Mogen teknik, fartyg i drift, möjligt att använda biogena alternativ som inblandningsbränsle	Fossilt och biogent drivmedel tillgängligt för bunkring	Befintliga fartyg i drift, andra lösningar kan vara att föredra för nybyggnad på grund av högre kostnad för förnybar diesel jämfört med andra förnybara alternativ.	Ökad produktion baserad på efterfrågan möjlig, elbaserad dieselproduktion möjlig till 2045
Ammoniak (cl)	18.8, 11.3	Förbränningsmotor, trycksatt tank	Inga maritima applikationer testade	Fossil drivmedelsproduktion tillgänglig, bunkring möjligen utmanande	Maritim applikation testad, okända förhållanden	Elbaserad ammoniakproduktion möjlig, bunkring inte en betydande utmaning då ammoniak är en vanlig handelsvara
		Bränslecell, elmotor, trycksatt tank	Koncept utvecklade och testade för andra tillämpningar	Fossil drivmedelsproduktion tillgänglig, bunkring möjligen utmanande	Maritim applikation testad, okända förhållanden	
Metan (cg)	44, 7.8	Förbränningsmotor, trycksatt tank	Koncept utvecklade och testade för andra tillämpningar	Fossil drivmedelsproduktion och i vissa länder produktion av biogen drivmedelsproduktion tillgängligt, högre renhetsnivåer kan krävas	Maritim applikation testad, okända förhållanden	Potentiellt högre volymer av LBG tillgängliga på grund av ökad elektrifiering av vägtransporter, möjliga att producera genom elbaserade vägar vilket ökar utbytet från LBG-produktion
		Bränslecell, elmotor, kryotank	Används för närvarande ombord på fartyg, men LNG föredras av industrin	Fossil drivmedelsproduktion tillgänglig, biobränsle-produktion i liten skala	Okända förhållanden	
Metan (cryo-l)	44, 20.3	Förbränningsmotor, kryotank	Koncept utvecklade och testade för andra tillämpningar (Ship technology,)	Fossil drivmedelsproduktion tillgänglig, högre renhetsnivå kan krävas	Marin applikation testad, okända förhållanden	Potentiellt högre volymer av LBG tillgängliga på grund av ökad elektrifiering av vägtransporter, möjliga att producera genom elbaserade vägar vilket ökar utbytet från LBG-produktion
		Bränslecell, bränsletank	Mogen teknik, fartyg i drift	Fossil drivmedelsproduktion tillgänglig	Mogen teknik, fartyg i drift	
Metanol (l)	19.9, 16	Förbränningsmotor, bränsletank	Vissa tester genomförda för andra applikationer, pilottester för hjälplast i	Fossil drivmedelsproduktion tillgänglig, högre renhetsnivå kan krävas, första pilotprojekt för produktion av elektrometanol igång	Marin applikation testad, okända förhållanden	Möjlig storskalig produktion av elektrometanol, tillgången på biogen metanol kan vara hög

Drivmedel (Fysiskt tillstånd)	Värmevärde LHV (MJ/kg), Energidensitet (MJ/L)	Drivlina och lagringsteknik	Teknisk mognadsgrad			
			Idag		Möjlig utveckling till 2030 och 2045	
			Framdrivningssystem	Drivmedel	Framdrivningssystem	Drivmedel
			marina applikationer utförda (Wärtsilä marine, 2010)			
		Bränslecell, elmotor, trycksatt tank	Fartyg i drift	Fossil drivmedelsproduktion tillgänglig, första pilotprojekt för produktion av elektrometanol i drift	Mogen teknik, fartyg i drift	
Etanol (l)	25, 18	Förbränningsmotor, bränsletank	Landbaserade tester utförda, några pilottester med mindre metanoldrivna marina motorer testade	Biogen drivmedelsproduktion tillgänglig	Okända förutsättningar	Biogen drivmedelsproduktion tillgänglig, elbaserad produktion möjlig
Vätgas (cg)	120, 5.6	Förbränningsmotor, trycksatt tank	Första landbaserade tester utförda, konceptfartyg utvecklade för närsjöfart	Fossil drivmedelsproduktion tillgänglig, bunkring utmanande	Pilotfartyg i drift, räckvidd begränsad	Fossila drivmedelsproduktion tillgänglig, elbaserad produktion trolig, bunkring utmanande
		Bränslecell, elmotor, kryotank	Småskalig applikation	Fossil drivmedelsproduktion tillgänglig, bunkring utmanande	Pilotfartyg i drift, räckvidd begränsad	
Vätgas (cryo-l)	120, 8.5	Förbränningsmotor, kryotank	Första landbaserade tester utförda, lotsfartyg finns beställda	Fossila drivmedelsproduktion tillgänglig, bunkring utmanande, men första leveranskedjan tester utförda i Australien	Pilotfartyg i drift	Fossila drivmedelsproduktion tillgänglig, elbaserad produktion trolig, bunkring utmanande
		Elmotor, generator, ev. batteri för lagring	Första landbaserade tester utförda, pilottest med vätgasmotorer för marina applikationer	Fossila drivmedelsproduktion tillgänglig, bunkring utmanande, men första leveranskedjan tester utförda i Australien	Pilotfartyg i drift	

^a Följande förkortningar används för fysiskt tillstånd l = flytande vid standardtemperatur och -tryck, e = energi lagrad i batteri, cg =komprimerad gas, cl= komprimerad vätska (vätska i komprimerad form), cryo-l= kryogen vätska.

Tabell 16. Egenskaper för marina drivmedel med låg samt potentiellt ingen klimatpåverkan. Alternativen är presenterade utifrån ett 2030-perspektiv baserat på aktuell kunskap. De gröna (+) cellerna indikerar inga identifierade begränsningar eller större osäkerheter, gula (±) påvisar identifierade begränsningar, röda (-) indikerar möjliga direkta begränsningar och "?" visar på okända förhållanden. Källa: Malmgren et al. (2021).

Drivmedel (Fysiskt tillstånd ^a)	Drivlina och lagringsteknik	Teknisk mognadsgrad		Tekniska parametrar			Kostnader (Korberg et al., 2021)		Hållbarhetsindikatorer		
		Framdrivningssystem	Drivmedel	Bunkringstid	Möjligt seglingsavstånd på en tank	Retrofitmöjlighet	Drivmedelskostnad	Kapitalkostnad	Hållbar drivmedelsproduktionspotential	Effekt på människors hälsa	Säkerhet
El (e)	Elmotor, batteri	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+
Hybrid elektrisk (l, e)	Elmotor, generator, ev. batteri för lagring	+	?	±	?	+	+	+	+	+	+
Diesel (l)	Förbränningsmotor, bränsletank	+	+	+	+	+	+	+	±	-	+
Ammoniak (cl)	Bränslecell, elmotor, trycksatt tank	-	±	?	±	-	-	±	?	-	-
	Förbränningsmotor, trycksatt tank	-	±	?	±	-	-	±	?	-	-
Metan (cg)	Bränslecell, elmotor, trycksatt tank	-	+	±	±	-	±	-	+	?	+
	Förbränningsmotor, trycksatt tank	+	+	±	±	-	±	-	+	±	+
Metan (cryo-l)	Bränslecell, elmotor, kryotank	-	+	+	+	±	±	+	+	?	+
	Förbränningsmotor, kryotank	+	+	+	+	±	±	+	+	±	+
Metanol (l)	Bränslecell, bränsletank	-	+	+	+	+	+	+	±	?	+
	Förbränningsmotor, bränsletank	+	+	+	+	+	+	+	±	±	+
Etanol (l)	Förbränningsmotor, bränsletank	±	+	+	+	+	?	?	+	±	+
Vätgas (cg)	Bränslecell, elmotor, trycksatt tank	-	+	-	-	-	-	-	+	?	-
	Förbränningsmotor, trycksatt tank	±	+	-	-	±	±	±	+	-	-
Vätgas (cryo-l)	Bränslecell, elmotor, kryotank	-	±	?	±	-	±	±	+	?	-
	Förbränningsmotor, kryotank	±	±	?	±	-	±	±	+	-	-

^aFöljande förkortningar används för fysiskt tillstånd l = flytande vid standardtemperatur och -tryck, e = energi lagrad i batteri, cg =komprimerad gas, cl= komprimerad vätska (vätska i komprimerad form), cryo-l= kryogen vätska.

5. Omställning av den offentligt kontrollerade sjötrafiken

De tre statliga aktörerna, Sjöfartsverket, Kustbevakningen och Färjerederiet, som Trafikverket (2018a) identifierar som de med störst omställningspotential, har ingått i projektet. Projektets information om den offentligt upphandlade sjötrafiken är begränsad då de upphandlade myndigheterna inte har ingått i projektet och eftersom uppgifterna kan vara sekretessbelagda. Därför läggs något mindre fokus på den upphandlade trafiken.

5.1. Statens fartygsflotta

5.1.1. Sjöfartsverket och Kustbevakningen

År 2020 fick Sjöfartsverket och Kustbevakningen varsitt regeringsuppdrag att analysera hur deras respektive fartygsflottor ska kunna bli fossilfria för att kunna uppnå klimatmålen för 2030 och 2045 (Regeringsbeslut, I2020/01135/US; Regeringsbeslut, I2020/01136/US). För att kunna påbörja och möjliggöra omställningen mot en fossilfri fartygsflotta har regeringen tilldelat Sjöfartsverket 45 miljoner kronor årligen 2022–2024 och aviserat en finansiering om sex miljoner kronor per år efter 2024 (Sjöfartsverket, 2022b). Kustbevakningen har inte fått motsvarande öronmärkta anslag för omställningen av flottan.⁹

Sjöfartsverket och Kustbevakningen utförde sina regeringsuppdrag under samarbete vilket gör att delleransan från Sjöfartsverket (som presenteras i det här kapitlet) är tillämpbar på båda myndigheternas respektive fartygsflottor. För att avgöra vilka fartyg i myndigheternas flottor som kan ställa om till vilka framdrivningsalternativ, togs en gemensam kartläggning över förutsättningarna för olika alternativa drivmedlen och teknologier fram (Sjöfartsverket., 2021 Appendix C) tillsammans med en kategorisering av fartygen i myndigheternas flottor. Kategoriseringen utgörs av fem kategorier definierade utifrån fartygens tekniska förutsättningar och driftprofiler och sammanfattas i Tabell 17.

Tabell 17. Kategoriseringen av Sjöfartsverkets och Kustbevakningens fartygskategorier (Sjöfartsverket., 2021 Appendix C).

Kategori	Förutsättningar	Exempelfartyg
A1	Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad - större fartyg	Övervakningsfartyg (kat. A1) och snabba lotsbåtar
A2	Operation med hög effekt, stort energilagringsbehov, viktkänslig, utrymmesbegränsad - mindre fartyg	Högfartsbåtar, arbetsbåtar, RIB-båtar och strandbekämpare
B	Operation med låg och hög effekt, medelstort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad	Kombinationsfartyg (kat. B), isbrytare och farledsfartyg
C	Operation med låg effekt, medelstort energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad	Mindre arbetsfartyg, sjömättningsfartyg, långsamma lotsbåtar och miljöskyddsfartyg
D	Operation med låg effekt, litet energilagringsbehov, ej viktkänslig och/eller utrymmesbegränsad	Deplacerande (icke planande) lotsbåtar för kortdistans och transportbåtar för kortdistans.

Utifrån de kritiska parametrarna räckvidd, utrymme och vikt samt kartläggningen av alternativa drivmedel görs en bedömning av vilka fartygskategorier som kan ställa om till vilka drivmedel.

⁹ Muntlig kommunikation med Jonas Nilsson, Kustbevakningen, 11 april 2023.

Bedömningarna sammanställs i Tabell 18. Bedömningen av drivmedlens mognadsgrad görs utifrån fyra parametrar: i) tillgänglighet, ii) distribution och infrastruktur, iii) energisystem ombord och iv) regelverk och säkerhet. Mognadsgraden tar inte hänsyn till om energiomvandlare för ett givet drivmedel finns tillgängliga. Drivmedlen som vid regeringsuppdragets utförande (2020/2021) inte har bedömts som mogna har markerats i tabellen med orange. I matrisen illustreras möjligheten för olika drivmedlens användning med en färgskala. Grön indikerar att en övergång är fullt möjlig, gul innebär att en övergång är möjlig om vissa kritiska parametrar justeras (via ombyggnation av fartyg eller operationella förändringar) medan röd indikerar att en övergång inte alls är möjlig. För varje bedömning att en övergång inte är fullt möjlig så listas den eller de huvudsakliga begränsande faktorerna.

Sjöfartsverket (2021) lyfter fartygens behov av räckvidd och fart som de två mest kritiska parametrarna för vilket typ av drivmedel ett fartyg kan använda. Det två faktorerna fastställer hur stor effekt som krävs och hur ofta fartygen kan tillåtas bunkra vilket in sin tur avgör hur stort utrymme som måste avsättas ombord för energilagring och hur mycket vikt fartyget måste klara. Myndigheternas olika fartygstyper är i sin tur olika vikt känsliga och har olika mycket tillgängligt utrymme men då både fart och räckvidd är operationella parametrar kan behoven förändras genom förändringar av fartygens driftprofiler.

Tabell 18. Matris över fartygskategorier i Sjöfartsverkets och Kustbevakningens nuvarande fartygsflottor och möjliga drivmedel/energilagringsalternativ per fartygskategori. Bedömningar är gjorda utifrån 2020 års fartygsdrift. Figuren är tagen från Sjöfartsverket (2021).

Drivmedel	Drivmedlets mognadsgrad (1–12)	Fartygskategori enligt Tabell 17				
		A1	A2	B	C	D
Biodiesel	11,8					
Metanol	10	Räckvidd, utrymme	Utrymme	Räckvidd		
Etanol	10,25	Räckvidd, utrymme	Utrymme			
Biogas, komprimerad	11,25	Utrymme	Utrymme	Utrymme	Räckvidd, utrymme	Räckvidd, utrymme
Biogas, flytande	11,25	Utrymme, vikt	Utrymme, vikt	Räckvidd, utrymme	Utrymme, bränslestabilitet	Utrymme
Ammoniak	4,5	Utrymme	Utrymme	Räckvidd	Räckvidd	Utrymme
Vätgas, komprimerad	7	Räckvidd, utrymme, vikt	Räckvidd, utrymme, vikt	Räckvidd, utrymme	Utrymme	Utrymme
Vätgas, flytande	7	Utrymme, vikt	Utrymme, vikt	Utrymme	Räckvidd, bränslestabilitet	Räckvidd
El, batteri	11,5	Utrymme, vikt	Utrymme, vikt	Räckvidd	Utrymme, vikt	
Elhybrid med dieselininstallation*		Utrymme, vikt	Utrymme, vikt	Utrymme, vikt		

*I bedömningen antas elhybriden utgöras av en kombination av elektricitet och biodiesel.

Sjöfartsverkets fartygsflotta

Sjöfartsverkets flotta består av cirka 100 fartyg. Tabell 19 visar fördelningen av fartygstyper. Sett till utsläpp av växthusgaser står isbrytare för 60 procent, lotsbåtar för 25 procent och övriga fartyg för resterande 15 procent (Sjöfartsverket, 2021). Detta innebär att fem isbrytare står för 60 procent av utsläppen, 72 lotsbåtar för 25 procent av utsläppen och 24 arbets- och sjömättningsfartyg för 15 procent av utsläppen.

Tabell 19. Fartyg som ägs och nyttjas av Sjöfartsverket. Källa: Sjöfartsverket (2021).

Typ av fartyg	Antal fartyg
Lotsbåtar	72
Arbetsfartyg	18
Sjömättningsfartyg	6
Isbrytare	5
Totalt	101

Sjöfartsverket (2021) drar slutsatsen att det i nuläget inte finns någon tillgänglig fossilfri lösning som deras fartygsflotta kan ställa om till. Planerna utgår ifrån samma servicenivå på kort sikt och möjligtvis reviderade servicenivåer på längre sikt. Sjöfartsverket menar att vägen framåt är att hålla sig till sin nuvarande investeringsplan och att vid varje investeringstillfälle göra en bedömning av vilka framdrivningssystem som är lämpliga. Under tiden ska minskade växthusgasutsläpp uppnås genom operationella åtgärder (som kan påverka servicenivån), tekniska effektiviseringar och användandet av dieselsubstitut, främst HVO. Sjöfartsverket bedömer att tekniska effektiviseringar kan minska energibehovet jämfört med 2010 med 14 procent till 2030 och 15 procent till 2045. Operationella energieffektiviseringar antas kunna minska energibehoven med 30 respektive 45 procent. Då operationella och tekniska energieffektiviseringar påverkar varandras effekt är inte den totala energieffektiviseringspotentialen summan av de båda värdena utan något lägre. Den sammanvägda energieffektiviseringspotentialen uppskattas därför till 50 procent till 2045 jämfört med 2010. På grund av ekonomiska begränsningar har klimatmålen i dagsläget låg prioritet. Enligt muntlig kommunikation med Sjöfartsverket¹⁰ används idag (2023) inga alternativa drivmedel bortsett från små mängder fossil metanol. Sjöfartsverket planerar dock att köpa in viss mängd HVO och ser möjligheter att köpa in grön metanol i stället för fossil metanol.

Kustbevakningens fartygsflotta

Kustbevakningens flotta består av cirka 140 olika farkoster vilka presenteras i Tabell 20. Kategorin "Övriga" består av 86 båtar, 20 vattenskotrar och fyra svävare. Under 2019 förbrukade Kustbevakningen 5222 m³ diesel (EO1, E32 och diesel Mk1) och 154 m³ bensin, vilket motsvarar 18 566 ton CO₂-utsläpp (WTW). Utöver det förbrukades 3500 MWh el. Den totala energianvändningen landar på 57 500 MWh (inklusive alla fossila drivmedlen och el).

¹⁰ Muntlig kommunikation skedde med Björn Andreasson 14 april 2023.

Tabell 20. Sammanställning av fartygen i Kustbevakningens fartygsflotta med respektive drivmedelsförbrukning. Kustbevakningen (2021).

Fartygsnamn/Fartygsserie	Antal fartyg	Drivmedelsförbrukning 2019, m ³
KBV001-serien	3	700–875
KBV031-serien	7	175–225
KBV201-serien	2	200–250
KBV181-serien	1	275
KBV050-serien	2	210
KBV010-serien	1	50
KBV301-serien	10	510
KBV312-serien	5	420
Övriga	110	110
Total	140	5325

Förslaget för hur Kustbevakningens fartygsflotta ska bli fossilfri till år 2045, presenterad i Kustbevakningen (2021), beräknas kosta 1 545 miljoner kronor och består av användandet av alternativa drivmedel, ombyggnationer av fartyg till hybridelektrisk framdrivning, energieffektiviseringar och investeringar i laddinfrastruktur. Helelektrisk framdrivning bedöms inte som lämpligt för någon av myndighetens fartygsklasser, men några fartygsklasser skulle kunna använda hybridelektrisk framdrivning. HVO100 och e-MGO föreslås som lämpliga alternativ och att energieffektiviseringar bör göras med målet att halvera energianvändningen till 2045. I början på februari 2023 har inköpen av HVO avbrutits av kostnadsskäl.¹¹ Dessutom förväntas ökningen av myndighetens arbetsuppgifter leda till ett högre utnyttjande av fartygsflottan. Även Kustbevakningen konstaterar att klimatmålen för närvarande har låg prioritet på grund av ekonomiska begränsningar och ledningens tolkning om myndigheten har fått ett uppdrag att bli fossilfria. Utsläppsminskningen under perioden 2020–2045 uppskattas till närmare 50 procent än 25 procent fast inte linjärt eftersom Kustbevakningens omställning är långsam i starten.¹²

5.1.2. Färjerederiet

Färjerederiet har formulerat en klimatstrategi för omställningen till fossilfrihet i inriktningsbeslutet ”Vision 45” (Trafikverket, 2018b). Enligt strategin ska övergången huvudsakligen ske genom elektrifiering av färjorna då det är energialternativet med högst mognadsgrad på kort sikt. Dessutom ser myndigheten andra fördelar som lägre bullernivåer och minskade luftföroreningar. Tabell 21 visar antalet färjor som i nuläget utgör Färjerederiets fartygsflotta. I dagsläget använder Färjerederiet 21 linfärjor¹³ och 49 vägfärjor som drivs med konventionella drivmedlen.

Tabell 21. Färjor som ägs och nyttjas av Färjerederiet. Källa: Trafikverket (2018b).

Typ av fartyg	Antal färjor
Vägfärjor	49
Linfärjor	21
Totalt	70

¹¹ Muntlig kommunikation med Jonas Nilsson, Kustbevakningen, 7 februari 2023.

¹² Muntlig kommunikation med Jonas Nilsson, Kustbevakningen, 11 april 2023.

¹³ Det vill säga färjor som drivs eller styrs av vajrar och är framdrivna med elektricitet och batterier.

Enligt ”Vision 45” ska Färjerederiet investera i 19 nya färjor, bygga om 23 av deras nuvarande färjor till eldrift och bygga om ytterligare 15 färjor för användning av andra, i nuläget ospecificerade, alternativa drivmedlen. Planen för när investeringarna ska ske och hur mycket Trafikverket (2018b) uppskattar att investeringarna kommer att kosta presenteras i Tabell 22. Färjerederiet är en resultatenhet inom Trafikverket; för att finansiera investeringarna planeras prisökningar för färjedriften (som huvudsakligen betalas av Trafikverket). På lång sikt antas även att investeringarna kommer att leda till effektiviseringar vilket ger lägre operationella kostnader. Enligt Trafikverket (2018b) leder en ombyggnation av en konventionell vägfärja till en linfärja till en minskning med 90 procent av användningen av konventionella drivmedel och vidare anger Trafikverket (2023) att linfärjor använder 30 procent mindre energi jämfört med konventionella vägfärjor.

Tabell 22. Planerade investeringar för Färjerederiet enligt Trafikverkets strategi ”Vision 45” (2018b).

Typ av investering	2022– 2025	2026– 2029	2030– 2033	2034– 2045	Totalt
Nya färjor, miljoner kronor (antal färjor)	800 (5)	350 (2)	550 (3)	1600 (9)	3300 (19)
Ombyggda färjor, miljoner kronor (antal färjor)	50 (1)	300 (6)	300 (7)	400 (9)	1050 (23)
Investeringar i laddstationer och kajer, miljoner kr	150	150	200	200	700
Totalt (miljoner kronor)	1000	800	1050	2200	5050

Sedan ”Vision 45” publicerades har planen uppdaterats något, (Trafikverket, 2023), till att 20 nya investeringar ska ske, 30 färjor byggas om till eldrift, och 15 till ”miljödrift” med fortsatt ospecificerade alternativa drivmedlen.

5.2. Offentligt upphandlat sjötrafik

Som nämnts ovan ställer flera offentliga aktörer klimatkrav vid upphandling av sjötransporter eller sjötransporttjänster. Staten upphandlar – genom Trafikverket - färjetrafiken till Gotland för att säkerställa väl fungerande kommunikationer mellan Gotland och fastlandet. Trafikverket (2021) belyser fyra alternativa upphandlingsmodeller och konstaterar att det snarare är hur trafiken utförs än vem som utför den som kan ge effekter inom områden. För Gotlandstrafiken har under senare år drift med LNG och LBG introducerats. För närvarande genomförs trafiken av Destination Gotland som har två fartyg som använder LNG och LBG för framdrivning, År 2030 planerar Destination Gotland att två nya färjor drivna på vätgas ska introduceras. Destination Gotland (2020) har som mål att senast 2045 ha klimatneutrala resor.

Inom kollektivtrafiken på vatten är SL i Region Stockholm och Västtrafik i Västra Götalandsregionen de största aktörerna. I Stockholmsregionen har man målsättningen att alla 55 kollektivtrafikfärjor ska vara fossilfria år 2030, år 2020 var det omkring hälften, (SL, 2023). Västtrafiks mål är att minska utsläppen av växthusgaser per passagerarkilometer med 90 procent till 2035 jämfört med 2006 (Västra Götalands Region, 2018).

6. Trosvik & Brynolf (2023)

Trosvik & Brynolf (2023) har utvecklat den så kallade modellen SETS (Swedish energy transition of shipping model) som syftar till att simulera fartygsägares drivmedelsval. Mer specifikt används modellen för att estimerar vilka framdrivningssystem och drivmedel som kostnadsminimerande fartygsägare väljer givet olika styrmedel. Utifrån fartygsägares beslut beräknas den resulterande drivmedelsförbrukningen/energianvändningen och utsläppen av växthusgaser för tidsperioden 2020 – 2045.¹⁴

Från det i Holmgren et al. (2021) framtagna ruttdatasetet har dynamiska data, såsom position, hastighet och driftläge, och statistiska parametrar, såsom fartygets identitet, storlek och år för fartygets konstruktion använts. Baserat på fartygens identifikationsnummer (IMO/MMSI-nummer) matchas även datasetet med information från en kommersiell databas, levererad av IHS Markit (2020), för att få ytterligare information om varje fartyg. Datasetets elva fartygssegment delas också in i 57 fartygstyper som är indelade utifrån fartygens trafikeringsmönster (om fartygen går i inrikestrafik, utrikestrafik eller i båda typerna av trafik), om fartygen är mindre eller större än 5000 GT och om fartygen används i kommersiell-, offentlig- eller offentligt upphandlad trafik.

6.1. Metod

I SETS-modellen beräknas diskonterade kostnader för olika beslutsalternativ, vilket kan beskrivas som summan av alla framtida kostnader värderade i nutid (Kou and Luo, 2018). Fartygsägare antas välja det alternativ som har lägst kostnader. Fartygsägarnas beslut består av val av framdrivningssystem och drivmedel.¹⁵ Drivmedlen som modelleras är MGO, biodrivmedel (HVO och bio-metanol), elektricitet, elektro-metanol (e-metanol), LNG, LBG, elektro-metan (e-metan) och vätgas.¹⁶ Alla drivmedel antas användas i förbränningsmotorer, förutom elektricitet och vätgas som antas använda batterier respektive bränsleceller som energiomvandlare. Utifrån fartygsägarnas val kan resulterande energianvändning och utsläpp estimeras. För enkelhetens skull antas alla fartyg använda MGO i modellens basår. För den modellerade perioden 2020–2045 antas antalet resor och färdade sträckor per år och fartyg vara konstanta i förhållande till basåret 2019.

Modellen kan sammanfattas i fem steg:

1. **Estimering av energiförbrukning per fartyg i basåret.**¹⁷ Estimeringen baseras på rutter i ruttdatasetet och metodiken följer tillvägagångssättet i IMO (2020) som beaktar fartygsspecifik information rörande fartygs energikapacitet, motorbelastning, designhastighet, restid per rutt, antal turer, och den specifika förbrukningen av MGO (baserat på motorhastighet och fartygens ålder). Estimeringen inkluderar energianvändning av huvud- och hjälpmotorer men beaktar inte energi som används till värmepannor.
2. **Estimering av energianvändningen per fartyg 2020 – 2045 för varje beslutsalternativ.** För att beräkna kostnaderna för varje beslutsalternativ behövs en uppskattning av varje fartygs framtida energianvändning. Energiförbrukning estimeras utifrån fartygens motorhastighet och antaganden om framdrivningsteknikernas energieffektivitet från IMO (2020) för drivlinor som använder

¹⁴ I artikeln (Trosvik & Brynolf, 2023) estimeras även utsläpp av ett antal luftföroeningar och utsläpp per fartygstyp.

¹⁵ Framdrivningssystem avser exempelvis typ av motor, bränsletank, bränsleceller eller batterier.

¹⁶ På grund av likheter i kostnader kombineras HVO och bio-metanol till en kategori av flytande biobränslen.

¹⁷ Shipairs beräkningar av drivmedelsförbrukning är endast levererade på aggregerad nivå per fartygssegment, se avsnitt 3.2.2.

förbränningsmotorer och antaganden i Brynolf et al. (2023) för drivlinor som använder bränsleceller eller batterier för framdrift.

3. **Estimering av diskonterade kostnader per fartyg och beslutsalternativ.** För att kunna jämföra summan av alla kostnader som varje beslutsalternativ innebär, beräknas diskonterade kostnader (DK) enligt:

$$DK_i = \sum_{t=1}^T \frac{K}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^T \frac{BK_{i,t} + I_{i,t}}{(1+r)^t}$$

För ett givet beslutsalternativ är den diskonterade kostnaden för fartyg i lika med summan av alla kostnader, K , vilket inkluderar drivmedelskostnader, BK , och investeringskostnader, I , för fartyg i vid tidpunkt t , diskonterat över investeringens hela livslängd där r är diskonteringsräntan. Drivmedelskostnader baseras på estimeringar av drivmedelsförbrukning i steg (2) och antaganden kring framtida drivmedelspriser, infrastruktur- och distributionskostnader och styrmedel. Investeringskostnader baseras på fartygs maximala framdrivningseffekt, ruttlängder och antaganden om komponentkostnader och energilagring marginaler som behövs för varje fartyg. Fartygsägare antas välja det alternativ som har lägst diskonterad kostnad. En diskonteringsränta på fem procent används i basscenerierna, men känslighetsanalyser görs även med högre och lägre ränta.

4. **Estimering av energianvändning per fartygstyp med antaganden om den framtida transportefterfrågan.** I modellen antas att varje fartyg utnyttjar sin maximala transportkapacitet och rutfrekvens, vilket innebär att en ökad transportefterfrågan därför endast kan mötas genom att fler fartyg kommer in i modellen. För att uppskatta framtida transportefterfrågan summeras först det totala energibehovet för varje fartygstyp, vilket sedan multipliceras med genomsnittliga årliga förändringar i transportefterfrågan enligt prognoser över den framtida utvecklingen för olika segment. Antaganden om framtida transportefterfrågan baseras på prognoser gjorda av Trafikverket (2020) och, för vissa segment, tidigare efterfrågetrender.¹⁸ Skillnaden mellan det summerade energibehovet och energibehovet med transportefterfrågan täcks genom att addera ”nya” fartyg i modellen (där de nya fartygen antas ha samma egenskaper och beslutsval som ett genomsnittligt fartyg i varje fartygstyp).
5. **Estimering av energianvändning och utsläpp.** Utifrån steg (3) och (4) estimeras den totala drivmedelskonsumtionen för varje modellerat drivmedel och år. Resultatet utsläpp estimeras genom tillämpning av emissionsfaktorer.

I de olika styrmedelsscenerierna antas fartygsägare inom handelssjöfarten ha kännedom om vilka styrmedel som kommer att implementeras och styrmedel påverkar därav investeringsbesluten genom att sätta förväntade framtida utsläppsrättspriser, energiskatter och subventioneringar. Energi-användningen från offentligt ägda och upphandlade fartyg beräknas inte i modellen, då andra faktorer än för yrkessjöfarten kan påverka besluten för den typen av sjöfart, till exempel krav för offentlig upphandling och myndigheters uppsatta klimatmål. Därför ligger i stället offentliga aktörers klimatstrategier till grund för indata i modellen för fartyg som används i den offentligt styrda sjöfarten. Antaganden rörande offentlig sjöfart beskrivs nedan i avsnitt 6.1.2. Detta innebär en förenkling eftersom de inom ramen för FF55 beslutade/diskuterade styrmedel gäller för samtliga fartyg om inte undantag förhandlas.

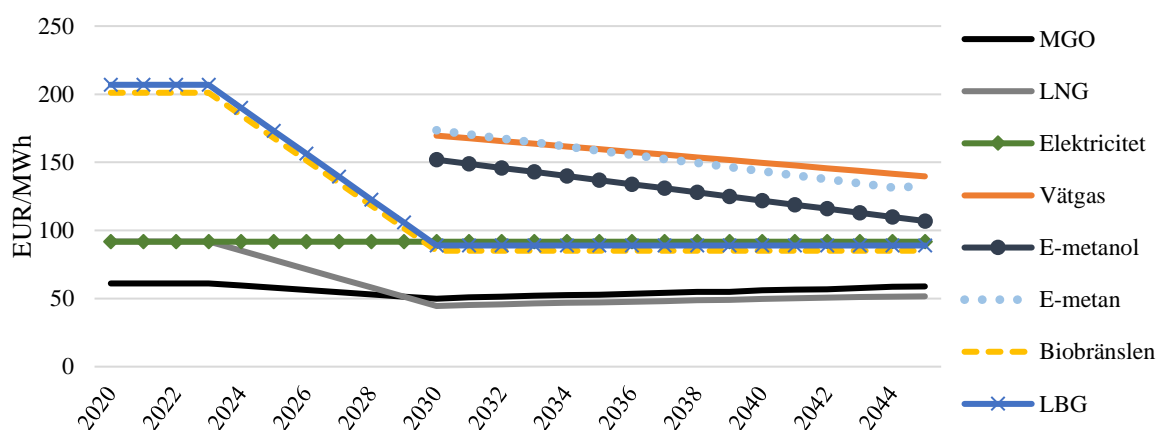
Indata i modellen består av antaganden om framtida investeringskostnader, drivmedelspriser, energieffektiviseringar för olika framdrivningstekniker, emissionsfaktorer för olika drivmedel samt

¹⁸ Den antagna transportefterfrågan per segment beskrivs i detalj Trosvik & Brynolf (2023). Sammanfattningsvis antas efterfrågan för godstransporter öka enligt Trafikverkets (2020) prognos för varugrupper medan persontransporter till sjöss antas följa trenden före pandemin (Trosvik & Brynolf, 2023). Efterfrågan för den offentligt styrda trafiken antas vara konstant (Trosvik & Brynolf, 2023).

antaganden för varje fartygstyp angående transportefterfrågan och fartygens livslängd.¹⁹ Fartygsägarnas kostnader antas påverkas av styrmedel och varierar därför i de olika scenarierna.

För att göra modellens storlek hanterbar antas fartygsägare fatta beslut vartannat år. Det första beslutssåret är 2022, vilket ger totalt tolv beslutsår. Fartygsägare antas vid varje beslutstillfälle ha nio olika drivmedel att välja mellan vilket resulterar i 108 olika beslutsalternativ. Antalet beslutsalternativ för ett givet fartyg begränsas dock av fartygens livslängd då fartygsägare måste fatta ett beslut senast det året som ett fartyg antas skrotas. Om en fartygsägare exempelvis har ett fartyg som är 20 år gammalt i basåret och den antagna livslängden för den typen av fartyg är 25 år, måste fartygsägaren ”uppgadera/ersätta” sitt fartyg inom fem år, annars antas fartyget vara obrukbart. Följaktligen har fartygsägaren möjlighet att fatta beslut år 2022, 2024 och 2026, men inte för senare år. Detta innebär att fartygsägaren i detta fall har 27 alternativ (nio drivmedel och tre beslutsår).²⁰

I modellen används ett scenario över priserna för respektive drivmedel fram till 2045 som illustreras i Figur 4. I Trosvik & Brynolf (2023) används en metod för att uppskatta drivmedelspriserna, vilken har ett förenklat tillvägagångssätt som syftar till att behandla alla drivmedel på samma sätt och göra det enkelt att testa olika prisscenarier.²¹ Drivmedelspriserna antas vara summan av kostnaden för drivmedelsdistributionen (baserat på Brynolf et al. (2022) vilka antas vara samma för hela tidsperioden)²² och drivmedelsproduktionen (baserade på Korberg et al. (2021), Brynolf et al. (2022), Axelsson & Pettersson (2014), U.S. EIA (2022) samt Gustavsson Binder (2022)). Uppskattningen av drivmedelspriserna utgår bland annat från prognoser över råvarupriserna på råolja, naturgas, biomassa samt ett baselpris, och tillsammans med antaganden om prisrelationen mellan olika drivmedel (baserat på Axelsson & Pettersson (2014) för MGO och LNG) och omvandlingseffektiviteten vid drivmedelsproduktionen kan framtida drivmedelspriser uppskattas.²³



Figur 4. Antagen prisutveckling av resp. drivmedel (EUR/MWh). Källor: Brynolf et al. (2022), Korberg et al. (2021), Axelsson & Pettersson (2014), U.S. EIA (2022) och Gustavsson Binder (2022).

¹⁹ Fartygs antagna livslängd baseras på den genomsnittliga skrotningsåldern för olika fartygstyper i Hoffmann (2020).

²⁰ Även om fartygsägaren väljer att fortsätta använda MGO antas en uppgadering av framdrivningssystemet.

²¹ Drivmedelsprisutvecklingen har en stor inverkan på resultatet från modellen, men huvudsyftet med Trosvik & Brynolfs (2023) artikel är främst att beskriva modellens mekanismer och inte att generera drivmedelsprisscenarier. Modellen kan i senare versioner användas med uppdaterade drivmedelsprisscenarier.

²² Den konstanta kostnaden för infrastruktur och bränsledistribution är en förenkling och planeras att uppdateras i framtida studier.

²³ Genomsnittliga faktiska priser har använts för åren 2020–2023 och därefter antaganden om prisrelationen mellan olika drivmedlen använts.

Tabell 23 sammanfattar modellens antaganden om investeringskostnader för olika framdrivningssystem. För varje drivmedel/energibärare krävs en viss typ av system. Exempelvis används för MGO och biodrivmedlen en förbränningsmotor samt en bränsletank som är avsedd för diesel, medan vätgas kräver bränsleceller, en elektrisk motor och en bränsletank avsedd för just vätgas. Kostnaderna skiljer sig mellan olika fartyg eftersom de är baserade på varje fartygs individuella behov. Exempelvis skiljer sig kostnaden för förbränningsmotorer, elektriska motorer och bränsleceller mellan olika fartyg då dessa baseras på varje fartygs storlek på huvudmotorn. Även kostnaden för bränsletankar och batterier skiljer mellan fartyg då dessa beräknas utifrån energianvändningen för den längsta resan ett fartyg gör med en tillagd bränslemarginal på 50 procent. Kostnaderna för framdrivningssystemet för MGO/biodrivmedlen, e-metanol och LNG/LBG/e-metan förväntas vara konstant över modellperioden, medan kostnaderna för elektrisk framdrivning och vätgas förväntas minska över perioden.

Tabell 23. Antaganden om investeringskostnader för olika framdrivningssystem. Källor: Kanchiralla et al. (2022), Lloyd's Register and UMAS (2020), Whiston et al. (2019).

Energibärare	Framdrivningskomponenter		2020	2025	2030	2035	2040	2045
MGO, biodrivmedlen	ICE*	För diesel (€/kW)	240	240	240	240	240	240
	Bränsletank	För flytande bränsle (€/kWh)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Elektricitet	Motor	Elektrisk motor (€/kW)	120	120	120	120	120	120
	Batteri	Batterikostnad (€/kWh)	500	350	200	187,5	175	150
e-Metanol	ICE	För metanol (€/kW)	265	265	265	265	265	265
	Bränsletank	För metanol (€/kWh)	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Vätgas	Bränsleceller	För ICE PEM** (€/kW)	1500	1300	1100	1000	900	800
	Motor	Elektrisk motor (€/kW)	120	120	120	120	120	120
	Bränsletank	För flytande vätgas (€/kWh)	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71
LNG, LBG, e-metan	ICE	För metan (€/kW)	265	265	265	265	265	265
	Bränsletank	För flytande metan (€/kWh)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

*Med Internal Combustion Engine (ICE) avses en förbränningsmotor.

** Avser proton-exchange membrane fuel cells.

Tabell 24 sammanställer de emissionsfaktorer som använts vid beräkningen av CO₂e-utsläpp i scenarierna samt för kostnaden av utsläppsrätter vid användningen av respektive drivmedel.²⁴ MGO och LNG har högst emissionsfaktorer, vilket innebär att kostnaden för dessa drivmedel påverkas i störst grad av ett pris på utsläppsrätter.

²⁴ I Trosvik & Brynolf (2023) beräknas även CO₂e-utsläpp ur ett livscykelperspektiv, där samtliga bränsletyper då är förknippade med ytterligare utsläpp.

Tabell 24. Emissionsfaktorer (TTW) för olika drivmedel (ton/MWh). Källa: Brynolf (2014), Malmgren et al. (2021) och Brynolf et al. (2023).

Drivmedel	CO ₂ e
MGO	0.28
LNG	0.25
Elektricitet	0.00
Vätgas	0.00
E-metanol	0.00
E-metan	0.05
Biodrivmedlen	0.00
LBG	0.05

6.1.1. Styrmedelsscenarioer

De modellerade scenarierna baseras främst på föreslagna styrmedel på EU-nivå. I den europeiska Gröna Givens föreslogs flera styrmedelsinitiativ som syftar till att stödja övergången till klimatneutralitet till 2050 (Europeiska kommissionen, 2022). Ett av dem var ”Fit for 55” (FF55)-paketet vilket syftar till att uppnå en minskning av växthusgasutsläppen på minst 55 procent till 2030 jämfört med 1990. Sjöfarten påverkas i huvudsak av FF55 genom fyra förslag: a) Att utsläpp från sjöfarten inkluderas i EU:s utsläpps rättshandelssystem (EU ETS), b) Att EU:s energiskattedirektiv (ETD) revideras genom att undantaget för marint drivmedel tas bort, c) Initiativet FuelEU maritime vilket innebär stegvis ökande krav på inblandning för att minska koldioxidinnehållet i marina drivmedlen och sätta ett tak på tillåtet växthusgasinnehåll i energi som används av fartyg som anlöper europeiska hamnar och d) Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR) som ska sätta konkreta mål för utbyggnaden av infrastruktur för att stödja tillgängligheten av alternativa drivmedlen inom EU (Europeiska kommissionen, 2021a). Följande styrmedelsscenarioer formuleras för handelssjöfarten:²⁵

- Scenario BAU Referensscenario.** Utgår ifrån status quo där sjöfarten inte ingår i EU ETS och marint bränsle är skattebefriat. Drivmedelspriser sätts utifrån baspriser i Figur 4.
- Scenario 1 ETD.** Samma basdrivmedelspris som i referensscenarioet men med ETD tillagt vilket antas påverka alla fartygs drivmedelspris.
- Scenario 2 ETD och lågt pris på utsläppsrätter.** Samma basdrivmedelspris som i referensscenarioet med tillagt ETD (som antas påverka alla fartyg) och ett lågt pris på utsläppsrätter (som antas påverka fartyg som är 5000 GT eller större)
- Scenario 3 ETD och högt pris på utsläppsrätter.** Samma basdrivmedelspris som i referensscenarioet men med tillagt ETD (påverkar alla fartyg) och ett högt pris på utsläppsrätter (som antas påverka fartyg som är 5000 GT eller större)
- Scenario 4 ETD, högt pris på utsläppsrätter och en nationell subvention av laddinfrastruktur.** Samma som scenario (3) men med en tillagd subventionering som påverkar infrastrukturpriset för elektricitet (där infrastruktur- och distributionskostnaden antas vara subventionerad).

²⁵ I Trosvik & Brynolf (2023) formuleras ytterligare scenarier för att göra känslighetsanalyser.

I scenario (1) – (4) modelleras effekterna av ETD.²⁶ Förslaget avser en revidering av ETD där det nuvarande undantaget från beskattning av marint drivmedel föreslås övergå till en beskattning likt den av andra energiprodukter utifrån EU:s energi- och klimatpolitik (Europeiska kommissionen, 2022, 2021b). Beskattningen föreslås introduceras på en låg nivå 2023 för att sedan stegvis höjas år för år fram till 2033 och påverkar alla fartyg genom drivmedelspriset, oavsett storlek och trafikeringsmönster. I scenarierna antas ETD introduceras enligt planen, där ökningen av skattesatsen antas vara linjär mellan 2023 och 2033 för att sedan ligga på samma nivå för resten av den modellerade perioden.²⁷

I scenario (2) – (4) modelleras effekterna av sjöfartens föreslagna inkludering i EU ETS. Den 18:e december 2022 nådde EU en överenskommelse att EU ETS ska utökas för att även inkludera sjöfartens utsläpp (Europeiska kommissionen, 2022). Utökningen av EU:s utsläppshandelssystem till sjötransporter gäller 100 procent av utsläppen från resor inom EU/EES, hälften av utsläppen från resor utanför EU/EES och alla utsläpp som sker i en EU-hamn (Europeiska kommissionen, 2021a). Initialt föreslås att gods- och passagerarfartyg med en storlek större eller lika med 5000 GT ska inkluderas. Sjöfartens utsläpp ska gradvis fasas in i systemet, med en täckning på 40 procent 2024, 70 procent 2025 och 100 procent från 2026 och framåt. EU ETS föreslås till att börja med endast täcka CO₂-utsläpp för att sedan utvidgas till att även omfatta andra växthusgasutsläpp (TTW CO_{2e}) från 2026. År 2026 kommer potentiellt även fartyg med 400 GT och över vara inkluderade. I scenarierna används den gradvisa infasningen från förslaget för fartyg över 5000 GT, men för att förenkla modellen antas TTW CO_{2e}-utsläpp inkluderas redan från 2024 och att alla resor täcks till 100 procent.²⁸

Priset på utsläppsrätter inkluderas i modelleringen separat från baspriset på drivmedel, och estimeras för varje drivmedel genom att multiplicera TTW-emissionsfaktorn för CO_{2e} för varje drivmedel med det antagna utsläppsrättspriset.²⁹ Det låga utsläppsrättspriset i scenario (2) antas vara konstant över hela den modellerade perioden och ligga på 100 EUR/ton TTW CO_{2e}-utsläpp. Detta är högre än det pris som Europeiska kommissionen (2021d) antog i deras konsekvensanalysrapport, där priset varierar mellan 45–55 EUR/ton CO_{2e}, och prognoser på upp till 89 EUR/ton CO_{2e} diskuteras. Priset för utsläppsrätter inom EU ETS har dock ökat kraftigt de senaste åren. Från nivåer runt 15–30 EUR/ton CO₂ under 2018–2020 har priset nu (mars 2023) nått nivåer över 100 EUR/ton CO₂ och förväntas ligga på cirka 120 EUR/ton CO₂ om ungefär ett år (Trading Economics, 2023). I lågprisscenariot antas därför utsläppsrättspriset ligga kvar på nuvarande nivåer. Det höga priset på utsläppsrätter, i scenarierna (3) – (4), antas följa IEA:s scenario "Net zero emissions by 2050 scenario for advanced economies" (IEA, 2022), där priset antas öka linjärt från 100 till 192 EUR/ton CO₂ till 2045.

6.1.2. Antaganden för offentlig och offentligt upphandlad sjöfart

Som nämnts ovan beräknas inte energianvändningen för den offentligt styrda sjötrafiken inom ramen för modellen. För den typen av sjöfart används i stället antaganden utifrån myndigheters omställnings-

²⁶ ETD har inte införts än när denna rapport skrivs.

²⁷ Eldningsolja antas vara i skattekategori "Gasolja, HFO, icke-hållbara biobränslen" med en skattesats på 0,9 EUR/GJ. LNG antas vara i skattekategori "LPG, Natural gas, non-sustainable biogas, Nonrenewable fuels of non-biological origin" med en skattesats på 0,6 EUR/GJ 2023 och gradvis öka till 0,9 EUR/GJ 2033. HVO och LBG antas vara i skattekategori "Sustainable biofuels and biogas" med en skattesats på 0,45 EUR/GJ. El, e-metanol, e-metan och vätgas antas vara i skattekategori "Renewable fuels of non-biological origin, advanced sustainable biofuels and biogas, Electricity" med en skattesats på 0,15 EUR/GJ (Europeiska kommissionen, 2021b).

²⁸ I Trosvik och Brynolf (2023) analyseras även effekter av om fartyg med 400 GT och över skulle inkluderas i EU ETS.

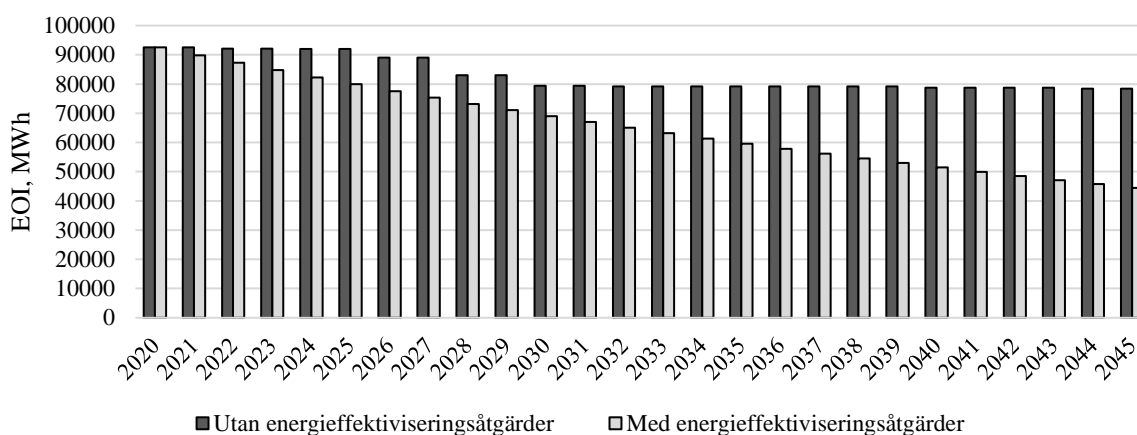
²⁹ Emissionsfaktorerna presenteras i Tabell 24.

strategier (se kapitel 5) och information om offentligt upphandlad sjöfarts klimatstrategier.³⁰ Nedan beskrivs hur varje inkluderad offentlig aktörs uttalade strategi för att minska växthusgasutsläppen översätts till antaganden om respektive myndighets energianvändning under perioden 2020 – 2045. Notera att antagandena baseras på aktörers uppsatta mål och strategier; som utgångspunkt används konservativa antaganden. Samma antaganden används för samtliga skattade scenarion.

Då Trosvik & Brynolf (2023) har information om vilka fartyg som finns i varje inkluderad myndighets fartygsflotta är täckningen för respektive myndighet i datasetet som används i SETS-modellen känd. För Sjöfartsverket saknas 33 fartyg, för Kustbevakningen 31 och för Färjerederiet 36. För att kompensera för bortfallet skattas den genomsnittliga energianvändningen per fartyg i varje myndighets respektive fartygsflotta, vilket får representera energianvändningen för ett saknat fartyg. Den totala skattade energianvändningen för alla saknade fartyg fördelas sedan jämt över fartyg som finns representerade i modellens dataset för varje myndighet.

Sjöfartsverket

I ett första scenario antas endast att energieffektiviseringar uppnås varje gång ett fartyg antingen byts ut eller byggs om och i ett andra scenario antas att alla Sjöfartsverkets planerade energieffektiviseringar, vilket skulle innebära att flottans energianvändning minskar med 52 procent till 2045 jämfört med 2020 (Sjöfartsverket, 2021). I scenarierna BAU och (1) - (4) som modelleras i SETS-modellen används scenariot utan energieffektiviseringar, medan scenariot med energieffektiviseringar används som känslighetsanalys i Trosvik & Brynolf (2023).



Figur 5. Antagen utveckling av Sjöfartsverkets energianvändning för framdrift med och utan energieffektiviseringar.

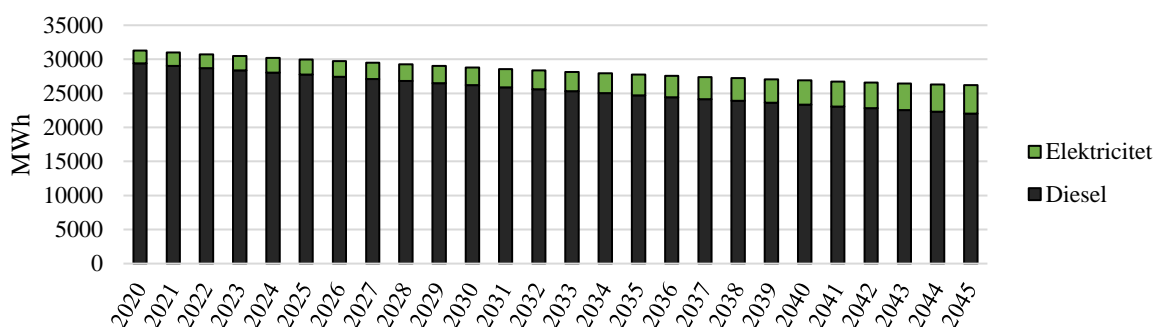
Årliga utsläpp från Sjöfartsverkets verksamhet varierar då behovet av isbrytning varierar från år till år. Snittutsläppen av CO₂ per år ligger runt 34 200 ton, vilket motsvarar en drivmedelsförbrukning på 13 000 m³ MGO 1 (EO1) (Sjöfartsverket, 2021). Utifrån Sjöfartsverkets hittills låga prioritering av klimatmålen, HVO:s relativt höga pris jämfört fossil diesel, och kommunikation med Sjöfartsverket (Sjöfartsverket, 2022c) antas att de uppsatta målen för användandet av HVO inte uppfyllas.

³⁰ Offentlig sjöfart som inkluderas i modellen utgörs av Sjöfartsverket, Kustbevakningen och Färjerederiet. Offentligt upphandlad sjöfart består av två kollektivtrafikaktörer den statligt upphandlade Gotlandstrafiken. Kollektivtrafiken representeras av Västtrafik och Stockholms lokaltrafik (SL) då andra kollektivtrafikaktörer står för en relativt försumbar energianvändning. Destination Gotland ansvarar för Gotlandstrafiken på upphandling av Trafikverket.

Kustbevakningen

Den antagna utvecklingen av Kustbevakningens drivmedelsförbrukning för framdrift är baserad på information från Kustbevakningens regeringsuppdrag (Kustbevakningen, 2021) samt från uppdaterad information från Kustbevakningen inom ramen för projektet (Kustbevakningen, 2023). I regeringsuppdraget beskrivs att den totala drivmedelsförbrukningen för basåret uppgår till 57 500 MWh (varav 3 500 MWh elektricitet och 54 000 MWh diesel).³¹

Enligt regeringsuppdraget uppskattas volymen drivmedel kunna minska med 50 procent fram till 2045 genom energieffektiviseringsåtgärder. Genom muntlig kommunikation med Kustbevakningen i februari 2023 har det uppskattats att ett konservativt scenario är att volymen drivmedel kan minska med 25 procent över tidsperioden, men att den uppskattade mängden elektricitet från regeringsuppdraget fortfarande uppskattas stämma.³² Figur 6 illustrerar den uppskattade utvecklingen.



Figur 6. Antagen utveckling av Kustbevakningens energianvändning för framdrift.

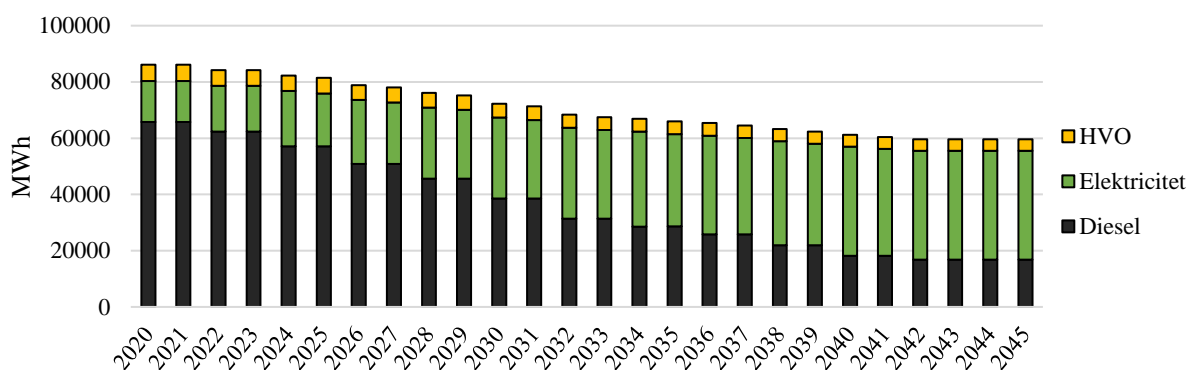
Färjerederiet

För Färjerederiet antas planen som presenterad i Tabell 22 följas. Utifrån antaganden om linfärjors energieffektivitet och information om Färjerederiets totala energianvändning under 2020 (Färjerederiet, 2022) skattas energianvändningen per fartyg och drivmedelstyp (fossilt drivmedel alternativt elektricitet). Både nya fartygs och ombyggda fartygs framdrivning antas vara helt eldriven och fartyg antas bytas eller byggas om i åldersordning.³³ Färjor som går i Hönöleden använder redan idag HVO (Färjerederiet, 2022) vilket antas fortsätta under hela den modellerade perioden. Slutligen antar Trafikverket (2023) en konstant transportefterfrågan för deras färjor, vilket också antas i modellen. Figur 7 ger en bild av den resulterande antagna utvecklingen av Färjerederiets drivmedelsmix under hela den modellerade perioden, det vill säga 2020 – 2045.

³¹ Den antagna drivmedelsförbrukningen vid hamn baseras på ett genomsnitt av sju fartygs drivmedelsförbrukning (med information från Kustbevakningen (2023)). Eftersom detta projekt endast omfattar framdrivning av fartyg har drivmedelsförbrukningen vid hamn exkluderas

³² Muntlig kommunikation med Jonas Nilsson på Kustbevakningen (16 feb 2023).

³³ Vidare skattar Trafikverket (2023), att cirka 20 procent av färjornas energianvändning sker i hamn, vilket också antas i modellen för att skatta energianvändningen för specifikt framdrift.

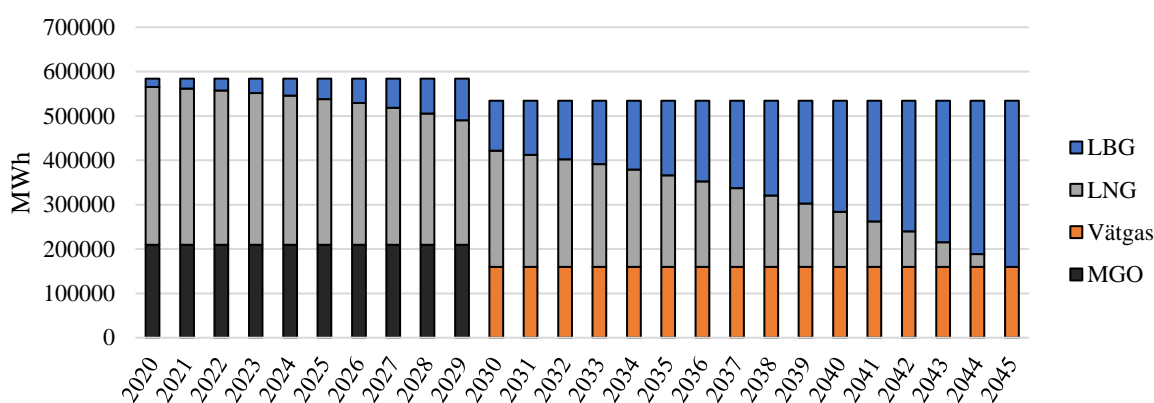


Figur 7. Antagen utveckling av Färjerederiets drivmedelsförbrukning för framdrift (förbrukning i hamn är exkluderad).

Gotlandstrafiken

Gotlandstrafiken drivs idag av Destination Gotland upphandlat av Trafikverket. För basåret används information från MRV-databasen, där de fyra inkluderade fartygen för Destination Gotland använder motsvarande cirka 642 000 MWh energi. Bränsledatasetet har använts för att uppskatta andelen drivmedelsförbrukning vid hamn, vilket för fartygssegmenten som Gotlandsfärjorna inkluderas i (Ropax 40 000–55 000 samt Ropax 25 000–40 000) ligger på nio procent i genomsnitt.

Baserat på Destination Gotlands ”Färdplan för en klimatneutral Gotlandstrafik” (Destination Gotland, 2020) görs antaganden om den framtida energianvändningen. Destination Gotland har två fartyg som använder LNG och LBG för framdrivning, där LBG används som drop-in bränsle (cirka tio procent sedan 2021) och en inblandning på 30 procent är planerad till 2030. År 2030 planerar Destination Gotland att två nya färjor drivna på vätgas ska introduceras. Destination Gotland (2020) har som mål att senast 2045 ha klimatneutrala resor. Den antagna utvecklingen av drivmedelsförbrukning illustreras i Figur 8. Då upphandlingen av Gotlandstrafiken sker regelbundet kan andra aktörer komma att ansvara för Gotlandstrafiken i framtiden, vilket innebär att den antagna utvecklingen av drivmedelsförbrukning är osäker.



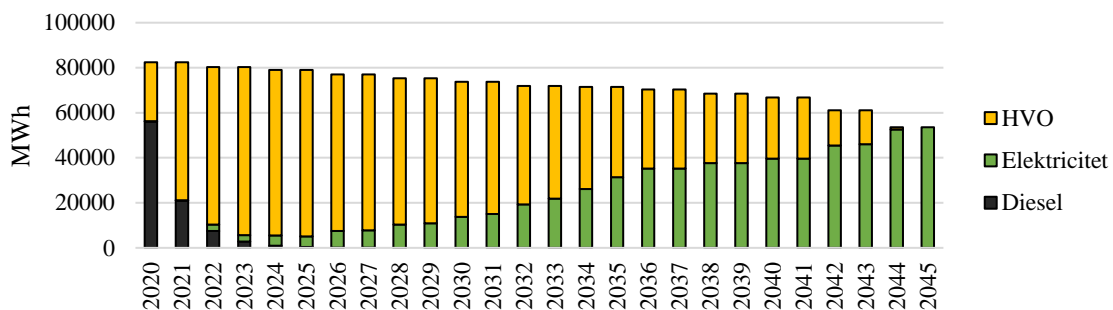
Figur 8. Antagen utveckling av Gotlandstrafikens energianvändning för framdrift.

Kollektivtrafik

Som nämnts representeras kollektivtrafik på vatten i modellen av de två största upphandlade aktörerna, SL i Region Stockholm och Västtrafik i Västra Götalandsregionen. Estimeringar av kollektivtrafikens energianvändning och drivmedelsförbrukning som används i modellen utgår ifrån följande information:

- Västtrafiks övergripande mål är att minska utsläppen av växthusgaser per passagerarkilometer med 90 procent till 2035 jämfört med 2006. Dessutom finns målet att alla drivmedel ska produceras från förnybara källor till 2030 (Västra Götalandsregionen, 2018). Målen har också utökats genom att inkludera delmål för minskade CO₂-utsläpp jämfört med 2006: att minska CO₂-utsläppen från 124 000 ton 2006 till 37 000 ton 2025, 24 000 ton 2030 och 19 000 ton 2035. Målen omfattar alla trafikslag inom kollektivtrafiken i Västra Götalandsregionen (Västra Götalandsregionen, 2022).
- Västra Götalandsregionen (2022) skriver att utgångspunkten i nya upphandlingar är att kollektivtrafik på vatten ska vara helt eldriven för korta sträckor och till största möjliga grad eldriven för längre sträckor. Regionen bedömer att all kollektivtrafik kan vara helt eldriven till 2035 och att minst 80 procent av energianvändningen från kollektivtrafiken på vatten kan vara fossilfri år 2030.
- Information om energianvändningen för Västtrafiks färjor samt planerade investeringar har använts för att uppskatta framtida energianvändning. Bland annat har nya elfärjor har beställts och år 2022 ska det finnas en ny elhybridfärja och år 2023 ska det finnas en ny elfärja (Västtrafik, 2023). Elfärjan Elvy minskar energianvändningen med 45 procent (Västtrafik, 2023) och förbrukar 100kWh/timme (Jivén et al., 2020), vilket användes som underlag för beräkningarna av framtida nya elfärjor.
- Sedan 2020 använder 50 procent av kollektivtrafiken på vatten i Region Stockholm förnybara drivmedel. Det finns ett mål att alla färjor ska vara fossilfria år 2030 (SL, 2023) och Region Stockholm har som mål att använda 100 procent förnybara energikällor till 2030 i kollektivtrafiken på land och vatten (Region Stockholm, 2017).

Den antagna utvecklingen av drivmedelsförbrukningen illustreras i Figur 9.



Figur 9. Antagen utveckling av kollektivtrafikens (på vatten) energianvändning för framdrift.

6.1.3. Modellens omfattning och begränsningar

Scenarioanalyserna bygger på antagandet att fartygsägare inom handelssjöfarten alltid väljer det alternativ som har lägst kostnad och att alla framtida kostnader är kända. I verkligheten påverkas fartygsägares val av framdrivningssystem och drivmedel även av andra faktorer. Till exempel kan förväntningar på framtida drivmedelstillgång, bunkrings- och laddningsmöjligheter, samt storlekskrav på olika framdrivningssystem ha en betydande inverkan på fartygsägares val. Vidare finns det ett antal begränsningar i den första versionen av SETS-modellen som kan påverka resultaten på olika sätt.

Tillgången på alternativa drivmedel och bunkrings- och laddinfrastruktur beaktas inte i modellen. Olika alternativa drivmedel kommer dock sannolikt att ha tillgångsbegränsningar i framtiden. Det finns till exempel flera sektorer som planerar att övergå till olika typer av biodrivmedel, vilket kan påverka framtida drivmedelspriser och tillgänglighet.

Vissa kostnader har inte inkluderats i den första modellversionen, till exempel inkluderas endast kostnaderna för själva framdrivningssystemet medan skrovkostnader i samband med en investering i ett nybyggt fartyg inte beaktas. En investering i ett nybyggt fartyg kan påverka såväl energieffektivitet som kostnader och intäkter på fler sätt än genom framdrivningssystemet. Till exempel kan ett nybyggt fartyg förväntas ha en mer energieffektiv skrovdesign och innehålla andra tekniska förbättringar som kan minska energiförbrukningen per ton- och passagerarkilometer. Dessutom har nybyggda fartyg en trend att bli större, vilket med en högre kapacitet att transportera gods och passagerare kan ha en effekt på fartygsägares potentiella intäkter samt val av framdrivningssystem och drivmedel. Ett annat exempel som inte beaktas är hur olika framdrivningssystemers storlekskrav kan påverka fartygs kapacitet att transportera gods och passagerare, vilket i sin tur kan påverka framtida beslut för fartygsägare.

Ruttdatasetet inkluderar endast fartygsrörelser inom Shipairs modellområde. Detta innebär att fartyg som anlöpt Sverige och sedan seglat utanför modellområdet uppskattas ha en lägre årlig seglad sträcka och drivmedelsförbrukning än i verkligheten. Det kan leda till att energieffektiviseringar från drivmedelsbyten underskattas vilket gör att investeringskostnaderna för olika alternativ blir oproportionerligt höga i förhållande till drivmedelskostnaderna.

Antagandet om storleken på batteri och bränsletankar som krävs för energilagring beräknas utifrån energianvändningen för den längsta resan ett fartyg gör med en tillagd drivmedelsmarginal på 50 procent för alla alternativa drivmedel. Traditionellt har det dock varit vanligt att fartyg bunkrar för flera veckor eller till och med månader. Antagandet om en relativt liten energilagringsskapacitet görs då bunkringsbeteenden kommer att behöva ändras för att en övergång till drivmedel med lägre energidensitet, såsom elektricitet och vätgas, ska vara möjlig. Alla beslutsalternativ behandlas lika i detta avseende, men framtida versioner av SETS-modellen kan innehålla känslighetsanalyser med en större storlek på energilagringstanken. Det kan också vara så att en marginal på 50 procent på den mest energikrävande resan är för hög för fartyg som överväger att byta till batterielektrisk framdrivning då det även finns en möjlighet att ändra hur fartyget drivs, exempelvis genom att förändra rutter för att kunna ladda batterierna oftare. Kostnaden för batterier är en betydande kostnad och det kan därför vara fördelaktigt att ändra fartygets driftmönster i de fall där det är möjligt.

Fartygsägare antas vara perfekt informerade och medvetna om vilka styrmedel som kommer att införas i framtiden. Modellerade styrmedel påverkar därför deras beslut genom förväntningar om framtida priser på utsläppsrätter, energiskatter och subventioner. Det är såklart en förenkling då det i verkligheten råder osäkerheter kring både utformningen av framtida styrmedel och deras påverkan på framtida drivmedelspriser.

6.2. Resultat

6.2.1. Växthusgasutsläpp i modellens basår

I SETS-modellen har energianvändningen per fartyg estimerats för de fartygen som används i handelssjöfarten i basåret. Tabell 25 sammanfattar de uppskattade växthusgasutsläppen för den offentligt styrda sjöfarten i jämförelse med yrkessjöfarten. Totalt uppskattas CO₂e-utsläppen från den offentliga sjöfarten stå för sju procent av totala utsläpp från fartyg som anlöpt Sverige och seglat inom Shipair-modellens område under 2019.

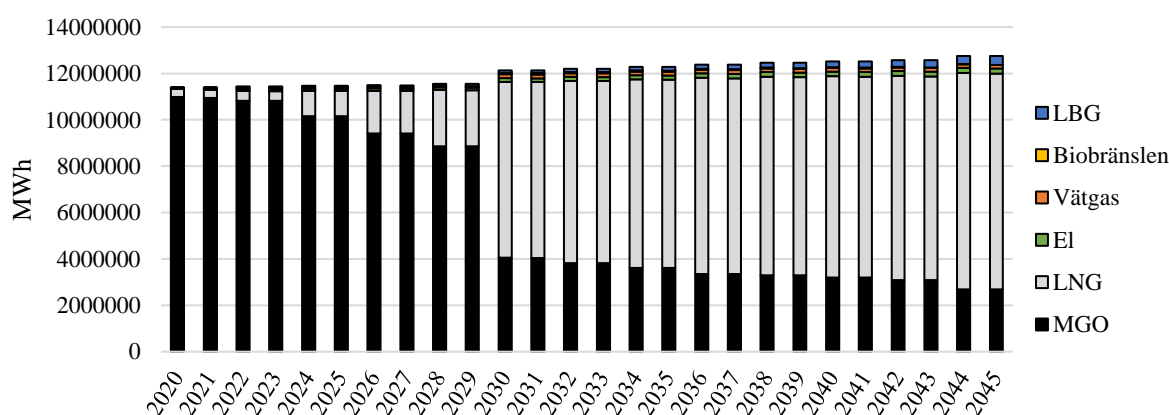
Tabell 25. Uppskattade växthusgasutsläpp för offentlig styrd sjöfart och yrkessjöfart 2019. Källa: Beräkningar i Trosvik & Brynolf (2023).

Aktör	Fartygstyp	Antal fartyg	CO ₂ e-utsläpp (TTW), ton	Andel av totala utsläpp
Kollektivtrafik	Passagerarfärjor, Ropax	90	15 455	0,5%
Färjerederiet	Passagerarfärjor, Ropax	70	17 592	0,6%
Sjöfartsverket	Servicefartyg	101	25 489	0,8%
Kustbevakningen	Servicefartyg	140	8 627	0,3%
Gotlandsfärjorna	Ropax	4	148 612	4,8%
Totalt offentlig sjöfart			215 775	7,0%
Totalt handelssjöfart			2 883 669	93,0%
Total			3 099 444	

6.2.2. Scenarioestimeringar

Figur 10 visar den estimerade energianvändningen av samtliga fartyg år 2020–2045 för BAU-scenariot. Resultaten indikerar att, om inga åtgärder vidtas, beräknas fossila drivmedel (symboliserat med MGO) fortsatt vara det mest använda drivmedlet fram till 2030. Under perioden 2030 – 2045 är LNG det mest använda drivmedlet. Andra drivmedel beräknas vara försumbara och användningen av LBG, biodrivmedel, el och vätgas kommer från antaganden om den offentligt styrda sjötrafiken.

I BAU-scenariot förväntas den totala energianvändningen att öka med tolv procent mellan 2020 och 2045. Ökningen kan till stor del förklaras av den antagna efterfrågeutvecklingen (se avsnitt 6.1). Om det i stället antas en konstant transportefterfrågan för samtliga fartyg beräknas den totala energianvändningen minska med nio procent mellan 2020 och 2045. Minskningen kan bland annat förklaras av det används nya mer energieffektiva framdrivningssystem 2045 än i 2020.



Figur 10. Estimerad energianvändning i BAU-scenariot för samtliga fartyg.

En förklaring till att trendbrottet år 2030 är att ett stort antal fartygsägare väljer att investera i nya lösningar det året (som beskrivet i avsnitt 6.1 måste fartygsägare ”ersätta” ett fartyg senast det år ett fartyg skrotas). Tabell 26 presenterar andelen fartyg som uppnått sin antagna livslängd och därmed måste skrotas/ersättas samt andelen fartyg som ersätts varje beslutsår i respektive scenario. För 17

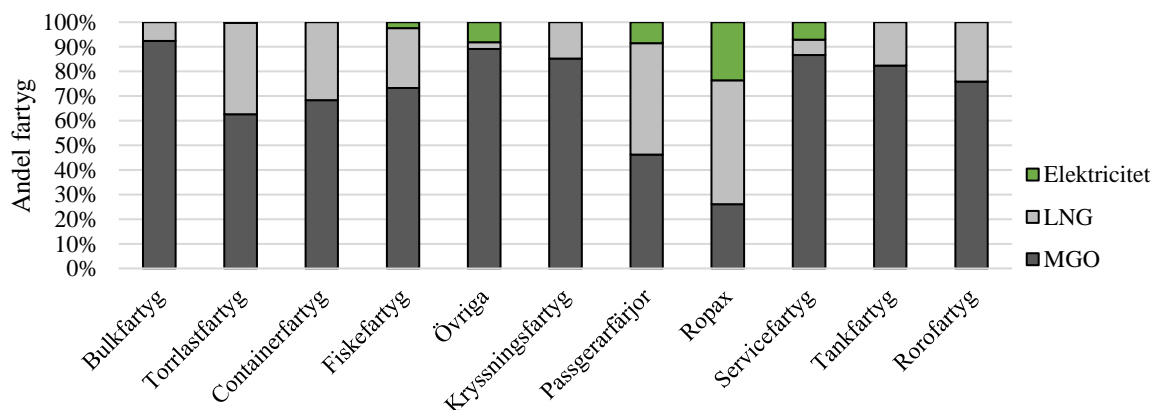
procent av fartygen i modellen är det sista beslutsåret (före skrotningen) 2030, vilket kan förklara varför en så pass stor andel av fartygens drivlinor ersätts med alternativa framdrivningstekniker det året.

Tabell 26. Andel fartyg som ersätts per beslutsår i respektive scenario.

Scenario	Andel investeringar per år (%)											
	2022	2024	2026	2028	2030	2032	2034	2036	2038	2040	2042	2044
Sista antagna strottningsår*	0,8	0,7	1,2	2,2	17,1	7,3	10,2	8,1	5,6	4,4	7,5	34,8
Scenario BAU	1,0	0,7	1,2	2,2	19,3	7,2	9,6	8,2	5,5	4,4	7,0	33,8
Scenario 1	1,1	0,7	1,2	2,5	19,2	7,1	9,6	8,1	5,5	4,4	7,0	33,8
Scenario 2	1,1	0,7	1,2	3,0	18,9	7,0	9,5	8,0	5,5	4,4	6,9	33,7
Scenario 3	1,1	0,7	1,3	2,2	19,2	7,5	9,7	8,2	5,8	4,5	6,8	33,0
Scenario 4	1,5	0,7	1,3	2,1	19,5	7,5	9,3	8,2	5,8	4,5	6,6	32,9

*Avser hur stor andel av fartygen som uppnått sin antagna livslängd i modellen och därmed måste skrotas och investera i ett nytt framdrivningssystem.

Figur 11 visar andelen fartyg per segment inom handelssjöfarten som valt olika drivmedel i BAU-scenariot, totalt över tidsperioden 2020–2045. Figuren visar att elektrisk framdrift väljs av mellan 2–24 procent av fartygen inom segmenten fiskefartyg, passagerarfärjor, ropaxfartyg, servicefartyg, samt övriga fartyg. Inom dessa segment är det främst mindre fartyg, under 5000GT, som beräknas byta till elektrisk framdrift. Figuren visar även att fartygsägare i samtliga segment väljer att övergå till LNG, där andelen varierar mellan 3–50 procent. Inom segmenten bulkfartyg, passagerarfartyg, servicefartyg, tankfartyg, samt övriga fartyg väljer över 90 procent att fortsätta använda fossila drivmedel.

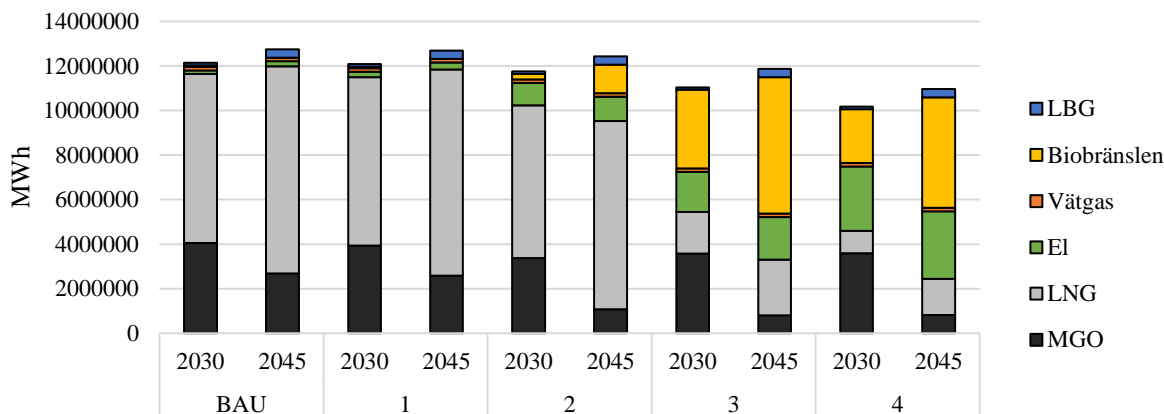


Figur 11. Andel fartyg per segment inom handelssjöfarten som valt de olika drivmedlen i BAU-scenariot.

Figur 12 visar en sammanfattning av den estimerade energianvändningen i alla scenarion för 2030 och 2045. Utfallet för scenario 1, där ETD antas införas, skiljer sig endast marginellt från BAU-scenariot i termer av energianvändning och valda framdrivningstekniker. Totalt estimeras energianvändningen öka med elva procent till 2045, vilket är något lägre än för BAU-scenariot. Detta förklaras av att något fler fartyg väljer att investera i elektrisk framdrivning.

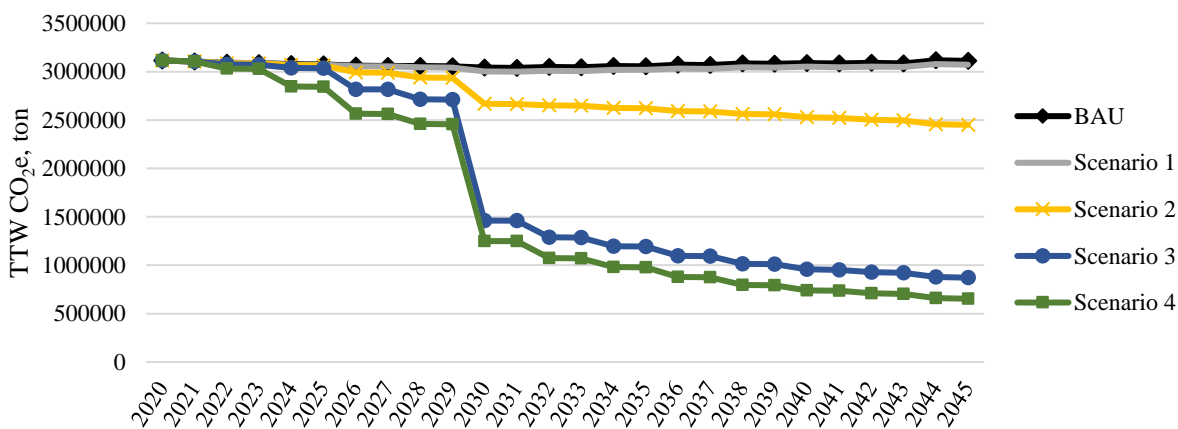
I scenario 2 antas EU ETS med ett lågt utsläppspris inkluderas utöver ETD, vilket huvudsakligen påverkar utfallet genom att fler fartygsägare väljer elektrisk framdrivning och biodrivmedel. För detta scenario estimeras energianvändningen att öka med nio procent mellan 2020 och 2045. Samma effekter förstärks i scenario 3, vilken inkluderar samma styrmedel som scenario 2 men ett högre pris

för utsläppsrätter. Biodrivmedel används i detta scenario mer än LNG och energianvändningen beräknas öka med fyra procent mellan 2020 – 2045. Scenario 4, vilken utöver styrmedlen i scenario 3 även antar en subvention av laddinfrastruktur, resulterar i en ökning av användningen av elektrisk framdrivning med 58 procent och att 73 fler fartyg går över till eldrift jämfört med scenario 3. I det här scenariot estimeras energianvändningen att minska med fyra procent mellan 2020 – 2045.³⁴



Figur 12. Sammanfattning av den estimerade energianvändning i BAU-scenariot samt scenario (1)-(4) för 2030 och 2045.

Figur 13 visar den beräknade utvecklingen av sjöfartens växthusgasutsläpp mellan 2020 och 2045 för alla scenarier. För BAU-scenariot och scenario 1 ser utvecklingen liknande ut, och utsläppsnivåerna beräknas ligga på i princip samma nivå 2045 som för 2020. För scenario 2 beräknas utsläppen minska med 21 procent, medan den i scenario 3 och 4 beräknas minska med 72 respektive 79 procent till 2045. De stora utsläppsminskningarna i scenario 3 och 4 kan förklaras av den höga användningen av el och biodrivmedlen vars emissionsfaktorer är lika med noll ur ett TTW-perspektiv.³⁵



Figur 13. Estimerade CO₂e-utsläpp (TTW) mellan 2020–2045 för alla modellerade scenarier.

³⁴ Om energiförbrukningen från den ökade transportefterfrågan exkluderas, det vill säga om en konstant transportefterfrågan antas för samtliga fartyg, förväntas scenarierna leda till att den totala energianvändningen minskar med 10 procent (scenario 1), 13 procent (scenario 2), 18 procent (scenario 3) och 24 procent (scenario 4) mellan 2020 – 2045.

³⁵ I Trosvik och Brynolf (2023) beräknas även utsläppen utifrån ett livscykelperspektiv, där CO₂e-utsläppen för scenario 3 och 4 uppskattas vara ungefär dubbelt så höga år 2045 jämfört med uppskattningen ur ett TTW-perspektiv. Detta kan förklaras av att produktionen av både biobränslen och el (som uppskattas användas i hög utsträckning i båda scenarierna) innebär ytterligare utsläpp än från ett TTW-perspektiv.

7. Slutsatser och diskussion

Analysen av möjliga drivmedel och deras potentiella utveckling i Sverige fram till 2030 respektive 2045 utifrån en litteraturstudie och expertbedömningar i Malmgren et al. (2021) bedömer

- att framdrift med metan eller metanol är det lämpligaste alternativet för ro-ro-färjor, passagerarfärjor, tankfartyg och torrlastfartyg. Det lyfts fram att det är en fördel att flytande alternativa drivmedel kan utnyttja befintlig bunkringsinfrastruktur.
- att den begränsade räckvidden för alternativa energibärande lösningar ofta är den största begränsande faktorn.
- att (bio)dieselalternativ är lämpliga för fartyg där hastighet är viktig eftersom alla andra lösningar kräver större lagringsutrymmen ombord (vilket kan begränsa fartygens hastighetsfunktionalitet)
- att begränsningar rörande utrymme och vikt är avgörande för lastfartyg, såsom bulkfartyg och tankfartyg. En viktig parameter för bulktransporter är möjligheten att frakta stora mängder per resa, vilket ökade vikt- och utrymmeskrav för framdrivning begränsar.
- att vätgas och ammoniak befinner sig i så pass tidiga utvecklingsstadier att en betydande övergång för någon typ av marin trafik till de drivmedlen sannolikt inte kommer att vara möjligt i närtid.
- att el för framdrivning har fördelen, jämfört flytande förnyelsebara drivmedel, att färre energi-omvandlingssteg krävs. Räckvidden för elektrisk framdrivning är begränsad och utbyggnad av infrastruktur kan vara krävande. Elframdrivning ställer krav på god och säker tillgång på el i hamnar.

7.1. Omställning till fossilfri framdrift är ett relativt nytt område inom sjöfarten

En övergripande observation är att omställningen till fossilfria sjötransporter är ett relativt nytt område som kännetecknas av att olika begrepp (delvis synonyma, delvis överlappande) används för att beskriva till exempel olika drivmedel, framdrivningstekniker och fartygskategorier. Vidare är det uppenbart att förutsättningarna för omställningen har förändrats sedan projektstarten hösten 2020, inte minst genom de inom ramen för EU:s klimatprogram "Fit för 55" föreslagna och delvis beslutade klimatstyrmedel och den tekniska och makroekonomiska utvecklingen.

7.2. Den officiella statistiken för utrikessjötrafiken är svårt att använda

Den officiella statistiken avseende sjöfartens energianvändning och växthusgasutsläpp innehåller tillförlitliga uppgifter för inrikestrafik. För utrikestrafiken som står för lejonparten av energianvändningen och utsläppen är det dock inte meningsfullt att använda den officiella statistiken, då den endast innehåller drivmedel som har sålts i Sverige och används för transporter som avgår från en svensk hamn och ankommer till utländska hamnar runt om i världen. Det finns ett behov att ta fram - så detaljerad som möjlig - information om utrikes sjöfartens energianvändning och utsläpp som komplement till den befintliga statistiken. Det behövs även information om hur (till exempel för huvudmaskiner eller hjälpmaskiner), var (i eller utanför hamnar) energin används och var fartygen bunkrar.

7.3. LNG, HVO och el är de alternativa drivmedel som används mest

Enligt enkätstudien som genomfördes i början av projektet (Holmgren et al., 2021) och den senast tillgängliga statistiken används alternativa drivmedel sedan 2017. Statistiken visar en ökad användning av HVO mellan 2017 och 2021 och LNG mellan 2019 och 2021. HVO användes enbart i inrikes trafiken och LNG i inrikes- och utrikestrafiken. I enkätstudien identifierades även en ökande trend för el, statistiken innehåller dock inte uppgifter för el. Därför är det positivt att regeringen har gett

Trafikanalys i uppdrag att utveckla statistiken på transportområdet avseende elektrifiering (Regeringsbeslut, I2023/02047).

7.4. Förutsättningar skiljer för statliga fartygsägare

År 2020 uttryckte regeringen i samband med att man lade uppdrag på Sjöfartsverket och Kustbevakningen en ambition om att staten ska gå före i omställningen till fossilfria transporter, både för att stärka trovärdigheten i klimatpolitiken och för att visa andra aktörer på möjligheten till omställning. Enligt Trosvik & Brynolf (2023) står växthusgasutsläppen som de statligt ägda fartygen ger upphov till för cirka två procent av växthusgasutsläppen i Shipair-området. (Andelen beräknas till sju procent om även den offentligt upphandlade trafiken inkluderas). Förutsättningarna skiljer sig dock mellan de tre största statliga fartygsägarna:

- För Sjöfartsverket är vägen framåt är att hålla sig till sin nuvarande investeringsplan och att vid varje nytt investeringstillfälle göra en bedömning av vilka framdrivningssystem som är lämpliga. Under tiden ska minskade växthusgasutsläpp uppnås genom operationella åtgärder (som kan påverka servicenivån på längre sikt) och tekniska effektiviseringar samt användandet av dieselsubstitut, då främst HVO. Idag använder Sjöfartsverket knappt HVO. Bland annat mot bakgrund av att regeringen har beviljat öronmärkta medel för omställningen (45 miljoner kronor årligen 2022 – 2024 och aviserade sex miljoner kronor efter 2024) uppskattar Sjöfartsverket att den sammanvägda potentialen att minska energianvändningen kan ligga vid 50 procent mellan 2020 och 2045.
- Kustbevakningen planerar användandet av alternativa drivmedel, ombyggnationer av fartyg till hybridelektrisk framdrivning, energieffektiviseringar och investeringar i laddinfrastruktur. Helelektrisk framdrivning bedöms inte som lämpligt för myndighetens fartyg. Förslagen beräknas kosta sammanlagt 1 545 miljoner kronor. I början på februari 2023 har inköpen av HVO avbrutits av kostnadsskäl. Dessutom förväntas ökningen av myndighetens arbetsuppgifter leda till ett högre utnyttjande av fartygsflottan. Ändå uppskattas utsläppsminskningen under perioden 2020–2045 kunna ligga vid 50 procent, fast inte linjärt.
- I den 2021 genomförda enkätstudien var Färjerederiet den enda statliga fartygsägaren som använde förnybara drivmedel (el och HVO). År 2017 tog Färjerederiet, som är den del av Trafikverket, fram handlingsplanen ”Vision 45” för hur verksamheten ska uppnå en flotta med nettonollutsläpp 2045. För att finansiera nya och ombyggda färjor, laddningsstationer och kajer (på totalt 5 050 miljoner kronor) planerar Färjerederiet prisökningar för färjedriften (som huvudsakligen betalas av Trafikverket) fram till 2033.

Beskrivningarna ovan illustrerar att förutsättningarna för omställningen skiljer sig mellan Färjerederiet å ena sidan och Sjöfartsverket och Kustbevakningen å andra sidan. Färjerederiets servicenivå antas vara konstant och finansieringen sker inom ramen för Trafikverket. Sjöfartsverkets och Kustbevakningens möjligheter att ställa om via beteendeförändringar (till exempel genom att justera servicenivåerna) och byten till alternativa drivmedel och har diskuterats inom ramen för vårt projekt. Den hittills mindre användningen av HVO än planerat är troligen ett resultat av den osäkra tillgången och variationen i pris på motsvarande sätt som det beskrivs i enkätstudien i Holmgren et al. (2021). En slutsats som kan dras är att det inte ställs tillräckligt tydliga krav på den statligt ägda fartygsflottan på var eller hur omställningen till fossilfrihet ska ske, till vilken omfattning eller med vilket tidsperspektiv. Vi anser som Trafikanalys (2022b) att kraven på myndigheternas flottor bör utvecklas och samordnas med finansieringen. Det är dock inte givet att lösningen är ”att formulera och genomföra krav på samtliga statligt ägda fartyg så att utsläppen av växthusgaser från dessa ligger i linje med den utsläppskurva som gäller för inrikes transporter” Trafikanalys (2022b, s. 6).

7.5. Ropax- och passagerarfärjor är bra lämpade för eldrift

I analysen av samtliga fartyg som anlöper Sverige identifierade Holmgren et al. (2021) att ropaxfartyg och passagerarfärjor har de bästa förutsättningar för att ställa om till eldrift. Utifrån antagandet att sträckor kortare än 100 km skulle vara möjliga att helelektrifiera till 2030 uppskattas i ett mycket enkelt räkneexempel, som inte beaktar fartygens hastighet, tillgången till laddningsinfrastruktur eller fartygsägarnas och hamnarnas kostnader, att 18 procent av ropaxfartygens drivmedelsförbrukning 2019 skulle kunna ersättas med el. Bland annat på el-området pågår utvecklingar. En nyligen avslutad förstudie (Rogerson et al, 2023) visar till exempel att elektrifierad sjöfart skulle vara möjlig för små containerfartyg (60 40-fots container) på den cirka 900 km långa sträckan Skellefteå - Södertälje. Fartyget antas gå i en relativ låg hastighet (under åtta knop) och att det finns goda möjligheter för att ladda batterierna när det ligger tolv timmar för lastning och lossning vid kaj. Under vintern behöver eldriften kompletteras med förbränningsmotorer. Genomgången i Malmgren et al. (2021) och exemplen för Färjerederiernas färjor, ropaxfartyget som går mellan Helsingör och Helsingborg och det ovan beskrivna containerfartyget illustrerar att eldriven sjöfart kräver vissa förutsättningar (t.ex. korta distanser och frekventa flöden) och/eller att det är nödvändig att göra anpassningar (t.ex. segla i låga hastigheter, utveckla olika lösningar för olika tider på året).

7.6. SETS modellerar fartygsägarnas beslut baserade på kostnader för olika alternativ

Den förenklade ansatsen i Holmgren et al. (2021) har utvecklats i Trosvik & Brynolf (2023) så att den uppskattade energianvändningen på den mest krävande ruten beaktas och kostnaden för framdrivningssystem tas med. I den första versionen av SETS-modellen (Swedish energy transition of shipping model) modelleras de besluten som fartygsägare inom handelssjöfarten antas ta vartannat år mellan 2020 och 2045. För den offentligt styrda sjöfarten används aktörernas omställningsstrategier fram till 2045 som antagande. Antaganden om utvecklingen av efterfrågan inom handelssjöfarten fram till 2045 baseras på Trafikverkets transportprognoser. Ett resultat är att lägre växthusgasutsläpp per seglad sträcka äts upp av den antagna efterfrågeökningen (godstransportarbetet till sjöss beräknas öka med nästan 50 procent mellan 2020 och 2045). I referensalternativet beräknas energianvändningen med den antagna efterfrågeökningen öka med tolv procent och minska med nio procent om det antas samma efterfrågan 2020 och 2045. Givet den antagna efterfrågeutvecklingen, är ett intressant resultat att de antagna energieffektiviseringar, byten till nya energieffektivare fartyg och alternativa drivmedel beräknas leda till en mycket lägre tillväxt för energianvändningen (tolv procent) än för efterfrågeökningen (50 procent för godstransporter som utgör lejonparten av transporterna och växthusgasutsläppen) mellan 2020 och 2045 i referensscenariot. Detta innebär dock inte att växthusgasutsläppen reduceras i referensscenariot.

Uppdelat på fartygssegment inom handelssjöfarten beräknas i referensalternativet 2–24 procent av alla passagerarfärjor, ropaxfartyg, servicefartyg och övriga fartyg byta till elektrisk framdrift mellan 2020–2045. I dessa segment beräknas främst mindre fartyg, under 5000 GT byta till el. Fartygsägare i samtliga segment beräknas övergå till LNG, andelen varierar mellan 3 och 50 procent. Inom segmenten bulk-, passagerar-, service- och tankfartyg samt övriga fartyg beräknas 90 procent av fartygen gå även 2045 på fossila drivmedel.

7.7. Beräknade effekter av styrmedelsscenarioer

SETS-modellen har använts för att beräkna vilka drivmedel/framdriftslösningar kostnadsminimerande fartygsägare väljer om vissa styrmedel/styrmedelspaket införs. Baserat på fartygsägarnas beslut kan resulterande energianvändning och växthusgasutsläpp beräknas. Jämfört 2020 beräknas följande styrmedel/styrmedelspaket leda till följande effekter fram till 2045:

- Scenario 1: Om det antas att marint bränsle beskattas i enlighet med EU:s klimatprogram ”Fit for 55” beräknas en något lägre tillväxt för energianvändningen (elva procent) än i referensscenariot (tolv procent). Ungefär samma övergång från MGO till LNG som i referensscenariot beräknas. Ingen minskning av växthusgasutsläppen beräknas.
- Scenario 2: Om fartyg med över 5000 GT dessutom inkluderas i EU ETS och det antas ett lågt pris på 100 EUR/ton CO₂ för utsläppsrätter 2020 till 2045 beräknas energianvändningen öka med nio procent. I detta scenario väljs även el och biobränslen som drivmedel och växthusgasutsläppen beräknas minska med 21 procent.
- Scenario 3: Om fartyg med över 5000 GT dessutom inkluderas i EU ETS och det antas ett högt pris för utsläppsrätter (med en linjär ökning mellan 100 till 192 EUR/ton CO₂ mellan 2020 och 2045) beräknas energianvändningen öka med fyra procent. I detta scenario förstärks effekten som observeras i scenario 2; växthusgasutsläppen beräknas minska med 72 procent.
- Scenario 4: Om det antas en skatt på marint bränsle, ett högt pris för utsläppsrätter och en subvention av laddinfrastrukturen beräknas energianvändningen minska med fyra procent. I detta scenario beräknas - som förväntat - användningen av el öka; växthusgasutsläppen beräknas minska med 79 procent.

7.8. Det finns ett stort analysbehov avseende fartygens omställning till fossilfri framdrift

Det finns ett stort analysbehov med avseende på att samhället idag inte är på väg att uppnå de uppsatta klimatmålen. Införandet av EU:s klimatprogram ”Fit for 55” innebär att sjöfarten kommer i kapp de andra trafikslagen när det gäller beskattningen av drivmedel. De nationella styrmedlen blir i högre grad ett komplement till de internationella styrmedlen. Inte minst på grund av risken för ”lock-in-effekter” efterfrågar offentliga och privata aktörer på sjötransportområdet mer information och bättre beslutsunderlag. Om tillverkningen av fartyg tar lång tid kan det vid beställningen vara svårt att specificera vilka drivmedel som ska användas.

Första versionen av SETS-modellen och de redovisade resultaten ska ses som ett första steg för att simulera fartygsägares val av drivmedel och framdriftsteknik. Idealt borde modellen utvecklas så att den även kan analysera hur energieffektiviseringsåtgärder, begränsningar av tillgången på olika drivmedlen samt hur förändrat lastutrymme (beroende på vikt- och utrymmeskrav från olika drivmedel) påverkar fartygsägares kostnader och intäkter. På sikt borde styrmedelsanalyserna ha ett bredare fokus än den direkta klimatpåverkan; det skulle till exempel beaktas att användningen av el i stället för fossila drivmedlen minskar växthusgasutsläpp, luftföroreningar och buller.

7.9. Den genomsnittliga åldern av fartygen som anlöper Sverige är relativt högt

En intressant observation i kapitel 2 är den höga genomsnittliga åldern av de fartygen som anlöper de svenska hamnar. Fartygens genomsnittliga ålder på 24 år kan jämföras med den genomsnittliga skrotning åldern för den globala fartygsflottan på 30 år. Av de fartygen som anlöper Sverige är tankfartyg yngst (12 år) och passagerarfartyg äldst (48 år). På workshopen som anordnades 2021 inom ramen projektet nämnde en tankfartygsägare följande drivkrafter för genomförda omställningsåtgärder: ny teknik, politik och samarbete med varuägare och andra aktörer. När det gäller segmentet passagerarfartyg är en fråga om kollektivtrafikens genomförda och planerade elektrifieringar kan förändra bilden. I framtida forskning skulle det relevant att studera per fartygssegment 1) i vilken mån fartygens användningsområde och storlek skiljer mellan flottan som trafikerar Sverige och den globala flottan, 2) i vilken mån fartygens livslängd förlängs genom retrofits och 3) i vilken mån förutsättningar med avseende på fartygsfinansiering, regelverk och ekonomiska incitament skiljer.

Referenser

- Axelsson, E. & Pettersson, K. (2014). *Energy price and Carbon Balances Scenarios tool (ENPAC) – a summary of recent updates*. Chalmers University of Technology.
- Bengtsson, S., Andersson, K., & Fridell, E. (2011). A comparative life cycle assessment of marine fuels: liquefied natural gas and three other fossil fuels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 225(2), 97-110.
- Biofuels international. (25 februari 2020). *Södra makes first delivery of biomethanol in Sweden for biodiesel production*. Woodcote Media Ltd. <https://biofuels-news.com/news/sodra-makes-first-delivery-of-biomethanol-in-sweden-for-biodiesel-production/>
- Brynolf, S. (2014). *Environmental assessment of present and future marine fuels*. [Doktorsavhandling, Chalmers Tekniska Högskola]
- Brynolf, S., Hansson, J., Anderson, J.E., Skov, I.R., Wallington, T.J., Grahn, M., Korberg, A.D., Malmgren, E., Taljegård, M. (2022). Review of electrofuel feasibility—prospects for road, ocean, and air transport. *Progress in Energy* <https://doi.org/10.1088/2516-1083/ac8097>
- Brynolf, S., Hansson, J., Kanchiralla, F. M., Malmgren, E., Fridell, E., Stripple, H., & Nojpanya, P. (2023). *Life Cycle Assessment of Marine Fuels in the Nordic Region – Task 1C. ROADMAP FOR THE INTRODUCTION OF SUSTAINABLE ZERO-CARBON FUELS IN THE NORDIC REGION*.
- Cision. (23 oktober 2020). *Startskott för storskalig omställning av Preemraff Lysekil*. <https://news.cision.com/se/preem-ab/r/startskott-for-storskalig-omstallning-av-preemraff-lysekil.c3221709>
- Destination Gotland. (2020). *Färdplan för en klimatneutral Gotlandstrafik*.
- Energimyndigheten. (2023). *Energianvändning i transportsektorn (inrikes och utrikes) uppdelad på transportslag samt bränsleslag, 1970-* (Energidatabasen). https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/Transportsektorns%20energianv%c3%a4ndning/-/EN0118_3.px/?rxid=d64f7a07-90c5-418f-8cb3-ca12ba959187
- Energimyndigheten. (2017). *Sjöfartens omställning till fossilfrihet* (No. ER 2017:10). Eskilstuna, Sverige.
- Europeiska kommissionen. (2015). *Regulation (EU) 2015/757 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2015 on the monitoring, reporting and verification of carbon dioxide emissions from maritime transport, and amending Directive 2009/16/EC* (No. OJ L 123, 19.5.2015).
- Europeiska kommissionen. (2021a). *Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EC establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the Union, Decision (EU) 2015/1814 concerning the establishment and operation of a market stability reserve for the Union greenhouse gas emission trading scheme and Regulation (EU) 2015/757* (No. COM(2021) 551 final). European Commission
- Europeiska kommissionen. (2021b). *Proposal for a COUNCIL DIRECTIVE restructuring the Union framework for the taxation of energy products and electricity (recast)* (No. COM/2021/563 final).
- Europeiska Kommissionen (2021c). *Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on the deployment of alternative fuels infrastructure, and repealing Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council. COM(2021) 559 final. 2021/0223(COD)*
- Europeiska kommissionen. (2021d). *Commission Staff Working Document - Impact assessment report - Accompanying the document Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EC establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the Union, Decision (EU) 2015/1814 concerning the establishment and operation of a market stability*

- reserve for the Union greenhouse gas emission trading scheme and Regulation (EU) 2015/757 (No. SWD(2021) 601 final). European Commission, Brussels.
- Europeiska kommissionen. (19 december 2022). *European Green Deal: EU agrees to strengthen and expand emissions trading, and creates a Social Climate Fund to help people in the transition* https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_7796
- Fridell, E., Hansson, J., Jivén, K., Styhre, L., Romson, Å., & Parsmo, R. (2022). (Nr U 6584). *Studie på sjöfartsområdet: Styrmedel och scenarier för sjöfartens omställning*.
- Färjerederiet, (2022). *Färjerederiets årsrapport 2021*. <https://www.trafikverket.se/contentassets/f3bca5245ab24f508d4f9ae515aefa73/farjerederiets-arsrapport-2021-tillganlighetsanpassad.pdf>
- Gustavsson Binder, T. (2022). *HVO100 - analys av nuläge och framtida utveckling*. (Nr C 709) IVL Svenska Miljöinstitutet.
- Hjort, A., Hansson, J., Lönnqvist, T. & Nilsson, J. (2019). *Utsikt för förnybar flytande metan i Sverige till år 2030*. (f3 2019:05). f3 svenskt kunskapscentrum för förnybara transportbränslen.
- Holmgren, K., Johansson, M., & Polukarova, M. (2021). *Sjöfartens användning av alternativa bränslen: trender och förutsättningar*. (VTI rapport 1039). Statens väg-och transportforskningsinstitut.
- Hoffmann, J. (2020). *Decarbonizing maritime transport: Estimating fleet renewal trends based on ship scrapping patterns*. UNCTAD Transport and Trade Facilitation Newsletter. N°85 Article No.45-First Quarter 2020.
- Hwang, S., Jeong, B., Jung, K., Kim, M., & Zhou, P. (2019). Life cycle assessment of LNG fueled vessel in domestic services. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(10), 359.
- Hybrit. (u.å.). *Direktreduktion med vätgas i pilotskala*. <https://www.hybritdevelopment.se/en-fossilfri-utveckling/direktreduktion-med-vatgas-i-pilotskala/>
- Iannaccone, T., Landucci, G., Tugnoli, A., Salzano, E., & Cozzani, V. (2020). Sustainability of cruise ship fuel systems: Comparison among LNG and diesel technologies. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121069.
- IEA. (2021). *Sweden* [databas] <https://www.iea.org/countries/sweden>
- IEA. (2022). *World energy outlook 2022*.
- IHS Markit. (2017). *IMO Ship and Company Number Scheme - StatCode 5 Shiptype Coding System*. <https://ihsmarkit.com/products/imo-ship-company.html>
- IHS Markit (2020). *Sea-Web database* (skraddarsytt uttag för VTI).
- IMO. (2011). *Amendments to the Annex of the protocol of 1997 to amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relation thereto (Inclusion of regulations on energy efficiency for ships in MARPOL Annex VI)*. (Resolution MEPC.203(62).)
- IMO. (2016). *Amendments to the annex of the protocol of 1997 to amend the international convention for the prevention of pollution from ships, 1973, as modified by the protocol of 1978 relating thereto amendments to MARPOL Annex VI (Data collection system for fuel oil consumption of ships)*. (Resolution MEPC.278(70))
- IMO (2020). *Fourth IMO greenhouse gas study 2020*.
- IMO. (2021a). *2021 guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency existing ship index (EEXI)*. (Resolution MEPC.333(76)).

- IMO (2022). *2022 guidelines for the development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)*. Resolution MEPC.346(78)
- Jivén, K., Mellin, A., Styhre, L. & Garne, K. (2020). *Fossilfri kollektivtrafik på vatten - hinder och möjligheter för färjor med hög miljöprestanda* (Lighthouse reports).
- Kanchiralla, F. M., Brynolf, S., Malmgren, E., Hansson, J., & Grahn, M. (2022). Life-Cycle Assessment and Costing of Fuels and Propulsion Systems in Future Fossil-Free Shipping. *Environmental Science & Technology*, 56(17), 12517-12531.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.2c03016>
- Korberg, A. D., Brynolf, S., Grahn, M., & Skov, I. R. (2021). Techno-economic assessment of advanced fuels and propulsion systems in future fossil-free ships. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142, 110861.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110861>
- Korberg, A., Mako, P., Lizbetin, J., & Bohm, P. (2021). The impact of an environmental way of customer's thinking on a range of choice from transport routes in maritime transport. *Sustainability*, 13(3), 1230
- Kou, Y., & Luo, M. (2018). Market driven ship investment decision using the real option approach. *Transportation Research Part A: policy and practice*, 118, 714-729.
<https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.10.016>
- Kustbevakningen. (2021) *Uppdrag att analysera och föreslå hur myndighetens fartygsflotta skulle kunna bli fossilfri*. (ISBN: 978-91-519-6888-9)
- Kustbevakningen. (2023). *Frågor gällande scenarioräkningar för projektet "Potential och förutsättningar för svensk sjöfarts omställning"*. (Jonas Nilsson. 27 februari 2023).
- Lloyd's Register. & UMAS. (2020). *Techno-economic assessment of zero-carbon fuels*. London, UK
- Malmgren, E., Brynolf, S., Fridell, E., Grahn, M., & Andersson, K. (2021). The environmental performance of a fossil-free ship propulsion system with onboard carbon capture—a life cycle assessment of the HyMethShip concept. *Sustainable Energy & Fuels*, 5(10), 2753-2770.
<https://doi.org/10.1039/D1SE00105A>
- Malmgren, E., Brynolf, S., Hansson, J., Grahn, M. & Holmgren, K. (2021). *The feasibility of alternative fuels and propulsion concepts for various shipping segments in Sweden*. [Konferensbidrag] 29th Conference of the International Association of Maritime Economists, Rotterdam
- Merkel, A., Vierth, I., Jändel, S., & Kvarnefalk, A. (2022). *Kartläggning av hamnarnas avgifter: framtagen inom projektet "Avgiftsmodell 2028"*. (VTI PM 2022:9) Statens väg-och transportforskningsinstitut
- Naturvårdsverket (2023a0.) *Data och statistik – Klimat – Inrikes transporter, utsläpp av växthusgaser*.
<https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-inrikes-transporter/>
- Naturvårdsverket (2023b). *Data och statistik – Klimat – Utrikes sjöfart och flyg, utsläpp av växthusgaser*.
<https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-utrikes-sjofart-och-flyg/>
- P4 Gotland. (2021). *Destination Gotland ökar mängden biogas - och minskar utsläppen*. Sveriges Radio, P4 Gotland.
<https://sverigesradio.se/artikel/destination-gotland-okar-mangden-biogas-och-minskar-utslappen>

- Regeringsbeslut, I2020/01135/US. *Uppdrag att analysera och föreslå hur myndighetens båt- och fartygsflotta skulle kunna bli fossilfri.*
<https://www.regeringen.se/contentassets/bbc87998b63b40e19b2b19e879524db1/rb-i-2-i2020-01135-us-uppdrag-sjv-fossilfria-fartyg.pdf>
- Regeringsbeslut, I2020/01136/US. *Uppdrag att analysera och föreslå hur myndighetens båt- och fartygsflotta skulle kunna bli fossilfri.*
<https://www.regeringen.se/contentassets/7409951e53514edcacf98c63175a9063/rb-i-3-i2020-01136-us-uppdrag-kb-fossilfria-fartyg.pdf>
- Regeringsbeslut, I2023/02047. *Uppdrag att utveckla statistik avseende elektrifiering.*
<https://www.regeringen.se/contentassets/3f8ff9efdbd346deb3669fbb1563f093/uppdrag-att-utveckla-statistik-avseende-elektrifiering/>
- Region Stockholm. (2017). *Regionalt trafikförsörjningsprogram för Stockholms län*
- Rogerson, S., Olsson, T., Sjöling, S. & Bach, A. (2023). *Hållbara försörjningskedjor med eldriven sjöfart mellan Norrland och Södertälje* (Lighthouse förstudie) Lighthouse
- Sandviken Purepower. (u.å). *Sveriges fjärde vätgasstation.* <https://sandvikenpurepower.se/vatgas.html>
- SFS 1997:1121 *Förordning om farledsavgift.* Landsbygds- och infrastrukturdepartementet RSIB US
- SFS 2015:517 *Förordning om stöd till lokala klimatinvesteringar.* Klimat- och näringslivsdepartementet
- Ship Technology. (4 augusti 2010). *Viking Lady Offshore Supply Vessel.*
<https://www.ship-technology.com/projects/viking-lady/>
- Sjöfartsverket (2021). *Fossilfri flotta regeringsuppdrag att analysera och föreslå hur myndighetens båt- och fartygsflotta skulle kunna bli fossilfri.* (Dnr 20-02039)
- Sjöfartsverket. (22 december 2022a). *Avgiftsförändringar 2023.*
<https://www.sjofartsverket.se/sv/tjanster/anlopstjanster/ekonomi-taxor-och-avgifter/avgiftsforandringar-2023/>
- Sjöfartsverket. (14 juni 2022b). *Fossilfri fartygsflotta.*
<https://www.sjofartsverket.se/sv/om-oss/vad-gor-sjofartsverket/vart-hallbarhets--och-miljoarbete/fossilfri-fartygsflotta/>
- Sjöfartsverket. (2022c). *Inriktning vid inköp och användande av fossilfria fartygsbränslen på Sjöfartsverket.* (Sofie Holmin-Fridell, 22 mars 2022)
- Sjöfartsverket. (10 januari 2023). *Sjöfartsverkets farleds- och lotsavgifter.*
<https://www.sjofartsverket.se/sv/tjanster/anlopstjanster/ekonomi-taxor-och-avgifter/>
- Sjöstrand, H., & Lindgren, S. (2022). *Regeringsuppdrag om elektrifieringen av transporter: Elektrifieringen av sjöfarten – förutsättningar, nuläge och styrmedel.* (VTI rapport 1106) Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- SL. (2023). *Om SL -Vårt miljö- och klimatarbete - Mot en grönare framtid till sjöss.*
- SOU 2022:15. *Sveriges globala klimatavtryck.*
<https://www.regeringen.se/contentassets/4a8366fdf6d84c2f929ab6e4a216e23f/sveriges-globala-klimatavtryck-sou-202215.pdf>
- Statkraft. (28 oktober 2020). *Statkraft: Klimatförändringarna banar väg för vätgasen.*
<https://www.statkraft.se/media/news-and-stories/archive/2020/nationella-planen---samordningen-i-fokus2/>

- Söderholm, S. (24 juni 2021). *Investment in climate-neutral methanol production at Perstorp is supported by the Swedish Energy Agency*. Energimyndigheten
<https://www.energimyndigheten.se/en/news/2021/investment-in-climate-neutral-methanol-production-at-perstorp-is-supported-by-the-swedish-energy-agency/#:~:text=and%20press%20releases-.Investment%20in%20climate%2Dneutral%20methanol%20production%20at%20Perstorp%20is%20s upported,to%20produce%20climate%2Dneutral%20methanol>
- Trading Economics. (2023). *Markets - Commodities - EU Carbon Permits*.
<https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>
- Trafikanalys. (2022a). *Sjötrafik 2021*
- Trafikanalys. (2022b). *Styrmedel för sjöfartens klimatomställning*. (PM: 2022:9)
- Trafikverket (2018a). *Omställning till fossilfrihet för statligt ägda fartyg – ett regeringsuppdrag*. (Rapport 2018:236).
- Trafikverket. (2018b). *Färjerederiet - Vision 45 – den gula färjan ska bli grön*.
- Trafikverket. (2020). *Prognos för godstransporter 2040 – Trafikverkets Basprognoser 2020* (No. 2020:125).
- Trafikverket. (2021). *Analys av alternativa modeller för färjetrafik till Gotland*.
- Trafikverket. (2023). *Sammanställning av Trafikverkets arbete i projektet Potential och förutsättningar för svensk sjöfartsomställning till fossilfri framdrift*. (PM Färjerederiet 2023-02-21).
- Trosvik, L. & Brynolf, S. (2023). *The Swedish maritime transport sector and scenario analyses of climate policy instruments*. Working paper.
- Uniper. (u.å.). *Vätgas i Sverige*. <https://www.uniper.energy/sv/sverige/om-uniper-i-sverige/vatgas-i-sverige>
- U.S. EIA (2022). *Annual Energy Outlook 2022 (AEO2022)*. Washington, DC, U.S. Energy Information Administration.
- Vierth, I., Holmgren, K., & Trosvik, L. (2020). *Sammanfattning av projektet ”Morötter och piskor inom sjöfarten för att uppnå miljö kvalitetsmål”*. (VTI PM) Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- Västra Götalandsregionen. (2018). *Miljö- och klimatstrategi för kollektivtrafiken i Västra Götaland*.
- Västra Götalandsregionen. (2022). *Aktualisering av miljö- och klimatstrategi för kollektivtrafiken i Västra Götaland*.
- Västtrafik. (2023). *Västtrafik - Utveckling – Elektrifiering*.
<https://www.vasttrafik.se/info/elektrifiering/>
- SL, 2023. *Om SL -Vårt miljö- och klimatarbete -Mot en grönare framtid till sjöss* <https://sl.se/sl/om-sl/vart-miljo-och-klimatarbete/till-sjoss/>
- Windmark, F., Jakobsson, M. & Segersson, D., 2017. *Modellering av sjöfartens bränslestatisik med Shipair*. SMHI, Dnr: 2016/1786/9.5, Version 1.1.
- Windmark, F., 2019. *Beskrivning av den svenska fartygsflottan 2015 – Redovisningsdokument, uppdaterat*. SMHI, (Dnr: 2019/798/9.5, Version 2.2.)
- Whiston, M. M., Azevedo, I. L., Litster, S., Whitefoot, K. S., Samaras, C., & Whitacre, J. F. (2019). Expert assessments of the cost and expected future performance of proton exchange membrane fuel cells for vehicles. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(11), 4899-4904.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1804221116>
- Wärtsilä marine. (2010). *SOFC for Wallenius car-carrier*.

OM VTI

VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut inom transportsektorn. Vår huvuduppgift är att bedriva forskning och utveckling kring infrastruktur, trafik och transporter. Vi arbetar för att kunskapen om transportsektorn kontinuerligt ska förbättras och är på så sätt med och bidrar till att uppnå Sveriges transportpolitiska mål.

Verksamheten omfattar samtliga transportslag och områdena väg- och banteknik, drift och underhåll, fordonsteknik, trafiksäkerhet, trafikanalys, människan i transportsystemet, miljö, planerings- och beslutsprocesser, transportekonomi samt transportsystem. Kunskapen från institutet ger beslutsunderlag till aktörer inom transportsektorn och får i många fall direkta tillämpningar i såväl nationell som internationell transportpolitik.

VTI utför forskning på uppdrag i en tvärvetenskaplig organisation. Medarbetarna arbetar också med utredning, rådgivning och utför olika typer av tjänster inom mätning och provning. På institutet finns tekniskt avancerad forskningsutrustning av olika slag och körsimulatorer i världsklass. Dessutom finns ett laboratorium för vägmaterial och ett krocksäkerhetslaboratorium.

I Sverige samverkar VTI med universitet och högskolor som bedriver närliggande forskning och utbildning. Vi medverkar även kontinuerligt i internationella forskningsprojekt, framförallt i Europa, och deltar aktivt i internationella nätverk och allianser.

VTI är en uppdragsmyndighet som lyder under regeringen och hör till Infrastrukturdepartementets verksamhets-/ansvarsområde. Vårt kvalitetsledningssystem är certifierat enligt ISO 9001 och vårt miljöledningssystem är certifierat enligt ISO 14001. Vissa provningsmetoder vid våra laboratorier för krocksäkerhetsprovning och vägmaterialprovning är dessutom ackrediterade av Swedac.

vti

Statens väg- och transportforskningsinstitut • www.vti.se • vti@vti.se • +46 (0)13-20 40 00
