

## **Fartygens miljöpåverkan**

Hur miljövänliga är fartyg och hur ser deras framtid ut?

John Meyer

Examensarbete  
Energi- och miljöteknik  
2020

John Meyer

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Energi- och miljöteknik
Identifikationsnummer:	7399
Författare:	John Meyer
Arbetets namn:	Fartygens miljöpåverkan
Handledare (Arcada):	Mariann Holmberg
Uppdragsgivare:	
<p>Sammandrag:</p> <p>Av dagens globala utsläpp av CO<sub>2</sub> står sjöfarten för två till tre procent, av fartygens avgaser produceras 70 procent inom 400 kilometer från land. Oljetanker, bulkfartyg och containerfartyg stod för 55 procent av fartygens utsläpp av CO<sub>2</sub> åren 2013-2015. Fartygens utsläpp av NO<sub>x</sub> och SO<sub>x</sub> leder båda till försurning av miljön. Genom användning av skrubberteknologi kan man rena avgaserna innan de släpps ut i atmosfären eller så kan man minska på avgaserna genom att använda en hybridlayout av motorer som består av både gasturbiner och kolvmotorer. Även valet av bränsle som man använder sig av inverkar på utsläppen och det finns ett antal olika bränslen som man kan använda och bränslen som man investerar i för tillfället. Förutom avgaserna och bränslen påverkar även fartygens hantering av sitt avfall och smutsvatten hur mycket de belastar miljön då de kan i värsta fall bidra till övergödningen av vattenområden. Via lagstiftning försöker man styra fartygens hantering av sitt avfall och smutsvatten. Andra faktorer som inverkar på miljön är ljudet som genereras av fartygets propeller och maskiner samt de ämnen som kan komma ut i vattnet som ett resultat av fartygets ytbehandling. I framtiden kan bränsleceller bli aktuella för fartyg att använda sig av, nya sjörutter i norr kan bli tillgängliga i samband med isarnas smältning. Hur ekonomin utvecklar sig styr fartygens trafikmängder och på så vis mängden utsläpp från fartygen. Även hur återanvändningen blir i framtidens samhälle kan påverka frakten av vissa varor till sjöss. Syftet med detta litteraturarbete var att granska fartygens påverkan på miljön och fartygens framtid både då det kommer till teknologi men även trafikutveckling. Man har använt sig av källmaterial som är på engelska, svenska och finska. Majoriteten av källmaterialet hittades på Libguide.</p>	
Nyckelord:	fartyg, miljö, fartygsbränsle, fartygsavgaser, teknik, framtid
Sidantal:	47
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme: Energi- och miljöteknik	
Identification number: 7399	
Author: John Meyer	
Title: Ships environmental impact	
Supervisor (Arcada): Mariann Holmberg	
Commissioned by:	
<p>Abstract:</p> <p>Of today's global CO<sub>2</sub> emissions shipping stands for two to three percent, of ships exhaust gases 70 percent are produced within 400 kilometers from land. Oiltankers, bulkcarriers and containerships stood for 55 percent of ships CO<sub>2</sub> emissions between 2013 and 2015. Both emissions of NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> leads to acidification of the environment. By using scrubbertechonology you can clean the exhaust gases before they are released into the atmosphere or you can reduce the amount of exhaust gases produced by using a hybridlayout of engines that consists both of gasturbines and reciprocating engines. The fuel chosen influences on emissions and there are different kinds of fuels available and fuels that gets invested into at the moment. In addition to exhaust gases and fuels also ships management of waste, wastewater onboard influences on the ships impact on the environment since it can contribute to the eutrophication of water. By legislation attempts are being made to control ships management of their waste and wastewater. Other factors having an impact on the environment is the sound generated by ships propellers and engines and the substances that come into the water from ships coating. In the future fuel-cells can become more popular among ships to use, new searoutes in the north can become available as the ice melts. How the economy develops has an impact on the amount of ship traffic and as a consequence on the emissions. The amount of recycling in the future society might also influence the shipping of certain materials at sea. The purpose of this litteraturework was to review ships influence on the environment and on the future of ships when it comes to technology and traffic evolution. The sourcematerial used was in english, swedish and finnish. The majority of the sources were found in Libguides.</p>	
Keywords:	ships, environment, shipfuel, shipemissions, technology, future
Number of pages:	47
Language:	Swedish
Date of acceptance:	

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Energi- och miljöteknik
Tunnistenumero:	7399
Tekijä:	John Meyer
Työn nimi:	Laivojen ympäristövaikutus
Työn ohjaaja (Arcada):	Mariann Holmberg
Toimeksiantaja:	
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Meriliikenteen osuus maailman tämän päivän CO<sub>2</sub> päästöistä on kahdesta kolmeen prosenttiin, laivojen pakokaasuista 70 prosenttia syntyy 400 kilometrin säteellä maasta. Öljytankkerien, irtolastialusten ja konttialusten osuus CO<sub>2</sub> päästöistä oli 55 prosenttia 2013 ja 2015 välillä. Laivojen NO<sub>x</sub> ja SO<sub>x</sub> päästöt johtaa ympäristön happamoitumiseen. Skrubberteknologiaa käyttäen pakokaasut voidaan puhdistaa ennen kuin ne päästetään ympäristöön tai sitten voidaan käyttää laivojen konehuoneessa hybridilayouttia mikä koostu sekä kaasuturbiineista että mäntämoottoreista. Myös polttoaineen valinta vaikuttaa päästöihin ja polttoaineiden tarjonta koostu erilaisista polttoaineista ja investointeja erilaisiin polttoaineisiin tehdään tänäkin päivänä. Pakokaasujen ja polttoaineen lisäksi myös miten laivat käsittelee roskaa ja jätevettä vaikuttavat siihen kuinka paljon ne kuormittavat ympäristöä kun ne pahimmassa tapauksessa avustavat vesialueiden rehevöitymistä. Lainsäädännön avulla yritetään ohjata laivojen käsittely roskasta ja jätevedestä. Toiset tekijät mitkä vaikuttavat ympäristöön ovat äänen generointi mikä syntyy laivan potkureista ja moottoreista kuin myös ne aineet mitkä tulevat veteen laivan pintakäsittelyn seurauksena. Tulevaisuudessa polttokennot laivoissa voivat olla suosittuja, uusia merireittejä voi syntyä pohjoisen napapiirijään sulaessa. Kuinka talous kehittyy tulevaisuudessa ohjaa meriliikenteen määrä ja sillä myös päästöjen määrää laivoista. Myös kuinka kierrätys sujuu tulevaisuuden yhteiskunnassa voi vaikuttaa erilasten tuotteiden kuljetuksiin merellä. Tämän oppinäytetyön tarkoituksena oli tarkistaa laivojen vaikutusta ympäristöön ja niitten tulevaisuus koskien teknologiaa mutta myös laivaliikenteen kehitystä. Lähdemateriaalia mitä on tullut käytettyä on ollut englanniksi, ruotsiksi ja suomeksi. Suurin osa lähteistä löytyi Libguide sivuilta.</p>	
Avainsanat:	laivat, ympäristö, laivapolttoainetta, laivapakokaasuja, teknologiaa, tulevaisuus
Sivumäärä:	47
Kieli:	Ruotsi
Hyväksymispäivämäärä:	

# INNEHÅLL

<b>1</b>	<b>INLEDNING .....</b>	<b>7</b>
1.1	Frågeställningar.....	7
	<b>ORDLISTA .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Fartygstrafiken.....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Fartygsteknik .....</b>	<b>13</b>
3.1	Bränsle.....	15
3.2	Avgaser.....	19
3.3	Maskinsystem.....	24
<b>4</b>	<b>Avfall .....</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>Vatten .....</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>Ljud från fartyg .....</b>	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>Ytbehandling av fartyg .....</b>	<b>32</b>
<b>8</b>	<b>Lagstiftning .....</b>	<b>34</b>
<b>9</b>	<b>Framtid.....</b>	<b>35</b>
<b>10</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>39</b>
<b>11</b>	<b>Slutsats.....</b>	<b>43</b>
<b>12</b>	<b>Källor.....</b>	<b>43</b>

## Figurer

Figur 1. ECA områden (More Environmentally Friendly Cruise Liners? 2019 s.12 ..... 13	13
Figur 2. Prognos för transporten av olika varor (Van et al. 2019 s.128) ..... 14	14
Figur 3. Produktion och konsumtion av bränsle (Amnar 2019 s.67)..... 14	14
Figur 4. Viking Grace med rotorseglet vid installation (Viking Line) ..... 36	36

## Tabeller

Tabell 1. Tysk data angående kryssningspassagerare (More Environmentally Friendly Cruise Liners? 2019 s.12)..... 12	12
Tabell 2. Jämförelse mellan LNG och andra bränslen (Amnar 2019 s.67)..... 16	16
Tabell 3. MDO och Metanolutsläpp jämförelse i g/kWh..... 17	17
Tabell 4. MDO och Metanolutsläpp av NO <sub>x</sub> i g/kWh ..... 18	18
Tabell 5. MDO och Metanolutsläpp av CO <sub>2</sub> i g/kWh.....18	18

# 1 INLEDNING

Syftet med detta arbete är att bekanta sig med fartygen över hur miljövänliga de är i dagsläget och vilka förändringar kan ske i framtiden för att få fartygen mera miljövänliga. Detta examensarbete utförs som ett litteraturarbete där det material jag har använt mig av är på engelska samt svenska och finska.

Vad som motiverade mig att skriva om detta ämnesområde var ett intresse för marinteknologi samt en oro över de växande utsläppen från världens transportsektor och såg därför ett tillfälle att kombinera dessa två till ett examensarbete.

I detta arbete har jag valt att avgränsa genom att inte ta fritidsbåtar och skärgårdsfärjor med i arbetet och jag har inte heller begränsat mig till fartyg i ett visst viktområde. Arbetet är istället koncentrerat på fraktfartyg samt passagerarfartyg.

## 1.1 FRÅGESTÄLLNINGAR

Arbetet kommer behandla följande frågor:

1. Hur har fartygstrafiken utvecklats genom åren och hur är den idag?
2. Hur ser konsumtionen av bränsle ut idag, hur mycket avgaser kommer från fartygen?
3. Hur försöker man styra bränsleutvecklingen?
4. Vilka alternativa bränslen finns det som man skulle kunna tänkas använda i fartyg?
5. Hur jämför sig dessa alternativa bränslen med de andra?
6. Hur varierar mängden utsläpp mellan de olika fartygsklasserna?
7. Vilka ämnen innehåller fartygens avgaser och hur nära kusten sker utsläppen?
8. På vilket sätt kan de ämnen som kommer med avgaserna påverka miljön?
9. Vilka teknologier kan man använda för att rena avgaserna?
10. Vilka maskiner produceras avgaserna?
11. Vad inverkar på hur mycket avgaser som maskinerna producerar?
12. Vilka lösningar finns det för att sänka maskinernas klimatpåverkan?
13. Hur mycket matrester producerar en människa per dag ombord på ett fartyg?
14. Hur hanterar olika kryssningsbolag sitt avfall?

16. Vad kan man göra bättre för att hantera matavfall?
17. Hur kan man producera vatten ombord på ett fartyg?
18. Hur hanterar man avloppsvatten ombord på ett fartyg?
19. Vilken inverkan har avloppsvatten som släpps direkt ut i vattendragen på miljön?
20. På vilket sätt påverkar ljudet havets organismer?
21. Vad kan man göra för att minska mängden ljud från fartyg?
22. Vilket samband har propellrarna med ljudet?
23. Vilka ämnen kan komma ut i vattnet med färgen?
24. Hur mycket inverkar materialet som färgen appliceras på, på mängden ämnen som lossnar från färgen?
25. Vad har man gjort för beslut i EU och Finland vad gäller fartygen?
26. Vad finns det för framtida teknologier som man kan tillämpa hos fartygen?
27. Vad påverkar hur fartygstrafiken ser ut i framtiden?



## ORDLISTA

AWT= Advanced Wastewater Treatment

BC= Sotpartiklar (Black Carbon)

BNP= Bruttonationalprodukt

CO= Kolmonoxid

CO<sub>2</sub>= Koldioxid

CH<sub>4</sub>= Metan

DME= Dimethyl Ether

Dwt= Dödvikt

ECA= Emission Controlled Area

EEDI= Energy Efficiency Index

EES= Europeiska Ekonomiska Samarbetsområde

EGB= Exhaust Gas Boiler

EU= Europeiska Unionen

GT= Bruttodräktighet

HELCOM= Skyddskommissionen för Östersjön

HC= Kolväte

HFO= Heavy Fuel Oil

HNO<sub>2</sub>= Salpetersyrlighet

HNO<sub>3</sub>= Salpetersyra

H<sub>2</sub>S= Svavelväte

IMO= International Maritime Organization

ISO= International organization for standardization

L/G= Liquid to Gas

LNG= Flytande naturgas

LOHC= Liquid Organic Hydrogen Carrier

LPG= Liquefied Petroleum Gas

MARPOL= International Convention for the Prevention of Pollution from Ships

MDO= Marine Diesel Oil

MGO= Marine Gas Oil

MRV= Monitoring, Reporting and Verification

MSD= Marine Sanitation Device

MT= Miljoner Ton  
MW= Megawatt  
NABU= Nature and Biodiversity Conservation Union  
NECA= Nitrogen Oxide Emission Control Areas  
NO= Kväveoxid  
NO<sub>2</sub>= Kvävedioxid  
NO<sub>x</sub>= Kväveoxid  
N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>= Dikvävepentoxid  
OH= Hydroxyl radikal  
PEMFC= Proton Exchange Membrane Fuel Cell  
PM= Luftburna partiklar  
SECA= Sulphur Emission Control Areas  
SO<sub>2</sub>= Svaveldioxid  
SOFC= Solid Oxide Fuel Cell  
SOLAS= Safety of life at sea convention  
SO<sub>x</sub>= Svaveloxid  
TEU= Tjugofotsekvivalenter

## 2 FARTYGSTRAFIKEN

Under människans historia har man använt sig av fartyg för att transportera gods och människor mellan länder och kontinenter. Innan flygplanen var transport av passagerare och gods via fartyg det enda sättet att korsa Atlanten. Ända till året 1960 transporterade man ännu en stor mängd passagerare via fartyg, år 1958 var det år då man transporterade fler passagerare via flygplan än via fartyg över Atlanten (Endresen et al. 2008 s.8). Under denna tid var passagerarfartygen fortfarande de största fartygen i världen (Endresen et al. 2008 s.8). Frakttransporten via fartyg har idag blivit ett så populärt transportmedel att av den hela globala handeln utförs 90 procent via fartyg (Clume et al. 2019 s.1). Samtidigt förutspår man att år 2050 kommer efterfrågan för transport via fartyg att ha ökat med 60 procent (Van et al. 2019 s.6). Endast mellan åren 2002 och 2006 steg handeln till sjöss med 23 procent, av frakten till sjöss går en stor del via kinesiska hamnar då ifall man granskar data framgår det att år 2005 gick 26,6 procent av världens containers via kinesiska hamnar (Endresen et al. 2008 s.11). Transporten av passagerare är i dagens läge på en sådan nivå att det år 2015 färdades 23 miljoner passagerare ombord på fartyg (Wilewska-Bien et al. 2018 s.218).

Mellan åren 1870 och 1910 skedde en förändring bland fartygen då man övergick från fartyg drivna av segel till fartyg med ångmaskin. År 1870 utgjorde ångdrivna fartyg 15 procent av den totala vikten av alla fartyg i världen medan år 1910 hade siffran stigit till 75 procent. Förutom att man övergick till ångmaskins drivna fartyg växte även mängden fartyg, då man har kommit fram till att år 1870 var den totala vikten av alla fartyg i världen 16,7 miljoner GT (Bruttodräktighet) medan den år 1910 hade vuxit till 34,6 miljoner GT. Frakten via fartyg har även den vuxit under de senaste hundra åren, år 1920 transporterade man 300 MT (Miljoner ton) frakt via fartyg medan frakten hade stigit till 5400 MT år 2000. (Endresen et al. 2008)

Fartygstrafiken visar tecken på att den är säsongberoende ifall man använder mängden utsläpp som härstammar från fartyg som ett mått på dess aktivitet. Då man granskar utsläppen visar det sig att aktiviteten är som högst under våren och sommaren, lägst under vintersäsongen (Goldsworthy et al. 2019 s.1). Om man sedan börjar granska hur aktiviteten varierar under ett dygn kan man dra slutsatser om att aktiviteten hos passagerartra-

fiken är högre nattetid och lägre under dagen då fartygen är förtöjda i hamnen under dagen (Goldsworthy et al. 2019 s.1). Som exempel på utsläpp från passagerartrafiken kan man ha världens största kryssningsbolag Carnival Corporation som producerade längs med den europeiska kusten tio gånger större utsläpp av svaveloxid än alla bilar på kontinenten (More Environmentally Friendly Cruise Liners? 2019 s.13). Mängden bilar i Europa är omkring 260 miljoner (More Environmentally Friendly Cruise Liners? 2019 s.13). I staden Hamburg i Tyskland har man även gjort beräkningar gällande kryssningsfartygens utsläpp och har kommit fram till att kryssningsfartygens utsläpp av svaveloxid i Hamburg var 1,5 gånger större än alla stadens 770 000 bilar tillsammans (More Environmentally Friendly Cruise Liners? 2019 s.12). I tabell 1 kan man se hur passagerartrafiken till sjöss har utvecklats de senaste åren.

Tabell 1. Tysk data angående kryssningspassagerare (More Environmentally Friendly Cruise Liners? 2019 s.12)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Difference 2016 to 2017 in %	Difference 2017 to 2018 in %
Passengers (in millions)	1.69	1.77	1.81	2.02	2.19	2.23	8.4	1.83
Number of overnights (in millions)	14.71	15.63	15.75	18.04	19.64	No data	8.8	n/a
Average cruise duration (in overnights)	8.72	8.83	8.69	8.94	8.85	9.1	-1	2.82
Average age (in years)	50.2	50.4	50.1	49.1	49.6	49	1	-1.21

Sedan året 1973 har MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) reglerat fartygens miljöpåverkan och man har beräknat att ifall man skall uppnå målet med att begränsa klimatets uppvärmning under 2 °C rekommenderar Anderson och Bows att marinsektorn sänker sina utsläpp med 80 procent från 2010 nivåerna (Armellini et al. 2019 s.1). För att få bättre kontroll över utsläppsnivåerna till sjöss har IMO (International Maritime Organization), förutom att man har kommit fram med strängare regler över den klimatpåverkan som större fartyg har, kommer man även öka ECA (Emission Controlled Areas) områden (Armellini et al. 2019 s.1). I figur 1 kan man se vart ECA områden finns i världen och vart det i framtiden kan dyka upp nya ECA områden. ECA områden är områden där man sätter begränsningar på de ämnen som kommer med fartygens avgaser (Armellini et al. 2019 s.1). Sådana ämnen är NO (kväveoxid), SO<sub>x</sub> (svaveloxid) och PM (Luftburna partiklar) (Armellini et al. 2019 s.1). IMO har kommit fram till dessa förändringar samtidigt som den internationella sjöfarten har blivit utelämnad från Parisavtalet (Olmer et al. 2017 s.3).

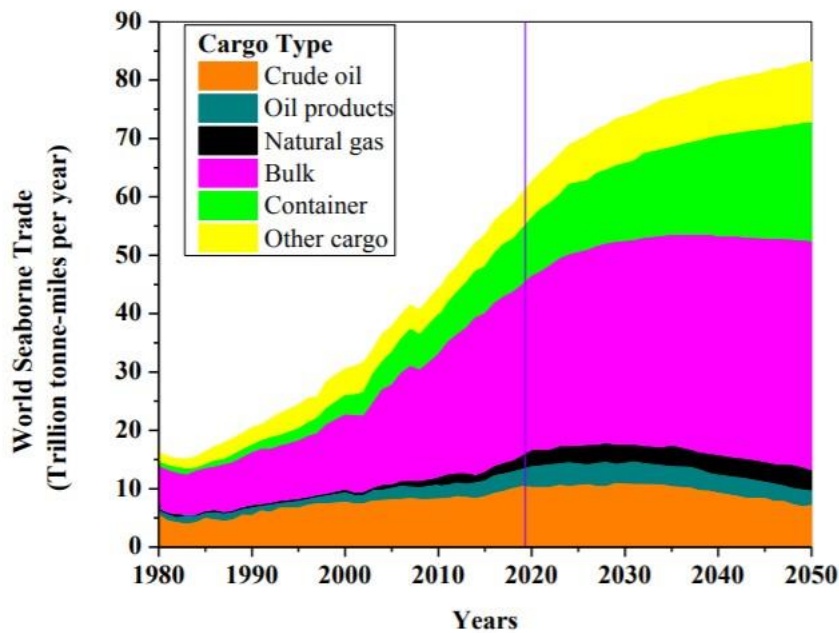


Figur 1 ECA områden (*More Environmentally Friendly Cruise Liners? 2019 s.12*)

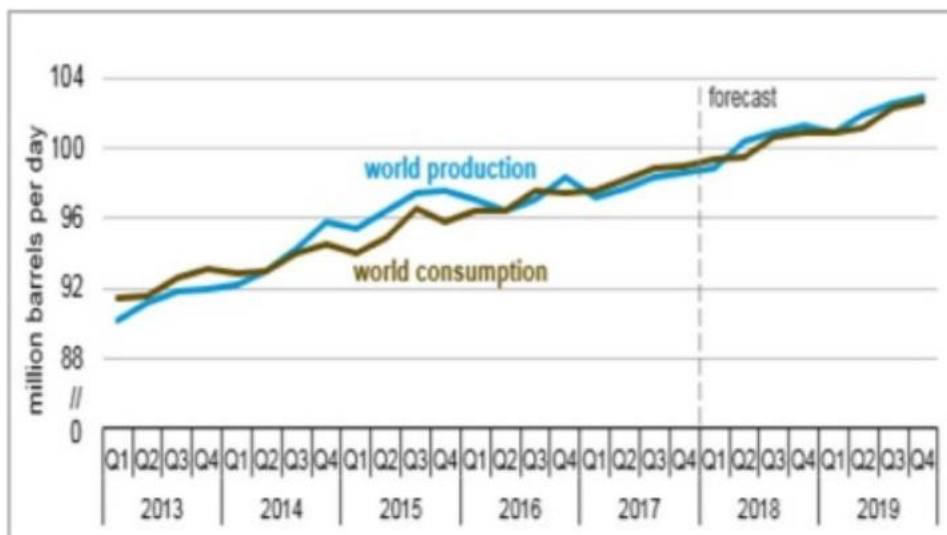
### 3 FARTYGSTEKNIK

Fartygens utsläpp har en direkt inverkan på människans hälsa då det kan leda till en för tidig död (Goldsworthy et al. 2019 s.1). Av de globala utsläppen av CO<sub>2</sub> (koldioxid) står sjöfarten för två till tre procent (Baldi et al. 2020 s.1). Förutom att det har en inverkan på människans hälsa har avgaserna en inverkan på klimatet och på naturen. Ett exempel på en inverkan på naturen är de sura regn som avgaserna kan leda till (Goldsworthy et al. 2019 s.1). Fartygen som är i trafik idag använder sig primärt av tre olika sorters bränslen. Dessa tre bränslen är tjockolja, MGO (Marine Gas Oil) samt MDO (Marine Diesel Oil). Ett bränsle som inte nämndes bland dessa tre men som har blivit populärare med åren är bränslet LNG (Liquefied Natural Gas), med fartyget Aida Nova som ett exempel på ett fartyg som använder sig av LNG (*More Environmentally Friendly Cruise Liners? 2019 s.11*). Den totala förbrukningen av bränsle för alla världens fartyg är i dagens läge i medeltal kring 300 miljoner ton per år (Amnar 2019 s.66). I figur 3 kan man se närmare hur produktionen och konsumtionen av bränsle har varit den senaste tiden och hur man tror den kommer att vara i framtiden. Mellan åren 2013 och 2015 steg konsumtionen av bränsle i fartygssektorn med 2,4 procent. Då man granskar mängden frakt transporterad till sjöss under samma tidsperiod (2013-2015) kan man notera en sju pro-

cents ökning (Olmer et al. 2017 s.3). I figur 2 kan man se hur man tror att transporten till sjöss kommer utvecklas i framtiden. Den totala mängden CO<sub>2</sub> som släpptes ut från fartygen år 2015 var 932 miljoner ton vilket var en ökning med 2,4 procent jämfört med året 2013 (Olmer et al. 2017 s.4).



Figur 2 Prognos för transporten av olika varor (Van et al. 2019 s.128)



Figur 3 Produktion och konsumtion av bränsle (Ammar 2019 s.67)

### 3.1 Bränsle

Fartygen världen över behöver bränsle för att kunna förflytta sig. Konsumtionen av detta bränsle påverkas av ett antal olika faktorer. Förbättringar till fartygens konstruktion leder till förändringar i konsumtionen av bränsle, men även i hur stort behovet av transport till sjöss är kan antingen höja eller sänka konsumtionen (Endresen et al. 2008 s.8). Behovet av sjötransporten är starkt beroende av världens ekonomi då transporten till sjöss ökar vid bättre ekonomiska tider och sjunker vid sämre tider. Depressionen på 1930 talet ledde till att flera fartyg blev sittande i hamnarna. Av världens totala fartyg blev 21 procent sittandes i hamnen år 1932 (Endresen et al. 2008 s.9).

Ifall man skall lyckas få fartygens utsläpp lägre från dagens nivåer är bränsle ett ställe som får uppmärksamhet. IMO har kommit ut med regler som kräver att raffinaderier skall göra förändringar till sin produktion av bränslen genom att öka sin produktion av bränslen med lägre halter av svavel (Van et al. 2019 s.1). Enligt beräkningar kommer man behöva få omkring 2 miljoner fat (1 fat= 159 liter) med olja omvandlat till destillad per dag ifall man skall lyckas nå de begränsningar man har satt för år 2020 (Van et al. 2019 s.126). IMO har förutom dessa krav även satt ut begränsningar till den tillåtna mängd svavel i bränsle i NECA (Nitrogen Oxide Emission Control Areas) områden samt i SECA (Sulphur Emission Control Areas) områden, vars gränser kommer vara 0,1 procent till år 2015 och till 0,5 procent år 2020 globalt (Van et al. 2019 s.123). IMO är inte den enda instans som har kommit ut med dessa begränsningar utan länder har även kommit ut med regler som gäller den tillåtna mängden utsläpp från fartyg samt hur hög svavelhalt som det får finnas i bränslen (Van et al. 2019 s.125). I Östersjön och i Nordsjön har man under en längre tid haft begränsningar på den tillåtna mängden svavel som det får finnas i fartygens bränsle. Den mängd svavel som får finnas i bränslet får inte stiga över 0,1 procent (More Environmentally Friendly Cruise Liner? 2019 s.14). Det alternativa bränslet LNG är ett bränsle som kan tänkas börja användas ifall man skall lyckas klara IMO:s regler men biobränslen kan även vara ett alternativ (Van et al. 2019 s.1). I tabell 2 kan man se närmare hur LNG jämför sig med andra bränslen. Som resultat av en ökad användning av LNG i fartyg är att utsläppen av CH<sub>4</sub> (Metan) ökar, detta kan man se då man granskar mängden utsläpp av metan från fartygstrafiken då den har ökat i mängd den senaste tiden (Olmer et al. s.16).

Tabell 2. Jämförelse mellan LNG och andra bränslen (Amnar 2019 s.67)

Property	Methanol	Ethanol	Hydrogen	LNG	Diesel
Density (kg/m <sup>3</sup> )	798	794	0.0838	450	833–881
Carbon contents (wt %)	37.49	74.84	0	75	86.88
Sulfur content (wt %)	0	0	0	0	varies
Net heating value (MJ/kg)	20.1	27	119.9	46–50.2	42.5
Air-fuel ratio (stoichiometric)	6.5	9.1	34.3	17.2	14.5
Flash temp. (°C)	11	17.2	–253	–136	55
Flame temp. (°C at 1.0 bar)	1890	1920	2045	1960	2054

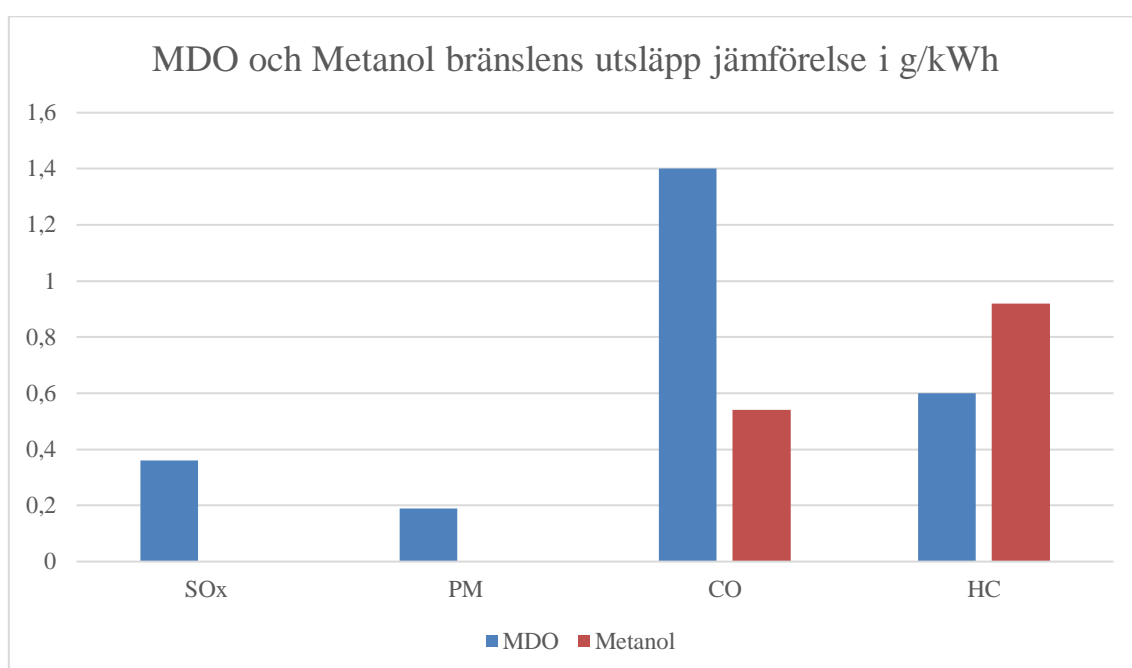
I Brasilien där man har forskat i biobränslen använder man sig av två sorters biobränslen: etanol och biodiesel. Man utförde experiment i en utombordad dieselmotor där man jämförde prestandan hos dieselolja med olika varianter av biodiesel. Dessa varianter var B0, B10, B20 samt B50 och B100. B100 innehåller 8-11 procent lägre energi än dieselolja, B5 har samma energiinnehåll som dieselolja och B20 innehåller 2-3 procent mindre energi än dieselolja som man jämför med. Enligt resultaten från experimentet skulle en användning av biodiesel leda till 11,4 procent ökning av den specifika konsumtionen (g/kWh) av bränslet. Orsaken till varför användning av biodiesel leder till en högre konsumtion än ifall man använde sig av dieselolja är att biodiesel har ett lägre värmevärde än dieselolja. Resultaten visade även att motorn kunde behålla vid användning av biodiesel den belastning den utsattes för. Även om den specifika konsumtionen (g/kWh) ökar vid användning av biodiesel skulle användningen av biodiesel leda till lägre utsläpp av vissa utsläpp som CO (kolmonoxid), luftburna partiklar, HC (Kolväte) samt SO<sub>2</sub> (Svaveldioxid). Användning av biodiesel leder även till bättre smörjningsförmåga hos bränslet vilket innebär lägre friktion i motorn. (Clume et al. 2019)

Ett annat ämne som man har blivit intresserad av att använda som bränsle i fartyg är metanol. För att se hur utsläppen hos ett fartyg som använder metanol jämför sig med ett fartyg som använder MDO se tabellerna tre, fyra och fem där jag jämför utsläppen för fartyg som använder dessa bränslen och båda färdas med kryssningshastighet. Metanol är fritt från svavel men visar tecken på att vara korroderande. Andra problem som man kan finna med metanol är dess låga flampunkt som inte fyller de krav som SOLAS (Safety of life at sea convention) kräver. För att lösa problemet har MAN Diesel & Turbo kommit på en lösning genom att använda sig av en dubbelvägg av metanol komponenter.

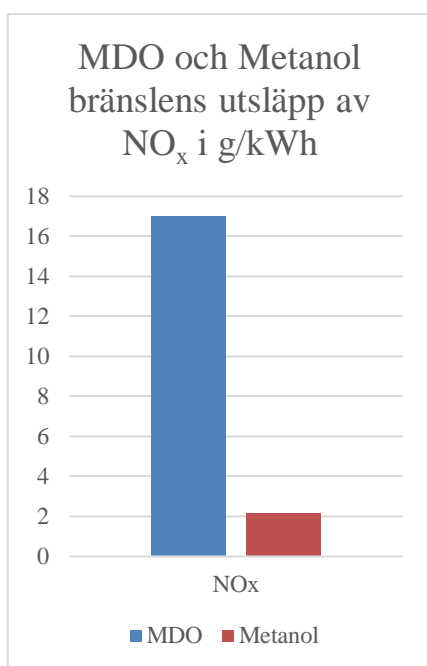


ter. Bolaget MAN menar även att för tvåtakts och fyratakts motorer skulle skapandet av ämnet formaldehyd eller de frätande egenskaperna inte orsaka problem med användningen av metanol som bränsle. MAN har redan konstruerat motorer för fartyg vars uppgift är att transportera metanol. Dessa motorer skulle vara två takts metanol-diesel motorer. Enligt kostnadsberäkningar skulle valet att använda sig av denna layout av två stycken bränslen i detta fall metanol-diesel innebära en 28,16 procents ökning av kostnaderna jämfört med en dieselmotor. Orsaken till denna ökning av kostnaderna är ett resultat av en ökning av metanol konsumtionen. (Amnar 2019)

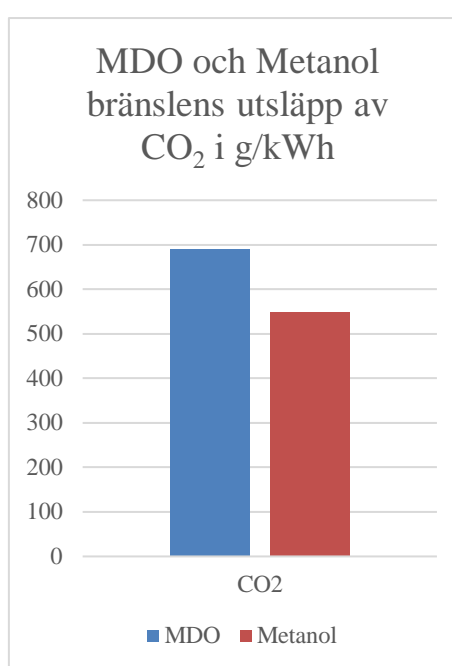
Tabell 3. John Meyer



Tabell 4. John Meyer



Tabell 5. John Meyer



Orsaken till varför man visar intresse för metanol och specifikt förnybar metanol är att den kan användas i olika sorters drivsystem som fartyg använder sig av. Förbränningsmotorer, bränsleceller och turbiner skulle alla kunna drivas av förnybar metanol som är miljövänligt och lätt att använda sig av (More Environmentally Friendly Cruise Liners? 2019 s.13). Detta kolneutrala metan kan man producera via en teknologi som man kallar power-to-gas process och denna teknologi har visat möjligheter för att kunna expanderas till storskalig produktion (More Environmentally Friendly Cruise Liners? 2019 s.14). Power-to-gas process är en process som baserar sig på elektrolys genom att via användningen av elektricitet separera ett ämne som i detta fall är vatten ned till sina beståndsdelar, väte och syre, för att kunna användas för produktion av förnybart metan (University of Oxford 2018 s.3). Ett exempel på metanol som redan används av fartyg för drift är i den tyska staden Essen där man kan finna fartyget MS Innogy som har bränsleceller drivna med metanol (More Environmentally Friendly Cruise Liners? 2019 s.14). Metanol skulle utgöra ett sätt för att fylla de krav som IMO har satt för 2020 (Amnar 2019 s.1). IMO har även frågat ISO (International organization for standardization) ifall de skulle kunna utveckla för metanolet en standard (Amnar 2019 s.67). Men som det nu ser ut är det inte ekonomiskt motiverat att omvandla en dieselmotor att gå med metanol som ett resultat av bränslepriser (Amnar 2019, s.67).

## 3.2 Avgaser

Som ett resultat av att motorn förbränner bränsle får man restprodukter som kommer ut från motorn i form av avgaser. Den totala mängd avgaser som härstammar från den internationella frakten till sjöss har nått den nivån att ifall man granskade fartygens utsläpp som ett land skulle dess totala mängd energi-relaterade utsläpp av CO<sub>2</sub> vara aningen över den nivå som Tyskland har. (Olmer et al. 2017)

Det som får utsläppen från fartyg att öka är att mängden fartyg världen över ökar i mängd. Mellan åren 2013 och 2015 ökade mängden fartyg med 1,5 procent men detta gäller inte alla fartygsklasser då mängden containerfartyg, oljetankers och bulkfartyg sjönk i mängd. De fartyg som ökade i mängd var bland annat fartyg som kemikalie-transportfartyg, fartyg som fraktar LNG samt kryssningsfartyg. Fartygens motorer blir även starkare vilket påverkar mängden utsläpp. Under tidsperioden 2013 till 2015 höll sig huvudmotorernas effekt hos oljefartyg och bulkfartyg sig oförändrade medan huvudmaskinerna hos kryssningsfartyg blev sju procent starkare, containerfartygens sex procent starkare, kemikalietransportfartygens tio procent samt transportfartygens sex procent starkare. (Olmer et al. 2017)

Av den totala mängd utsläpp av CO<sub>2</sub> hos fartygen var det tre fartygsklasser som stod för 55 procent av utsläppen mellan åren 2013 och 2015, nämligen oljetanker stod för 13 procent, bulkfartyg 19 procent och containerfartyg 23 procent. CO<sub>2</sub> är inte det enda ämnet som kommer med avgaserna som orsakar skador åt både klimatet och miljön då den bidrar till klimatuppvärmningen, ämnet BC (Black Carbon (sotpartiklar)) är även ett skadligt ämne för klimatet och miljön. Från fartygens avgaser har BC den näst största inverkan på klimatet efter CO<sub>2</sub>. Då man har granskat fartygens utsläpp har man hittills inte fäst så mycket uppmärksamhet åt BC även ifall en omedelbar sänkning av BC utsläppen skulle ha en direkt inverkan då BC är en förorenare som är kortlivad. Under tidsperioden 2013 - 2015 noterade man inte en ökning i mängden utsläpp av BC. (Olmer et al. 2017)

Mellan åren 2013 och 2015 kunde man notera att fartygen blev mer effektivare, det vill säga energi gick inte lika mycket som tidigare till spillo. Istället använde man energin

för att driva fartyget. Men trots denna utveckling steg vissa fartygs utsläpp av CO<sub>2</sub>. Fraktfartygens utsläpp blev nio procent större mellan åren 2013 och 2015 trots en effektivisering på fem procent. Andra fartyg som bulkfartyg blev sex procent effektivare men deras totala mängd utsläpp av CO<sub>2</sub> sjönk med en procent. För containerfartyg gäller också en sänkning av CO<sub>2</sub> utsläppen med en procent trots en effektivisering på nio procent. Orsaken till dessa siffror är en ökning i transporttillförseln, nio procent för oljetanker och för containerfartyg sex procent. IMO har kommit ut med regler då det kommer till fartygens effektivitet. En regel har hittills kommit ut och den kallas EEDI (Energy Efficiency Design Index) som trädde i kraft år 2013. Den säger att fartygens effektivitet över tiden måste förbättras, en förbättring på tio procent av fartygens effektivitet än den man hade 1999-2009 måste ske åt fartyg byggda 2015-2019. Därefter måste fartyg byggda åren 2020-2024 vara 20 procent effektivare och slutligen en 30 procent förbättring av effektiviteten skall ske för fartyg byggda åren 2025 och senare. (Olmer et al. 2017)

Förutom att effektiviteten hos fartygen förändrades mellan åren 2013-2015 skedde också en förändring vad gäller hastigheten hos vissa fartygsklasser. De största containerfartygen större än 14500 TEU (Tjugofotsekvivalenter) och oljetankers större än 200 000 dwt (dödvikt) ökade sin respektive hastighet över mark med elva procent och fyra procent. Resultaten av denna ökning i hastighet är att utsläppen blir större då fartygens bränslekonsumtion ökar. Man kunde även notera en ökning på 1,4 procent i hastighet hos oljetankers med en dödvikt på 80 000 - 119 999 dwt samt en hastighetsökning på 2,3 procent för oljetankers med en dödvikt på 120 000 - 199 999 dwt. (Olmer et al. 2017).

Fartygens utsläpp beror även på i vilken sorts användning de är. Manövrering av fartyget står för den lägsta mängden utsläpp av CO<sub>2</sub> medan då fartyget kryssar omkring är mängden utsläpp som störst. Till skillnad från andra fartyg är tankfartygens utsläpp betydligt större vid kajen i hamnen eftersom kravet på hjälpmotorerna är större då de behövs vid lossning av frakten hos tankern. Tankfartygen har också högre utsläpp i förankringsfasen men så har också bulkfartyg och lastfartyg än andra fartygsklasser. Dessa fraktfartyg väntar en lång tid förankrade utanför hamnen innan förtöjning i hamnen. (Olmer et al. 2017)

Enligt data skulle 70 procent av världens avgaser som härstammar från fartyg produceras inom 400 kilometer från land (Goldsworthy et al. 2019 s.2). En stor del av alla de livligaste sjörutterna följer eller är nära kusten som till exempel Singapore, Engelska kanalen och Suez kanal. I tätbebyggda områden kan utsläppen av fartyg skapa ytterligare problem då utsläppen från fartyg ökar koncentrationen av bland annat PM som kan igen bilda sekundära partiklar (Van et al. 2019 s.125). PM är endast en av många andra luftburna föroreningar som kan skapa sekundära partiklar (Van et al. 2019 s.125). Den 19 Maj år 2005 publicerade man regler vars syfte var att börja sänka de ämnen som kommer med avgaserna, främst NO<sub>x</sub> (kväveoxid), PM och SO<sub>x</sub> (Van et al. 2019 s.124). Förutom dessa kommer det andra ämnen med avgaserna som HC (kolväte) (Chen et al. 2019 s.2).

SO<sub>x</sub> påverkar negativt bland annat miljön då den bidrar till försurning av både vatten, jord och påverkar negativt människans hälsa. I Norge har man satt begränsningar för fartyg som rör sig i dess fjordar för att minska den negativa inverkan av fartyg. Dessa begränsningar skall då de träder i kraft år 2026 sätta stop för fartyg från att komma till fjordarna med deras förbränningsmotorer i drift. Förutom att befolkningen på land påverkas av avgaserna från fartyg påverkas även de som befinner sig ombord på fartyget av föroreningar i höga koncentrationer. Detta blev tydligt i samband med att personer som jobbade på den tyska tv stationen ZDF tog prover av luften och uppmätte halten av föroreningar till 475 000 PM/cm<sup>3</sup>. Som jämförelse använde man NABU:s (Nature and Biodiversity Conservation Union) data som sade att då luften till havs är ren är motsvarande siffra 1000 PM/cm<sup>3</sup>. (More Environmentally Friendly Cruise Liners? 2019)

Som tidigare har nämnts bidrar svaveloxider till försurning, speciellt SO<sub>2</sub>. Vid förbränningen av bränslet i fartygets motor som sker vid höga temperaturer sker en oxidering av det svavel som finns i bränslet och vi får som produkt av denna reaktion svaveloxider. Då detta svaveloxid sedan kommer ut i atmosfären och reagerar med vattenånga och bildar svavelsyra får man vad man kallar våtdeposition. Ifall svaveloxider inte kommer i kontakt med vattenånga faller den ned som torrdeposition. Förutom svavel, oxideras det även kväve i fartygets motor och leder till NO<sub>x</sub> vilket även den leder till försurning av naturen i och med att den kommer i kontakt med vattenånga eller faller

ned som torrdeposition (Happonen et al. 2004 s.109-110). Då man granskar satellitbilder på livliga sjörutten kan man se höga halter av  $\text{NO}_x$  utsläpp (Endresen et al. 2008 s.18). Dessa utsläpp av kväveoxider från fartygssektorn leder sedan till en ökning av koncentrationen av hydroxyl radikalen (OH) i atmosfären (Endresen et al. 2008 s.19). Hydroxyl radikalen leder till lägre halter av metan i atmosfären efter att en kemisk reaktion har skett (Endresen et al. 2008 s.19). Östersjön i sig tål dessa försurande ämnen som fartygstrafiken bidrar till då saltet i havet buffrar det sura nedfallet som bland annat härstammar från fartygstrafiken (Happonen et al. 2004 s.113). Fartygstrafikens svavel och kväveutsläpp på Östersjön bidrog en del till de sura nedfall man finner i Finland. Svavel från fartygstrafiken utgjorde sex procent av den totala mängd svavelutsläpp och kväve utgjorde tio procent av den totala mängd kväveutsläpp som bidrog till sura nedfall år 2000 i Finland (Happonen et al. 2004 et al. s.110).

Enligt en undersökning som Hongisto utförde år 2011 skulle kväveoxiderna från fartyg utgöra 14 procent av den totala mängden utsläpp av kväveoxider på Östersjön medan svavelutsläppen från fartygen utgjorde 20 procent av den totala mängden svavelutsläpp på Östersjön. Årstiderna kan även bidra till variationerna i mängden sura nedfall, speciellt då det gäller mängden kvävenedfall. Enligt undersökningar som man har gjort i Kina visade det sig att av den mängd kväve som härstammar från fartygen faller majoriteten ned till marken i form av torrdeposition. Detta var speciellt tydligt i områden nära kusterna. Men man fann däremot att den våta depositionen av kväve var tydligt vid sjörutterna och att den våta depositionen bredde ut sig över en större yta inåt landet än den torra depositionen. Av den torra kvävedepositionen var största delen i form av  $\text{HNO}_3$  (salpetersyra),  $\text{NO}_2$  (kvävedioxid) var den näst största medan resten utgjordes av  $\text{HNO}_2$  (salpetersyrlighet),  $\text{N}_2\text{O}_5$  (dikvävepentoxid) samt  $\text{NO}$  i mindre mängder. (Chen et al. 2019)

Skrubber är en teknologi som man kan använda sig av ombord på fartyg för att rena avgaserna från skadliga ämnen, som  $\text{SO}_x$ . Ifall man väljer att använda sig av skrubber teknologi ombord på fartyg kan det leda till att mängden koldioxid i avgaserna ökar då det i samband med neutraliseringen av det syrliga reningsvattnet frigörs koldioxid. Denna neutralisering av vattnet sker efter att vattnet har använts i skrubbern. Denna skrubber teknologi fungerar som ett alternativ ifall man väljer att inte använda bränslen som in-

nehåller en lägre halt svavel. Den mest vanliga varianten som man kommer använda sig av ombord på fartyg är  $\text{SO}_x$  skrubbern som kan antingen vara av den torra varianten eller den våta varianten. (Van et al. 2019)

Även om skrubber teknologin för med sig sina fördelar med reningen av fartygens avgaser kommer den inte utan vissa nackdelar. Skrubbern kommer förutom att den tar upp utrymme ombord på fartyget även leda till en ökning av fartygets vikt. I designfasen av fartygen eftersträvar man att sänka fartygets volym så mycket som möjligt vilket innebär att en ökning i volymen av fartyget inverkar negativt (Armellini et al. 2019)

Våta skrubbers funktion går ut på att man renar avgasluften från ämnen som  $\text{SO}_x$  genom att spruta havsvatten via munstycken i skrubbern in bland avgasluften. Vattnet som sprutas in i skrubbern möjliggör en kontrollering av ämnet  $\text{SO}_2$ , vilket är en av svaveloxiderna. Orsaken till varför vattnet har en kontrollerande effekt på  $\text{SO}_2$  är att havsvattnet sänker temperaturen på avgaserna. Förutom att en skrubber renar avgaserna från  $\text{SO}_x$  så renar det även  $\text{NO}_x$ . För att en skrubber skall fungera på ett optimalt sätt vid reningen av skadliga partiklar från avgaserna måste skrubbern ha ett rätt L/G (Liquid to Gas) förhållande. Vad detta innebär är att förhållandet mellan havsvattenmängd i liter och mängden avgaser i kubikmeter måste vara korrekt. Vid tillfällen där avgastemperaturen är hög använder man sig av höga L/G förhållanden och ifall man avviker från de rätta L/G förhållanden fungerar reningen av avgaserna inte på ett optimalt sätt. (Selvakumar & Kim 2015)

I vissa fall har man klassificerat fartygens utsläpp i samma grupp som asbestos då IARC och WHO år 2012 klassificerade dieselmotorernas utsläpp som cancerframkallande ämnen (Van et al. 2019 s.126).

Fartygens utsläpp av  $\text{NO}_x$  leder även till att ozon bildas, speciellt det marknära ozonet vars mängd är som högst under juli månad. Vid stora mängder kan marknära ozonet vara skadligt för omgivningen, hos människan kan det orsaka kronisk bronkit och lungemfysem. Hos växter innebär en exponering åt marknära ozon en ökad risk för att smittas av sjukdomar och en lägre tillväxt. Det som bidrar till skapandet av det marknära ozonet är förutom fartygens utsläpp av  $\text{NO}_x$  även CO. (Endresen et al. 2008)

### 3.3 Maskinsystem

I fartygen produceras avgaserna av ett antal olika maskiner. Huvudmotorerna är de maskiner som ansvarar för att fartyget kan röra sig från punkt A till punkt B och i vissa fall finns det sådana motorkonfigurationer som använder huvudmotorerna även för elproduktion. Fartygen har även mindre motorer så kallade hjälpmotorer vars uppgift är bland annat att driva generatorer för elproduktion. Elen används ombord för många saker allt från att förse pumphotorer eller fläkttmotorer och belysning. För att producera värme ombord på fartyget ifall värmekravet är stort aktiverar man hjälppannor som även de bidrar till produktionen av avgaser då de använder olja för att producera värme. Hjälppannorna använder man för att upprätthålla en viss temperatur hos den last man transporterar samt att värma bränslet ombord, hos tankfartyg används de för att driva lastpumpar ombord. Tankfartyg använder även hjälppannornas avgaser för inerta gassystem. Ifall värmebehovet inte är stort använder man spillvärmerna från avgaserna för att producera den värme som behövs ombord på fartyget. Dessa hjälppannor och hjälpmotorer har en viktig betydelse då de är i användning även då fartyget är nära kusten det vill säga då de är förtöjda i hamnen. Användningen av hjälpmotorer är i stor användning i hamnen då man skall lägga till eller kasta loss eftersom elbehovet stiger som ett resultat av att använda bogpropellrar. Bogpropellrar är eldrivna som underlättar manövreringen av fartyget. (Goldsworthy et al. 2019)

De fartyg som står för frakttransport stod år 2007 för 80 procent av all den mängd motorkapacitet som finns i fartygen. Fraktfartygen spenderar en längre tid till sjöss än fartyg som inte är fraktfartyg och fraktfartyg sätter också en större belastning på sina motorer än fartyg som inte hör till fraktfartyg. (Endersen et al. 2008)

Den mängd ämnen som kommer med avgaserna beror på hur man använder maskinerna ombord. Mängden kväveoxidutsläpp från fartygens maskiner beror på hur mycket syre som är tillgängligt vid förbränningen i motorn samt förbränningstemperaturen då den inverkar på Zeldovich mekanismen genom vilket kväve och syre reagerar och bildar kväveoxid. Andra faktorer som inverkar på mängden kväveoxid som bildas i motorn är själva processen vid förbränningen i motorn samt hur stor fördröjning hos tändningen av



bränslet är. Dessa alla faktorer inverkar på i hur stor mängd kväveoxider som kommer med avgaserna ut i atmosfären. (Van et al. 2019)

En lösning för att minska mängden avgaserna från kryssningsfartyg vore att ändra ens layout med motorer i maskinrummet till en mera miljövänligare variant. Användningen av en hybridlayout vore ett sätt. En hybridlayout innebär att kryssningsfartyget använder sig av en kombination av kolvmotorer och gasturbiner. Vid en användning av gasturbiner och kolvmotorer innebär det en kombination av deras fördelar för att driva ett kryssningsfartyg. Gasturbinen producerar en stor mängd spillvärme som sedan finns tillgänglig i avgassystemet. Enligt data som finns tillgänglig skulle temperaturen hos gasturbinens avgaser hos ett kryssningsfartyg efter att de har kommit ut från EGB (Exhaust Gas Boiler) vara 360 °C. Denna spillvärme är energi som man kan ta tillvara via energiåterhämtningssystem ombord på fartyget och det skulle samtidigt förbättra verkningsgraden hos gasturbiner ifall denna energi som finns tillgänglig i avgaserna,  $2.9 \times 10^6$  MJ, skulle kunna användas till nytta istället för att gå till spillo. Samtidigt som man tar tillvara mera energi från gasturbinernas avgaser minskar man skillnaden i verkningsgrad mellan kolvmotorn och gasturbinen då skillnaden mellan dem är kring 10% medan gasturbinen tar upp en liten volym och har en liten vikt. För att få en bild över hur kolvmotor och gasturbin jämför sig vad kommer till verkningsgrad vid full effekt har en 12 cylindrig kolvmotorn med en effekt på 12.6 MW en verkningsgrad på 47% medan en 10,6 MW gasturbin vid full effekt en verkningsgrad på 36,1%. Kolvmotorer däremot har en låg konsumtion av bränsle men man måste behandla deras avgaser innan de släpps ut i atmosfären för att uppfylla IMO kraven. Vid användningen av ett hybridsystem med kolvmotorer och gasturbiner är det två bränslen som man använder sig av, MGO samt HFO (Heavy fuel oil). MGO använder man som bränsle åt gasturbinerna medan HFO förbränns hos oljepannor (oil fired burner) samt kolvmotorn. (Armellini et al. 2019)

Ifall ett kryssningsfartyg väljer att installera ett hybridsystem ombord leder det till en sänkning av svaveloxid utsläpp samt kväveoxid system. Svaveloxid utsläppen skulle sjunka med 85 procent medan kväveoxidutsläppen skulle sjunka med 75 procent i genomsnitt. En sänkning kan även noteras gällande utsläppen av andra ämnen som HC, PM och CO. Vid denna sänkning jämför man till ett kryssningsfartyg som använder sig av endast förbränningsmotorer ombord. För att man skall kunna fylla kraven hos MAR-

POL skulle den bästa hybridlösningen vara för kryssningsfartyget man undersökte att den använder sig av två stycken 12 cylindriga kolvmotorer med en vikt på 169 ton/styck och en effekt på 12,6 MW/styck samt två stycken gasturbiner med en effekt på 8,3 MW var och en med en vikt på 30 ton/styck. Den större kolvmotorn upptar en volym ombord kryssningsfartyget som motsvarar 234 m<sup>3</sup> medan gasturbinen upptar 79m<sup>3</sup>. Vid användningen av denna hybridlösning kan man räkna med en ökning i konsumtionen av bränsle jämfört med en eko-kolvmotor. Eko-kolvmotor innebär en förbränningsmotor som använder sig av apparater som tar bort kväveoxid och svaveloxid utsläpp. Även om man har en ökning i bränslekonsumtionen jämfört med eko-förbränningsmotorn kan man finna en sänkning i volymanvändningen ombord på kryssningsfartyget samt en sänkning i vikten då det kommer till hybridlösningen. (Armellini et al. 2019)

Av kryssningstiden tar den del då fartyget är i hamn upp 50 procent av tiden (Armellini et al. 2019 s.7). Fartyg som använder sig av generatorer som går på diesel producerar en stor mängd utsläpp då fartyget är i hamnen med huvudmaskinerna avstängda (More Environmentally Friendly Cruise Liners? 2019 s.13). En lösning till att inte behöva starta diesel generatorer ombord på fartyget för att producera tillräckligt med energi för att fylla alla fartygets behov vore att man istället tog elektriciteten från land, priset på elektricitet har däremot gjort motstånd åt implementeringen av denna lösning (More Environmentally Firendly Cruise Liners? 2019 s.13). En annan lösning som man hade i Hamburg, Tyskland var att använda mobila generatorer, så kallade Powerpacs som är generatorer som använder LNG som bränsle för elproduktion åt fartyg (More environmentally Friendly Cruise Liners? 2019 s.13). Man stötte däremot på problem då fartygen inte har lämpliga kontakter på utsidan av skrovet som skulle möjliggöra en användning av dessa Powerpacs. (More Environmentally Friendly Cruise Liners? 2019)

## **4 AVFALL**

I samband med en kryssning producerar en passagerare skräp som ett resultat av dess konsumtion av både mat men också av andra förnödenheter. Enligt ett kryssningsbolag som har sin verksamhet i Östersjön producerar varje passagerare ombord 0,25kg matrester per dag. Denna siffra varierar beroende på säsongerna. Med en passagerarmängd på

omkring 23 miljoner år 2015 innebär det att ifall varje passagerare producerade 0,25kg matrester skulle matresterna bli 5,75 miljoner kg (eller 5750 ton) från hela kryssningsbranschen per år. Enligt dagens regler får ett fartyg släppa sina matrester överbord ifall den är nedmald då fartyget befinner sig åtminstone 12 sjömil från kusten. Ifall fartyget väljer att inte dumpa sitt avfall överbord till sjöss är ett annat alternativ att samla ihop avfallet ombord och lasta det överbord vid ett tillfälle då fartyget anländer till en hamn. Inom den europeiska unionen finns det bestämmelser som säger att hamnar är skyldiga att samla ihop det matavfall som fartygen producerar i samband med att del lägger till. Ifall matavfallet har EU (Europeiska Unionen) ursprung kan det användas för biogasproduktion medan ifall matavfallet har ett icke-EU ursprung måste det brännas efter att det har lastats överbord. (Wilewska-Bien et al. 2018)

Ett kryssningsbolag som har sin verksamhet i Östersjön brukar vanligtvis inte behandla sina matrester på något vis innan det lastas överbord i hamnen. Ett av bolagets fartyg behandlar däremot sina avfall innan det lastas av då man brukar efter att matresterna har samlats ihop ombord mala ner det till en finmald massa, därefter pumpas massan till en tank ombord där den får vänta tills fartyget anländer till en hamn. Då fartyget sedan når hamnen pumpar man den finmalda massan till en tankbil som väntar vid kajen som sedan transporterar massan till en anläggning som producerar biogas av matavfallet. (Wilewska-Bien et al. 2018)

Ett annat kryssningsbolag på Östersjön behandlar sitt matavfall på ett annat sätt. Här malar man ned det till en finmald massa men därefter pumpas den till en gråvattentank. Gråvatten innehåller allt vatten förutom toalettvattnet. Då fartyget anländer till hamnen pumpar man gråvattnet, matresterna samt svarta vattnet till hamnens avloppssystem. Man har däremot stött på problem vid denna verksamhet då matresterna samt smutsvattnet leder till bildandet av H<sub>2</sub>S (svavelväte). Detta svavelväte leder till ett ökat slitage på avloppssystemet och bolaget har tänkt att lösningen till detta vore att antingen ha en skild tank för matavfallet eller att minska på produktionen av matavfall ombord. I regel publicerar alla kryssningsbolag som har sin verksamhet i Östersjön inte information om hur de sköter sin behandling av matavfall ombord. (Wilewska-Bien et al. 2018)

Båda bolagen ovan har beskrivit att lagring av organiskt matavfall ombord ett fartyg vållar problem. Förutom att man skall ha en tillräckligt stor volym reserverad för lagring av matavfall kan det under längre resor där det kan räcka en längre tid innan man når en hamn bli problem med lukten av matavfall. Det finns även möjligheter för problem med råttor samt vissa insekter ombord. Förutom dessa problem kommer energikonsumtionen att öka vid lagringen av matavfall då man vill hålla lagringsutrymmena av matavfall vid en viss temperatur. (Wilewska-Bien et al. 2018)

För att ett fartyg skall lyckas bättre då det kommer till hantering av matavfall ombord borde man anstränga sig i att konstant minska på mängden matavfall som produceras. I köket kan man återanvända mat som blir över och för framtiden skall man räkna ut hur mycket man skall tillaga så att det blir så lite överlopps som möjligt. Enligt undersökningar som man har gjort skulle man spara mera fosfor och energi då man hindrade matavfall än ifall man skulle återanvända det matavfall som producerades. Annat som man kan göra ombord för att bättre hantera matavfall är att noggrant följa med trenden i hur mycket matavfall det är ombord genom att väga det. Det som man kan göra är att inte blanda matavfallet med annat avfall som produceras ombord utan man skall ha som mål att ha en skild samlingsplats för allt matavfall som produceras ombord. (Wilewska-Bien et al. 2018)

## **5 VATTEN**

Vattenkonsumtionen och mängden avloppsvatten som produceras ombord på ett fartyg beror på många faktorer, som vilken sorts fartyg det är frågan om och hur stort antal passagerare som reser med fartyget (Perić et al. 2016 s.425). Enligt kryssningsbolaget Carnival Corporation producerar deras fartyg 79 procent av det vatten de använder ombord medan resten köper man från de hamnar man besöker (Carnival Corporation). Bolaget försöker då de köper sitt vatten skaffa det från sådana orter där vattnet har en tillräckligt tillfredsställande kvalitet och där det finns rikligt med vatten istället för att skaffa det från platser som har ett mindre överflöd med vatten (Carnival Corporation). Enligt Carnival Corporation använder varje resenär ombord på fartygen 225,5 liter vatten per dag ombord på fartygen (Carnival Corporation).

För att spara vatten ombord på sina fartyg använder sig kryssningsfartyget Royal Caribbean av ett antal olika lösningar. Återanvändningen av kondenserat vatten ombord på fartygen är ett sätt, detta innebär att man använder den kondens som bildas vid luftkonditioneringen för bykmaskinerna ombord. Varje passagerare ombord kan även minska på mängden byk ombord genom att använda på nytt lakan och handdukar, vid mindre byk leder det till en minskning av vattenkonsumtionen ombord på fartyget. För att se till att vattentrycket hålls uppe i vattenrören ombord på fartygen men samtidigt kunna spara på vatten använder sig bolaget av tryckluft istället för att pumpa mängder med vatten. Produktionen av vatten ombord på fartygen kan ske på ett antal olika sätt. Enligt Royal Caribbean är ett sätt att använda sig av en teknik som ångavdunstning. Det går ut på att använda avgasernas spillvärme för att koka sjövattnet i fartyget. Då saltvattnet har förångats kondenserar man det och får destillerat vatten. Ett annat sätt är att använda sig av omvänd osmos. Vid användningen av denna teknik pressar man havsvattnet genom ett membran som resulterar i att all smuts samt saltet blir på ingångssidan av membranet. (Royal Caribbean 2019)

Ombord på de största passagerarfartygen i världen som kan ta närmare 5500 passagerare är det viktigt att kunna hantera avloppsvattnet. Regleringen av lagringen och tömningen av detta avloppsvatten sköts av MARPOL konventionen samt Annex IV. MARPOL och Annex IV kontrollerar att fartyg har de rätta certifikaten samt den utrustning som krävs för att kunna hantera avloppsvattnet ombord på fartyget. Avloppsvatten kan man indela in i svartvatten, gråvatten samt slagvatten. Ombord på ett fartyg kan en person producera dagligen 253 liter gråvatten och 31,8 liter svartvatten. (Perić et al. 2016)

Då det kommer till tömningen av gråvattnet ut i miljön finns det inga begränsningar till hur stort avstånd som det måste finnas till land (Wilewska-Bien et al. 2018 s.218). IMO beslöt däremot år 2016 om tömningen av svartvatten från passagerarfartyg i Östersjön (Ympäristöministeriö 26.4.2016). Enligt IMO skall alla nya passagerarfartyg från 1 juni 2019 och framåt inte få tömma sitt svarta vatten direkt i Östersjön (Ympäristöministeriö 26.4.2016). Då det kommer till fartyg som redan var i bruk innan 2019 kommer regeln i kraft från 2021 och framåt (Ympäristöministeriö 26.4.2016). Innan detta så måste ett fartyg befinna sig åtminstone 12 sjömil från närmaste land och inte färdas över fyra knop

för att kunna tömma sina tankar med svartvatten till sjöss (Wilewska-Bien et al. 2018 s.218).

Ett fartyg har fyra olika sätt för att kunna hantera avloppsvattnet ombord: Tömna avloppsvattnet obehandlat i havet, tömma avloppsvattnet behandlat i havet, tömmer renat avloppsvatten i havet eller avloppsvattnet töms inte i havet utan behålls ombord. Vid reningen av avloppsvatten kan fartygen använda sig av två olika sorters apparater, antingen AWT (Advanced Wastewater Treatment) eller MSD (Marine Sanitation Device). AWT teknologin renar både svartvatten och gråvatten. Fartyg som använder AWT ombord kan som ett resultat av prover tagna på vattnet kontinuerligt tömma sitt avloppsvatten överbord inom tre sjömil från land, detta enligt MARPOL. Proverna tagna på vattnet indikerade att vattnet uppfyller de strängaste standarder som man har satt. Distansen stiger till mellan 3-12 sjömil ifall man använder AWT teknologin för att rena vattnet endast delvis. MSD teknologin renar endast svartvatten. (Perić et al. 2016)

Ifall ett fartyg väljer att tömma sina avloppstankar direkt ut i havet innebär det att de vattenområden fartyget är i vid tömningen utsätts för belastning. Vid tömning av avloppsvattnet direkt ut i havet innebär det att en mängd närsalter som fosfor och kväve blir tillgängliga för de organismer som finns i vattnet. I långa loppet kan dessa närsalter leda till en övergödning av vattenområden. Närsalter som blir tillgängliga används sedan av cyanobakterier och alger och då närsalternas ökade tillgång kombineras med högre temperaturer under sommaren leder det till en kraftig ökning av cyanobakterier och alger. Det resultat man får av en ökning i mängden cyanobakterier och alger är att fiskar kan börja dö men också att vattnet blir mera grumligt samt att vassbestånden breder ut sig och blir tätare. (Happonen et al. 2004)

## **6 LJUD FRÅN FARTYG**

I samband med att fartygstrafiken ökar innebär det att ljud från fartygens propellrar och maskiner ökar i mängd. Det ljud som härstammar från fartygstrafiken kan man indela i tre grupper: hydrodynamiskt ljud, mekaniskt ljud och propellerljud (Zhang et al. 2019 s.61). Man har funnit att ljudet som härstammar från fartygen och mindre båtar utlöser

stress hos marina djur och stör förutom valarnas letande efter föda även kommunikationsmöjligheterna (Williams et al. 2018 s.459). Späckhuggare är ett djur vars jakt av föda störs av höga ljud ljudnivåer i haven eftersom de använder ekolokalisering vid sökning av föda (Williams et al. 2018 s.459). Undersökningar som har gjorts tidigare på späckhuggare visade att ifall en båt befann sig nära en späckhuggare vistades de 25 procent mindre tid i området än ifall båten inte befann sig där (Williams et al. 2018 s.460). Vid livliga fartygsrutter som Haro Strait vid gränsen mellan Kanada och USA kan späckhuggarpopulationer utsättas för över 120 decibels ljudnivåer (Williams et al. 2018 s.460).

För att minska på mängden ljud som härstammar från fartyg finns det några lösningar man skulle kunna använda sig av. En 1 decibels minskning i ljudmängd från ett fartyg skulle man uppnå ifall man sänkte farten med en knop. Ifall man skulle tillämpa vid Haro Strait en hastighetsbegränsning åt fartyg på 11,8 knop skulle man nå en ljudsänkning på 3 decibel. Även om ljudet från fartygen sjunker i samband med en fartsänkning leder det däremot till att exponeringen från fartygens ljud ökar i varaktighet. Gruppering av fartyg i havszoner där ljudet sätter en lägre belastning på omgivningen och sedan ha dessa fartyg att färdas i konvojer med jämna intervall skulle även vara en lösning även om det för med sig vissa fördelar och nackdelar som att det blir längre tider med lägre ljudnivåer medan ljudets maxvärde skulle öka då konvojerna färdas. Vid Haro Strait fann man att ett annat sätt för att minska på mängden ljud och halvera på mängden ljud vore att ta ur bruk de 15 procent mest högljudda fartygen som är i trafik. De fartyg som detta skulle drabba vore lastfartyg, kontainerfartyg, tankfartyg samt bulkfartyg. Kontainerfartyg är de mest högljudda fartygen i trafik. Ifall man varken sänker farten eller tar ur bruk de mest högljudda fartygen är installeringen av teknologi som dämpar på ljudnivåerna som härstammar från fartygen en alternativ lösning. Teknologiska lösningar för att dämpa ljudet undervatten vore att installera propellrar som har en låg rotationshastighet men som är större i storlek eller att göra förändringar i hur man monterar fartygets huvudmaskiner. (Williams et al. 2018)

Elastiska monteringar som används för fartygets generatorer, motorer och andra maskiner ombord gör det möjligt att kunna minska på mängden vibrationer i olika riktningar (Willbrandt Gummitechnic). Ljudvågor under vattenytan som härstammar sig från mo-

torerna är ett resultat av att fartygets motorer börjar vibrera då de är igång och eftersom motorerna är kopplade till skrovet börjar skrovet även vibrera en aning vilket skapar rörelse hos det vatten som omger skrovet (Zhang et al. 2019 s.61). En 20 till 40 decibel ljudsänkning från ett fartyg skulle vara möjlig med 10 till 15 procents ökning av kostnaderna i konstruktionsskedet av ett fartyg (Williams et al. 2018 s.465). Även vid en procents ökning av kostnaderna i samband med byggandet av fartyget och vid planeringsprocessen så skulle man uppnå en tio decibels sänkning av ljudnivåer som härstammar från fartyget (Williams et al. 2018 s.462).

Orsaken till en del av det undervattenljud från fartygen är fartygets propeller. Propellerns ljudproduktion är ett resultat av att befinna sig i fartygets icke enhetliga svallvåg. Ljudet från propellerns bladhastighet domineras vid kavitation av ljudet från kavitation på propellerbladen. Däremot ljud från propellerns bladhastighet vid ett tillstånd där kavitation inte sker är ett resultat av ojämnt vridmoment eller ojämn drivkraft. Det som bidrar även till ljudet från fartygets propeller är dess närhet till skrovet av fartyget. Ifall man beaktar kavitationsljudet från propellern riktning akterut är amplituden på det ljud som reflekteras från fartygets skrov dubbelt så större än propellerljudet. Det som bidrar till att ljudets amplitud är på detta vis då det reflekteras från fartygets skrov är formen på fartygets akter. Då amplituden på ljudet var dubbelt så stor som det från propellern var det frågan om en flatbottnad akter. (Kehr & Kao 2011)

Vad som kan göras för att minska på den mängd ljud som kommer från ett fartygs propeller och skrov är att underhålla dem med jämna mellanrum. Förutom att man minskar på ljudet från fartyget med dessa underhåll på propeller och skrov så minskar man även bränslekonsumtionen hos fartyget (Williams et al. 2018)

## **7 YTBEHANDLING AV FARTYG**

Innan ett fartyg sätts i trafik till sjöss måste det ytbehandlas av ett antal olika lager ämnen vars funktion är både att hindra havsorganismer från att fästa sig på fartyget men också för att hindra fartyget från att korrodera. Genom att applicera dessa lager förlänger man inte endast fartygets livstid utan man ser också till att fartygets prestanda



inte försämrats. Prestandan försämrats ifall havsorganismer fäster sig på fartyget då det inverkar negativt på fartygets hydrodynamiska prestanda. De delar av fartyget som ytbehandlas av anti-korrosiva färger och bottenfärg är fartygens lastutrymmen, dess ballasttankar samt dess yttre yta. Vid skeppsvarven anser man att behandlingen av fartygen med dessa färger på dessa ytor är ett av de mest krävande arbetena vid konstruktionen av ett fartyg. (Cho et al. 2016)

Då det kommer till kommersiell bottenfärg som appliceras på fartygen finns det en negativ inverkan i samband med dess användning då den har en negativ inverkan på den havsmiljö där fartygen färdas. Bottenfärgen kan även inverka negativt på vattendragen då den kan komma ut i vattendragen i samband med borttagningen av färgen. Från den bottenfärg som appliceras på ett fartyg kan det lossna ämnen då den utsätts för slitage. Ämnen som zink och koppar kan lossna och komma ut i vattnet. Mängden koppar som man finner i haven visar tecken på att den är säsongsberoende eftersom koncentrationen på koppar i haven är dubbel i mängd sommartid än vad den är vintertid. Denna mängd koppar har man kopplat till de bottenfärger som fartyg använder sig av. Förutom att tiden på året inverkar på mängden koppar som man finner i haven inverkar även torkningstiden man ger åt bottenfärgen samt vattnets salinitet. Då det kommer till hur länge man skall låta fartygets bottenfärg torka efter appliceringen skall man följa de anvisningar som färgens tillverkare anger eftersom man har funnit att ifall man låter färgen torka längre än vad tillverkaren rekommenderar kan det leda till att mängden biocider som hamnar i vattnet ökar. (Adeleye et al. 2016)

Det material som man applicerar bottenfärgen på inverkar även på mängden koppar som hamnar ut i det omgivande vattnet. Ifall man applicerar bottenfärgen på trä så har man funnit att det lossnar mer koppar från en yta av trä än av en aluminiumyta. Över en 180 dagars mätperiod fann man nämligen att siffran var 1,76 procent för trä medan den var 0,21 procent för aluminium, dessa procentmängder anger nämligen den största mängden koppar som lossnat från materialen. Material som stål och glasfiber borde sannolikt ge ett liknande resultat som det hos aluminium. Då det kommer till kopparpartiklar har man även funnit att desto mindre kopparpartiklarna är, desto större fara är de för de organismer som befinner sig i vattnet. (Adeleye et al. 2016)

## 8 LAGSTIFTNING

I EU har man år 2019 kommit fram till ett enat beslut då det kommer till rapportering och övervakning av sjötransportens koldioxidutsläpp. I EU har man en förordning som MRV (Monitoring, Reporting and Verification) som är en förordning gällande koldioxidutsläppen från sjötransporten. Den ser till att alla större passagerarfartyg och lastfartyg som kommer till hamnar inom EES (Europeiska Ekonomiska Samarbetsområdet) skall samla in uppgifter om sina koldioxidutsläpp och rapportera dem vidare. Som ett resultat av att EU:s förordning kräver mer insamling av information om fartygens utsläpp och att verifiera uppgifter via kontrollörer som är externa, är EU förordningen av en strängare variant än IMO:s. Denna förordning hos EU kommer att drabba 11 000 fartyg. (Ympäristöministeriö 30.10.2019)

År 2016 publicerade IMO:s kommitté att både Nordsjön och Östersjön har satts som specialområde då det kommer till kväveoxidutsläpp. Specialområdet för kväveoxider kallas för ett NECA område. I ett NECA område kräver man att fartygens utsläpp av kväveoxid sänks med 80 procent från den nivå den är nu. De nya fartyg som sjösätts efter de 1 januari 2021 kommer påverkas av detta NECA område ifall de trafikerar inom dessa NECA områden. NECA beslutet kommer också påverka nya fartyg efter datumet 1 januari 2021 på så vis att ifall de väljer att inte övergå till att använda LNG som bränsle måste de installera en katalysator ombord på fartyget. Som ett resultat av att Nordsjön och Östersjön har blivit NECA områden kommer det leda till att kvävebelastningen i dessa områden minskar. (Ympäristöministeriö 28.10.2016)

2019 gjorde man beslut i Finland att man skall uppdatera lagstiftningen som gäller dumpningen av avfall till hamnarna. Vad man skulle vilja uppnå är att minska på mängden avfall som kommer ut i våra vattendrag genom att förbättra hamnarnas mottagning av avfall och hur de sedan hanterar avfallet då de har mottagit det av fartygen. Enligt de direktiv som EU har gjort då det kommer till fartygsavfall kommer man göra förändringar i Finlands miljöskyddslag. Enligt EU:s direktiv 2019/882 skall hamnar ha den utrustning som behövs för att man skall kunna ta emot avfall. Samma direktiv säger även att fartygen skall hämta sitt avfall till hamnarna istället för att dumpa den överbord till sjöss. I EU kommer man att introducera en avgift vars syfte är att ge fartyg den rätt

de behöver för att de skall kunna lasta över allt avfall som är fast då de är i hamn till hamnen. Denna avgift grundar sig på HELCOMS:s (Skyddskommissionen för Östersjön) rekommendationer och finns redan i användning i bland annat Finland och i andra länder kring Östersjön. Denna avgift har inget att göra med hur mycket fast avfall som överlämnas till hamnen så ett fartyg skall ha möjlighet att överlämna allt fast avfall till hamnen oberoende av mängden. I Finland kommer detta att gälla förutom fast avfall även toalettavfall samt avfall som är oljehaltigt. I Helsingfors har man redan en sådan kapacitet då det kommer till hantering av avfall. De kryssningsfartyg som kommer från utlandet till Helsingfors brukar även de lämna sitt toalettavfall i hamnen. Detta direktiv som EU har kommit ut med leder även till att man harmoniserar lagstiftningen inom EU med Marpolkonventionen hos IMO. Lagstiftningen kommer även att kräva att övervakningen intensifieras i medlemsstaterna. Medlemsstaterna kommer bli tvungna att årligen göra en inspektion på åtminstone 15 procent av de fartyg som anländer till deras hamnar och man blir tvungen att ge rabatter på avfallsavgifter åt de fartyg som sköter om sin hantering av avfall på ett miljövänligt sätt. Förutom rabatter kommer man vid lagstiftningsprojektet utreda ifall man skulle kunna dela ut sanktioner åt de fartyg som bryter mot mängden utsläpp av svavel som är tillåtet. (Valtioneuvosto 12.11.2019)

## **9 FRAMITD**

Som ett resultat av klimatförändringen sker förändringar på jorden. Vart man speciellt förväntar sig förändringar är vid polerna där isarna smälter. I samband med att dessa områden smälter öppnar det upp nya områden för sjörutter där fartyg kan navigera. Den norra sjörutten kommer enligt prognoser att bli allt vanligare i framtiden. Man har beräknat att man skulle förkorta distansen mellan nordöstra Asien och Europa med mellan 40- och 50 procent ifall man använde den norra sjörutten. En nackdel med en ökad sjötrafik i arktiska områden är ökningen av marknära ozon som ett resultat av fartygens utsläpp. Enligt prognoser kommer en ökad fartygstafrik i Arktis att leda till att ozonmängden kan två- eller trefaldigas under sommarmånaderna. (Endresen et al. 2008)

Solenergi och vindkraft är aktuella teman i dagens samhälle men då det kommer till att driva fartyg är teknologin inte ännu där (Endresen et al. 2008 s.15). För tillfället kan

man använda vindkraft och solenergi för att hjälpa huvudmotorerna hos fartyg vid sidan om (Endresen et al. 2008 s.15). Viking Line har placerat ombord på ett av sina fartyg ett rotorsegel utvecklat av Norsepower som hjälper att driva fartyget framåt tillsammans med huvudmotorerna som använder LNG som bränsle (Viking Line).



*Figur 4 Viking Grace med rotorseglet vid installation (Viking Line)*

Bränsleceller är däremot en teknik som har möjligheter att kunna användas ombord på fartyg. Bolaget Royal Caribbean Cruises har redan undersökt bränsleceller och har gjort olika test med bränsleceller, som planerar att utföra prover med bränsleceller år 2021. (More Environmentally Friendly Cruise Liners? 2019)

I takt med att det sätts mera press på fartygssektorn att sänka sina utsläpp finns det möjligheter för bränsleceller inom fartygssektorn. Behovet att göra fartyg mera effektiva vad gäller bränslekonsumtion är starkt beroende av de rådande priserna på olja i världen. Efter att man länge varit intresserade av att optimera formen på fartygens propellrar och formen på skrovet för att sänka bränslekonsumtionen har man nu blivit intresserad av bränsleceller. Då man tänker på miljön är bränsleceller ett sätt att sänka fartygens inverkan på miljön. Det finns två stycken bränsleceller, hög temperatur och låg temperatur. SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) är exempel på en bränslecell i kategorin hög tempe-

ratur medan PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) är en låg temperatur bränslecell. (Baldi et al. 2020)

För att kunna användas ombord hos fartyg anser man att SOFC är det bästa alternativet för medelmåttliga eller långa färder. SOFC har en verkningsgrad på 60 procent med en livstid på tio år. Bränslen som man kan använda i SOFC är propan, etanol, metanol, DME (Dimethyl ether), LPG (Liquified petroleum gas), diesel och ammoniak. Enligt undersökningar skulle användningen av SOFC sänka fartygens utsläpp av växthusgaser med 34 procent. Problem med SOFC har att göra med deras långa startperiod och problem att klara av förändringar i belastning. Förutom detta har SOFC även en låg energitäthet som ses som ett hinder från att den skall kunna användas ombord på fartyg. Istället tänker man sig att en hybridlösning med förbränningsmotorer vore en lösning där förbränningsmotorn tar de dynamiska belastningarna medan SOFC sköter om elproduktionen ombord på fartyget och driver hjälpmotorerna. PEMFC bränsleceller har man tidigare testat bland passagerarfartyg men även ombord på ubåtar. SOFC har den amerikanska militären även testat ombord på torpedbåtar. Orsaken varför man från militären är intresserad av bränsleceller är deras låga produktion av vibrationer och ljud vilket är viktiga aspekter speciellt för ubåtar. (Baldi et al. 2020)

Batteriteknologi är något som har blivit aktuellt idag med elbilar och många andra fordon som man försöker omvandla till eldrivna. Fartyg är en av de transportmedel som man även försöker få att fungera med batterier. De flesta fall där man använder batterier i fartyg för att driva fartyg är vid hybridssystem. För tillfället finns det några fall där fartyg går till 100 procent med batterier. Ifall man väljer att använda batterier i fartyg gäller det i så fall korta eller medellånga resor. Orsaken är att man inte ser batterier som en lösning för användning vid transport över världshaven. (Baldi et al. 2020)

I Holland finns det ett bolag vid namn Portliner som planerar för att kunna frakta gods längs med floden Rhen till inlandet av Europa från Antwerpen, Rotterdam använda sig av fartyg som är helt elektriska. Genom att använda utbytbara batterier som ger fartygen en resetid på 35 timmar planerar man att kunna utföra dessa resor. Man menar däremot att utbytningen av dessa containerstora batterier kommer i längden att inte vara optimalt. Därför kommer man att pröva även för samma ändamål den så kallade LOHC tek-

niken (Liquid Organic Hydrogen Carrier) som lanserades på marknaden av bolaget H2-industries som möjliggör lagringen av vätgas. Teknologin innebär att vätgasen kommer lagras i en vätska med en hög energitäthet, under omgivningens temperatur och tryck och vars konsistens motsvarar den som man finner hos diesellojja. Denna LOHC-teknik kan man både lagra och transportera på samma sätt som man gör med diesellojja. Vad kommer till säkerheten av LOHC-metoden menar man att metoden skall vara både explosionssäker och brandsäker. Enligt Portliner skulle framtiden finnas inom denna väte-teknologi och bränsleceller. (Karlberg 2018)

Förbättringar i framtiden då det kommer till återanvändning kan ha en inverkan på fartygstrafiken. Då man världen över ökar mängden återanvändning kan det ha en inverkan på fartygstrafiken genom att minska behovet av att transportera nytt råmaterial till sjöss. Områden som kan påverkas är produktionen av plast och stål, då ifall man ökar återanvändningen kan importen av råmaterial för dessa industrier minska. Det motsatta kan även hända det vill säga då sjötransporten ökar i samband med ökad återvinning. Eftersom man fraktar från Europa material för att det skall återvinnas i länder som Kina finns det möjligheter för att en ökning av återvinning i världen kan leda även till att mängden sjötransport ökar. Framtida förändringar som kan påverka mängden transport till sjöss är bland annat rörledningar som kan bli dragna mellan länder. Vid vissa fall kan man välja att bygga en rörledning vilket kan ha en inverkan på mängden transport till sjöss medan vid andra fall kan sjötransport vara ett alternativ istället för att dra en rörledning. (Endresen et al. 2008 s.16)

Inom vissa branscher ser man en ökning i mängden transport. I samband med klimatförändringen och stigande havsnivåer förväntar man en ökning av sand-, sten- och grus-transport. Förutom att dessa behövs för att skydda byggnader från höjning av vattennivåer behövs de även i andra byggprojekt. Även BNP utvecklingen hos länder kommer styra mängden sjötransport. En ökning av BNP kan leda till att behovet av sjötransport sjunker eftersom en ökning av BNP inte behöver styra volymen av hur mycket varor som transporteras. Enligt prognoser som man har gjort skulle världens fartyg år 2050 stå för en större del av världens utsläpp av CO<sub>2</sub>. Sänkningen av SO<sub>2</sub> utsläpp och NO<sub>x</sub> utsläpp är beroende av vissa lösningar som reningen av avgaser medan mängden CO<sub>2</sub> ut-

släpp är beroende av operativa tillstånd samt av tekniska lösningar. (Endresen et al. 2008)

Vissa kryssningsbolag som Hurtigruten räknar med att man i framtiden kommer ha åtminstone sex stycken fartyg vars bränsle kommer vara biogas. Biogasen kommer fungera ihop med batterier installerade ombord på fartyget och man räknar med att man även kommer använda sig av batterier, biogas och LNG. Dessa mål har man satt inför året 2021. Biogasen som bolagets fartyg kommer tankas med kommer produceras genom att använda organiskt material samt restprodukter från fiskindustrin. År 2019 sjösatte Hurtigruten fartyget MS Roald Amundsen vars drivsystem är en kombination av elektriska motorer och förbränningsmotorer. (More Environmentally Friendly Cruise Liners? 2019)

## 10 DISKUSSION

En sak som överraskade mig då jag skrev detta arbete var hur liten andel av världens CO<sub>2</sub> utsläpp som fartygen står för. Jag hade tänkt att andelen skulle ha varit högre än två till tre procent. Då jag nämnde om hur mycket av världens containrar som går via kinesiska hamnar vore det intressant att veta hur det ser ut i dagens läge, speciellt då man ser hur den ekonomiska utvecklingen har fortskridit de senaste 15 åren. Den data som jag använde var från 2005 och då var andelen av världens containrar som går via kinesiska hamnar 26,6 procent. Depressionen 1930 hade en stor inverkan på sjöfarten då fartygen blev sittande i hamnar. Nu år 2020 lever vi turbulenta tider så i framtiden kommer det att vara intressant att se hur mycket fartygstrafiken påverkades av dagens händelser.

Arbetet skulle kanske ha kunnat gå mera in i detalj i vissa områden, kanske skulle man ha kunnat intervjua någon från sjöfartssektorn för att få en bättre inblick i hur framtiden ser ut för sjöfarten då man granskat både från den ekologiska synvinkeln men även från den ekonomiska synvinkeln. Som följande svar på frågor som ställdes.

Fartygstrafiken har sett ett antal förändringar genom åren då den har utvecklats. Utveckling skedde mellan åren 1870 och 1910 eftersom man under denna tidsperiod gick från att transportera med segelfartyg till att sköta transporten via ångdrivna fartyg. Far-

tygen skötte majoriteten av all passagerartransport under 1900 talet ända till året 1958 då det var flygplanen som transporterade fler passagerare än fartygen. Trots det kan man notera att det år 2015 färdades 23 miljoner passagerare på fartyg. Mängden av frakt har även den vuxit de senaste hundra åren. År 1920 transporterades det 300 miljoner ton via fartyg jämfört med år 2000 då frakten till sjöss hade stigit till 5400 miljoner ton. Utvecklingen har fortsatt då det kommer till fraktmängden som transporteras via fartyg, mellan 2002 och 2006 steg handeln till sjöss 23 procent och i dagens läge då man granskar frakttransporten till sjöss kan man notera att 90 procent utförs via fartyg.

De bränslen som fartygen använder sig idag av antingen tjockolja, MDO eller MGO. Även vissa fartyg har börjar använda sig av LNG. Den årliga konsumtionen av bränsle hos fartygssektorn går uppemot 300 miljoner ton och man noterade mellan 2013 och 2015 att konsumtionen steg med 2,4 procent. Även utsläppen av CO<sub>2</sub> steg mellan åren 2013 och 2015 då man noterade år 2015 att utsläppen av CO<sub>2</sub> var 932 miljoner ton vilket var en ökning med 2,4 procent jämfört med de värden man hade 2013. Ett sätt som man styr bränsleutvecklingen är via regler som publiceras, speciellt de av IMO. IMO har kommit ut med regler som säger att raffinaderier skall göra förändringar till sin bränsleproduktion genom att öka på produktion av bränslen med lägre mängd svavel. Till NECA och SECA områden har IMO även satt ut en gräns för hur mycket svavel som får finnas i bränslet hos fartyg som trafikerar i dem. Även individuella länder kan komma ut med regler vad gäller fartyg som rör sig i deras vatten. Alternativa bränslen som man kan använda i fartyg är bland annat LNG, förnybar metanol men även biobränslen som etanol samt biodiesel. Vid jämförelse med dieselolja kan man notera att biodiesel varianten B100 har 8-11 procent lägre energi än dieselolja, medan biodiesel varianten B20 har mellan 2-3 procent lägre energi och B5 har samma energimängd som dieselolja. Vid en användning med biodiesel skulle konsumtionen av bränslet stiga med 11,4 procent då det kommer till den specifika konsumtionen medan utsläppen av CO, PM, SO<sub>2</sub> och HC skulle minska. Det förnybara metanol skulle man kunna producera i en power-to-gas process men som ett resultat av bränslepriserna är det inte lönsamt just nu.

Tre fartygsklasser stod för 55 procent av den totala mängden utsläpp från fartyg mellan åren 2013 och 2015. Av 55 procent utgjordes 13 procent av oljetankers, bulkfartyg stod



för 19 procent och containerfartyg 23 procent. Fartygens utsläpp innehåller förutom CO<sub>2</sub> även BC, NO<sub>x</sub>, PM, och SO<sub>x</sub> och av utsläppen från fartygen sker 70 procent inom 400 kilometer från land. Utsläppen påverkar passagerarna ombord på fartyget men även den miljö som fartyget omges av. Utsläppen av SO<sub>x</sub> bidrar till försurning av vatten och jord och fartygets utsläpp av NO<sub>x</sub> som även det leder till försurning men också till att marknära ozon bildas som är skadligt för miljön. För att kunna rena avgaserna kan fartygen installera skrubberteknologi. Den möjliggör borttagning av skadliga ämnen från avgaserna.

De maskiner som står för produktionen av avgaserna för ett fartyg är huvudmaskinerna, hjälpmotorerna samt vid behov av värme bidrar även hjälppannor. Hjälppannor används även inom frakten av varor för att hålla temperaturen av varorna på en rimlig nivå samt för att värma bränslet eller bland tankfartygen för att driva lastpumparna ombord. Mängden avgaser som kommer från fartygen maskiner beror på hur man använder dem. Mängden syre tillgänglig vid förbränningen, fördröjningen vid tändningen samt förbränningstemperaturen alla inverkar på mängden utsläpp av kväveoxid. För att man skall kunna sänka maskinernas klimatpåverkan är att ändra deras layout till vad man kallar en hybridlayout. Vid en hybridlayout använder man en kombination av kolvmotor och gasturbin för att driva fartyget. En annan lösning har att göra med då fartyget är i hamn att istället för att låta fartyget själv producera den elektricitet den behöver då den är i hamn ha den ta elektriciteten från land.

Mängden matrester som produceras ombord varierar säkert mellan kryssningsbolag men en rapporterad siffra jag hittade angav 0,25 kg per person/dag. Hur man hanterar avfallet ombord varierar mellan kryssningsbolag och dess fartyg, vissa behandlar sina matrester inte alls innan det lastas överbord i hamnen medan andra samlar ihop det och malar ner det i en finmald massa varefter det pumpas till en tank. En tankbil kommer sedan i hamnen och tömma tanken och transporterar dess innehåll till en biogasanläggning. Ett annat kryssningsbolag nämner att de att deras matavfall malas ned men att det samlas i en gråvattentank varifrån det sedan pumpas till hamnens avloppssystem då fartyget anländer till en hamn. För att bättre hantera matavfallet kan fartyg istället för att kasta bort mat som blir över återanvända det samt bättre beräkna hur stor konsumtionen kommer

vara så att man inte tillagar för mycket mat. För att hantera matavfallet bättre skall man ombord undvika blanda matavfallet med annat avfall.

För att besvara frågan på hur kan ett fartyg producera vatten ombord finns det ett antal tekniker man kan använda sig av. De tekniker som man kan använda sig av är omvänd osmos samt ångavdunstning. Då det kommer till hanteringen av avloppsvattnet ombord på fartyget kan ett fartyg tömma obehandlat, aningen behandlat eller helt renat vatten direkt i havet. För reningen ombord kan man använda sig av AWT teknologi eller MSD teknologi. Det sista alternativet är att inte alls tömma vattnet överbord till sjöss utan man tömmer först efter man har lagt till i hamnen, varifrån det transporteras vidare för rening. Då ett fartyg tömmer sina tankar med smutsigt vatten till sjöss innebär det en belastning på miljön vilket då detta pågår en längre tid leder till övergödning och de närsalter som blir tillgängliga för vattnets organismer kan leda till ökningen av cyanobakterier samt alger vilket leder till ökningen av vassbestånden samt fiskdöd.

Ljudet från fartygen inverkar på havsorganismerna genom att skapa stress, störa valarnas och späckhuggarnas sökning av föda. För att minska denna negativa inverkan som ljudet har på havets organismer måste man sänka ljudet från fartygen genom att ha fartygen att röra sig i konvojer med jämna intervall, sänka på fartygens hastighet, ta ur bruk de mest högljudda fartygen, installera propellrar som är större i storlek men som har en lägre rotationshastighet, ha fartygets motorer installerade på elastiska monteringar eller att använda fartyg med en icke flatbottnad akter. Propellrarna har samband med det ljud som härstammar från fartyg genom att då det sker kavitation hos propellerns yta skapas det ljud. Då det kommer till vilka ämnen som kan komma ut i vattnet från den färg som man applicerar på fartygen är det ämnen som zink men också koppar. Materialet som man applicerar färgen på påverkar så till vida att mängden koppar som lossnar ifall färgen applicerar på aluminium är större än ifall färgen applicerar på trä.

I EU och Finland har man gjort ett antal olika beslut nyligen vad gäller fartygen. Man har inom EU enats om övervakningen och rapporteringen av fartygens utsläpp av koldioxid, publicerat ett direktiv som säger att hamnar skall ha den utrustning som möjliggör mottagning av avfall samt så kommer man introducera en avgift som ger fartygen rätt att tömma avfallet sitt då de är i hamnen. I Finland gjorde man även beslut vad gäller

fartygens avfall år 2019 då man kommer uppdatera lagstiftningen vad gäller dumpningen av avfall.

Framtida teknologier som man skulle kunna tillämpa hos fartyg i någon form är rotorsegel, bränsleceller, batterier samt biogas. Rotorsegel används bland några fartyg för att stöda huvudmaskinerna, bränsleceller har man blivit mera intresserad av att börja använda i fartyg, batteriteknologi lämpar sig inte ännu för att kunna driva fartyg över världshaven, möjligtvis för fartyg av en mindre storlek som trafikerar kortare sträckor medan biogas är ett bränsle som blir allt vanligare i framtiden med Hurtigruten som exempel som satsar på biogas. Det som påverkar hur fartygstrafiken utvecklar sig i framtiden är ett antal olika saker. Hur kommer klimatförändringen att fortskrida, dess framfart kan styra efterfrågan på vissa material/varor och kan därför inverka på behovet av frakt via fartyg. BNP utvecklingen och mängden återanvändning kan även de i framtiden styra mängden sjötransport. Återanvändningen av material kan ha både öka behovet av sjötransport men även sänka behovet av sjötransport.

## 11 SLUTSATS

Tyngdpunkten i detta arbete blev främst på avgas- och bränslekapitlet där det kom fram hur stora fartygens utsläpp är men också vad de påverkas av och vilka teknologier man kan använda sig av för att sänka utsläppen. I detta arbete blev det en aningen mindre tonvikt på ytbehandlingen av fartygen samt lagstiftningen. Ifall någon blev inspirerad av detta arbete skulle man kunna i framtiden göra en mera ingående utredning av dessa områden och i fall man har möjlighet kanske göra även egna undersökningar.

## 12 KÄLLOR

Adeleye, A.S., Oranu, E.A., Tao, M., Keller A.A., 2016, Release and detection of nanosized copper from a commercial antifouling paint I: Morgenroth, E. (red.), *Water Research*, s. 374-381

Amnar, N.R., 2019, An environmental and economic analysis of methanol fuel for a cellular container ship I: Noland, R.B. (red.) och Cao, J.X. (red.), *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, s. 66-72

- Armellini, A., Daniotti, S., Pinamonti, P., Reini, M., 2019, Reducing the environmental impact of large cruise ships by the adoption of complex cogenerative/trigenerative energy systems I: Al-Nimr, M.A. (red.), *Energy Conversion and Management*, s. 1-10
- Baldi, F., Moret, S., Tammi, K., Maréchal, F., 2020, The role of solid oxide fuel cells in future ship energy systems I: Lund, H. (red.), *Energy*, s. 1-14
- Carnival Corporation, 2020. Tillgänglig:  
<https://carnivalsustainability.com/commitment/water-management/>  
 Hämtad: 28.2.2020
- Chen, D., Fu, X., Guo, X., Lang, J., Zhou, Y., Li, Y., Liu, B., Wang, W., 2019, The impact of ship emissions on nitrogen and sulfur deposition in China I: Barceló, D. (red.) och Gan, J. (red.), *Science of The Total Environment*, s. 1-11
- Cho, D.Y., Swan, S., Kim, D., Cha, J.H., Ruy, W.S., Choi, H.S., Kim, T.S., 2016, Development of paint area estimation software for ship compartments and structures I: Rhee, S.H. (red.), *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, s. 198-208
- Clume, S.F., Belchior, C.R.P., Gutiérrez, R.H.R., Monteiro, U.A., Vaz, L.A., 2019, Methodology for the validation of fuel consumption in diesel engines installed on board military ships, using diesel oil and biodiesel blends I: Junior J.R.B. (red.), Trindade, M.A. (red.), *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, s. 1-15
- Endresen, Ø., Eide, M., Dalsøren, S., Isaksen, I.S., Sjørgård, E., 2008, *The Environmental Impacts of Increased International Maritime Shipping*, s. 6-16
- Goldsworthy, B., Enshaei, H., Jayasinghe, S., 2019, Comparison of large-scale ship exhaust emissions across multiple resolutions: From annual to hourly data I: Schauer, J.J. (red.), *Atmospheric Environment*, s. 1-8
- Happonen, P., Holopainen, M., Sotkas, P., Tenhunen, A., Tihtarinen-Ulmanen, M., Venäläinen, J., 2004, *BIOS 3 Miljöekologi*, 1 uppl., Söderström, Helsingfors
- Kehr, Y.Z. och Kao, J.H., 2011, Underwater acoustic field and pressure fluctuation on ship hull due to unsteady propeller sheet cavitation, I: *Journal of Marine Science and Technology*, Volym 16, s. 241-253
- Karlberg, P., 2018, Vätgasfartyg ska trafikera längs Rhen, *Tekniikka & Talous*, 2.11.2013
- More Environmentally Friendly Cruise Liners?, 2019, s. 1-6

- Olmer, N., Comer, B., Roy, B., Mao, X., Rutherford, D., 2017, *GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM GLOBAL SHIPPING, 2013-2015*, s. 1-25
- Perić, T., Komadina, P., Račić, 2016, WASTEWATER POLLUTION FROM CRUISE SHIPS IN THE ADRIATIC SEA, I: *Traffic and Environment (Ecology)*, s. 426-426
- Royal Caribbean, 2019. Tillgänglig:  
<https://www.royalcaribbean.com/blog/how-royal-caribbean-conserves-water-on-its-cruise-ships/>  
Hämtad: 28.2.2020
- Selvakumar, K. och Kim, M.Y., 2015, A numerical study on the fluid flow and thermal characteristics inside the scrubber with water injection, I: *Journal of Mechanical Science and Technology*, Volym 30, s. 915-923
- University of Oxford, 2018, *Power-to-gas: Linking Electricity and Gas in a Decarbonising World?*, s.3
- Valtioneuvosto, 2019, *Miljölagstiftningen inom sjöfarten reformeras – fokus på avfallshandling*, Tillgänglig:  
[https://valtioneuvosto.fi/sv/artikeln/-/asset\\_publisher/merenkulunymparistolainsaadantoa-uudistetaan-huomio-jatteiden-kasittelyyn](https://valtioneuvosto.fi/sv/artikeln/-/asset_publisher/merenkulunymparistolainsaadantoa-uudistetaan-huomio-jatteiden-kasittelyyn)  
Hämtad: 16.3.2020
- Van, T.C., Ramirez, J., Rainey, T., Ristovski, Z., Brown, R.J., 2019, Global impacts of recent IMO regulations on marine fuel oil refining processes and ship emissions, I: Noland, R.B. (red.) och Cao, J.X. (red.), *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, s. 123-134
- Viking Line, *Friska vindar med nytt rotorsegel*, Tillgänglig:  
<https://www.vikingline.fi/sv-fi/hitta-resa/vara-fartyg/ms-viking-grace/rotorsegel/>  
Hämtad: 21.3.2020
- Wilewska-Bien, M., Granhag, L., Andersson, K., 2018, Pathways to reduction and efficient handling of food waste on passenger ships: from Baltic Sea perspective, I: Hens, L. (red.), *Environment, Development and Sustainability*, s. 217-230
- Willbrandt, Tillgänglig:  
[https://www.willbrandt.com/willbrandt/en/vibration\\_technology/products\\_elBe.php](https://www.willbrandt.com/willbrandt/en/vibration_technology/products_elBe.php)  
Hämtad: 3.3.2020
- Williams, R., Veirs, S., Veirs, V., Ashe, E., Mastick, N., 2018, Approaches to reduce noise from ships operating in important killer whale habitats, I: Galgani, F. (red.), Hutchings, P. (red.), Quintino, V. (red.), Yang, G.P. (red.), *Marine Pollution Bulletin*, s. 459-469

Ympäristöministeriö, 2019, *Europeiska unionens råd enades om övervakning av koldioxidutsläpp från sjötransport*, Tillgänglig:  
[https://www.ymp.fi/sv-FI/Europeiska\\_unionens\\_rad\\_enades\\_om\\_overva\(52496\)](https://www.ymp.fi/sv-FI/Europeiska_unionens_rad_enades_om_overva(52496))  
Hämtad: 20.1.2020

Ympäristöministeriö, 2016, *Kväveutsläpp från fartyg begränsas på Östersjön och Nordsjön*, Tillgänglig:  
[https://www.ymp.fi/sv-FI/Kvaveutslapp\\_fran\\_fartyg\\_begransas\\_pa\\_Os\(40754\)](https://www.ymp.fi/sv-FI/Kvaveutslapp_fran_fartyg_begransas_pa_Os(40754))  
Hämtad: 20.1.2020

Zhang, B., Xiang, Y., He, P., Zhang, G.j., 2019, Study on prediction methods and characteristics of ship underwater radiated noise within full frequency, I: Incecik, A. (red.), *Ocean Engineering*, s. 61-70

