



CHALMERS



Hur klarar dagens europeiska sjöfart kommande koldioxidintensitetskrav?

En studie av hur fartygsflottan presterar enligt IMO:s kommande globala CII-reglering

Examensarbete inom sjökaptensprogrammet

FREDRIK FORSMARK
SEBASTIAN MÅRTENSSON

INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2022

Hur klarar dagens europeiska sjöfart kommande koldioxidintensitetskrav?

En studie av hur fartygsflottan presterar enligt IMO:s
kommande globala CII-reglering

Examensarbete inom sjökaptensprogrammet

FREDRIK FORSMARK
SEBASTIAN MÅRTENSSON

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
Avdelningen för maritima studier
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2022

Hur klarar dagens europeiska sjöfart kommande koldioxidintensitetskrav?

En studie av hur fartygsflottan presterar enligt IMO:s kommande globala CII-reglering

FREDRIK FORSMARK

SEBASTIAN MÅRTENSSON

© FREDRIK FORSMARK, 2022

© SEBASTIAN MÅRTENSSON, 2022

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Omslag:

Ett fartyg manövrerar från en kaj, mycket svart rök stiger från skorsten.

Fotograf: Roberto Venturini, <https://www.flickr.com/photos/robven/1953413479>

Licens: Attribution 2.0 Generic (CC BY 2.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper

Chalmers tekniska högskola

Göteborg, Sverige 2022

FÖRORD

Under sjökaptensprogrammets fyra långa år infann det sig, bland *många* andra kurser, en miljökurs. Under kursen togs ett arbete fram som handlade om sjöfartens växthusgasutsläpp och vad det fanns för alternativ till de konventionella bränslena sjöfarten idag använder. De båda författarna till detta examensarbete, Fredrik Forsmark och Sebastian Mårtensson, som var delförfattare i det just nämnda miljöarbetet, har nu grävt sig ännu djupare ner i mötesprotokoll och växthusgasrapporter för att försöka finna vad som krävs för att nå IMO:s koldioxidkrav fram till 2050. Under detta examensarbete på Chalmers tekniska högskola undersöker författarna hur CII-regleringen kan vara ett verktyg för att stävja klimatuppvärmingen. Författarna ger sina djupaste kondoleanser till opponenter och examinatorn, samt tackar handledaren ödmjukast för allt arbete.

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
Avdelningen för maritima studier
Chalmers TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2022

Hur klarar dagens europeiska sjöfart kommande koldioxidintensitetskrav?

En studie av hur fartygsflottan presterar enligt IMO:s kommande globala CII-reglering

Fredrik Forsmark
Sebastian Mårtensson

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
Chalmers tekniska högskola

SAMMANDRAG

Världen står inför gigantiska klimatutmaningar, där sjöfarten står för runt 3% av alla växthusgasutsläpp i världen. Efter parisavtalet 2016 införde International Maritime Organization (IMO) 2018 en strategi om att eliminera växthusgasutsläpp detta århundrade med en halvering till 2050. För att kunna nå dessa mål har medlemsländerna kommit överens om flera olika regleringar och åtgärder. Carbon Intensity Indicator (CII) är ett av dessa, som denna uppsats behandlar, kommer införas 2023. Det kommer att innebära ett betygssystem som betygsätter fartygens koldioxidutsläpp i relation till fartygens storlek. Syftet med uppsatsen är att studera hur den europeiska fartygstrafiken skulle påverkas av CII-regleringen. Mer specifikt, undersöks vilka betyg den europeiska fartygstrafiken 2019 skulle få enligt CII-betygsskalan från införandet 2023 till 2050. Uppsatsen undersöker även vilka betyg naturgasdrivna (LNG) fartyg får när metan tas med i CII-beräkningen utöver koldioxid. Slutligen undersöks CII-betygens relation till fartygstrafikens transporterade last, transportarbete, för år 2023. 48% av de fartyg som trafikerat EU:s farvatten 2019 skulle inte uppnå ett godkänt betyg vid införandet av regleringen 2023 om de presterade motsvarade som år 2019. Uppsatsen finner att nästan hela flottan som trafikerar EU:s farvatten 2019 inte kommer att nå upp till IMO:s krav 2050, endast 16 fartyg av 10 662 når upp till ett godkänt betyg. När metanutsläppen tas med i beräkningen gällande naturgasdrivna fartyg försämras CII-betyget avsevärt. Resultaten för utsläppen per transportarbete i relation till CII-betyg visar på vissa diskrepanser för de flesta fartygstyper, men generellt korrelerar betyg med utsläppen. Detta kan förklaras med att utnyttjandegraden är lägre för dessa fartyg. Sammanfattningsvis är det tydligt att sjöfarten kommer att behöva förändras drastiskt de närmaste 30 åren för att nå IMO:s mål.

Nyckelord: IMO, Koldioxidutsläpp, CII, Reglering, SEEMP, MARPOL, MRV, Klimat, Sjöfart

How will the European shipping of today manage coming carbon intensity requirements?

A study of how the fleet perform according to IMO:s coming global CII-regulation

Fredrik Forsmark
Sebastian Mårtensson

Department of Mechanics and Maritime Sciences
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The world is facing a challenging climate outlook, meanwhile the world trade is carried out in large part by a shipping fleet powered exclusively by fossil fuels. The shipping industry alone contributes around 3% of greenhouse gas emissions worldwide. This has led the International Maritime Organization (IMO) to set the goal to reduce greenhouse gas emissions from shipping with 50% by 2050 and increase the efficiency of ships by 40% and 70% to the year 2030 and 2050 respectively. One of the policy measures introduced to achieve this is the upcoming Carbon Intensity Indicator (CII), adopted by the IMO, and will enter into force in 2023. This regulation introduces a rating system for ships based on their carbon dioxide intensity along with a voluntary scheme for lowering the intensity of ships that do not receive an acceptable rating. The thesis investigates how the European shipping industry may be affected in the years from 2023 up to 2050. How the ratings of ships powered by Liquid Natural Gas (LNG) are influenced by an alternative rating scheme are also studied by considering emissions of methane in addition to carbon dioxide. Additionally, the relation between the CII rating and the emissions per transported cargo are assessed. The thesis concludes that as many as 48% of the ships that visited European ports in 2019 would not receive an approved rating in 2023 with the same performance as in 2019. For the year 2050 only 16 of 10 662 ships received an approved rating. These numbers give an indication of the challenge facing the industry in the attempt to achieve the climate goals set. The results of the LNG-powered ships suggested as a step towards lowering the emissions, show that the CII-rating might be misleading as all climate gases are not considered. The assessment between emissions per cargo carried and CII-rating, however, show that while there are discrepancies for several types of ships, the rating for the most part relate to cargo being carried efficiently. In conclusion it's clear that shipping need to take radical measures the coming 30 years to reach IMO goals. The report is written in Swedish.

Keywords: IMO, Carbon Dioxide Emissions, CII, Regulation, SEEMP, MARPOL, MRV, Climate, Shipping

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förkortningar och begrepp	vi
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte.....	2
1.3 Frågeställning	2
1.4 Avgränsningar	2
2 Teori	3
2.1 Sjöfartens klimatregleringar	3
2.2 Koldioxidintensitet	4
2.3 Carbon Intensity Indicator (CII)	5
2.3.1 Beräkning av fartygs koldioxidintensitet	5
2.3.2 Referensnivå år 2019.....	5
2.3.3 Reduktionsfaktor	6
2.3.4 Betygsnivåer.....	7
2.4 Utsläppsfaktorer.....	8
3 Metod	9
3.1 Data.....	9
3.2 Reduktionsfaktorer	10
3.3 Beräkning av CII	11
3.3.1 Alternativ beräkningsmodell	13
3.4 CII-betygen jämfört med utfört transportarbete	13
4 Resultat och Analys.....	15
4.1 CII betyg för EU:s fartygstrafik enligt 2023-års betyg.....	15
4.2 Utvärdering 2030–2050	17
4.3 LNG-resultat.....	18
4.4 Transportarbete och CII.....	19
5 Diskussion	21
5.1 Metoddiskussion.....	23
6 Slutsatser	25
6.1 Rekommendationer till fortsatt arbete	25
Källförteckning.....	26
Bilaga 1	
Bilaga 2	

FIGURFÖRTECKNING

Figur 1 CII-betygsillustration.....	7
Figur 2 Flödesdiagram.....	11
Figur 3 Proportioner per betyg och fartygstyp 2023.....	16
Figur 4 Proportioner per betyg och fartygstyp 2030.....	17
Figur 5 Proportioner per betyg och fartygstyp 2050.....	18
Figur 6 CII-betyg för LNG-drivna fartyg baserat på GWP20	18

TABELLFÖRTECKNING

Tabell 1 Passagerarsegment 2019 och 2020	2
Tabell 2 Parametrar för att beräkna ett fartygs referensnivå 2019.....	6
Tabell 3 Reduktionsfaktorn till och med 2026	6
Tabell 4 Exponenter för betygsintervallen	7
Tabell 5 Utsläppsfaktorer för MDO och LNG	8
Tabell 6 Reduktionsfaktorer CIIVÄRDE.....	10
Tabell 7 CII-betyg år 2023.....	15
Tabell 8 EEOI-medelvärden per transportarbete uppdelat efter betyg	19
Tabell 9 EEOI-medianvärden per transportarbete uppdelat efter fartygstyp och betyg	20
Tabell 10 Utnyttjandegrad uppdelat efter fartygstyp och betyg	20
Tabell 11 Oanvändbara Datapunkter	1
Tabell 12 CII-betyg 2030	2
Tabell 13 CII-betyg 2050	2

FÖRKORTNINGAR OCH BEGREPP

Förkortning	Engelska	Svenska
CH ₄	Methane Gas	Metangas
CII	Carbon Intensity Indicator	-
CO ₂	Carbon Dioxide	Koldioxid
CO ₂ e	Carbon Dioxide Equivalent	Koldioxidekvivalent
DCS	Data Collection Service	-
DWT (dwt)	Deadweight	Dödvikt
EEDI	Existing Ship Energi Design index	-
EU	European Union	Europeiska unionen
GT (gt)	Gross tonnage	Bruttodräktighet
GWP	Global Warming Potential	Global uppvärmingspotential
IMO	International Maritime Organisation	Internationella Sjöfartsorganisationen
LNG	Liquefied Natural Gas	Flytande Naturgas
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships	Internationella konventionen om förhindrande av havsföroreningar från fartyg
MBM	Market Based Measures	Marknadsbaserade åtgärder
MDO	Marine Diesel Oil	Marindiesel
MEPC	Marine Environment Protection Committee	Kommittén för skydd av den marina miljön
MRV	Monitoring, Reporting and Verification	Övervakning, rapportering och verifiering av koldioxidutsläpp från sjötransporter

1 INLEDNING

Den internationella sjöfarten är idag en viktig del i den globaliserade världshandeln och runt 80% av alla handelsvaror transporteras sjövägen (ECSA, 2017). Även om sjöfarten är ett relativt effektivt sätt att transportera varor på så står sjöfarten för närmare tre procent av de globala växthusgasutsläppen (Faber et al., 2020).

Global uppvärmning sker på grund av mänsklig påverkan framför allt genom förbränning av fossila bränslen, vilket leder till utsläpp av växthusgaser. Utsläppen resulterar i större koncentration av växthusgaser i atmosfären, som medför en högre global medeltemperatur. Mer än 90% av utsläppen av växthusgaser utgörs av koldioxid (CO₂) och metan (CH₄) (Edenhofer et al., 2014; Smith, 1988). De senaste åren har klimatförändringarnas negativa konsekvenser krävt den internationella politikens uppmärksamhet (FN, 2022).

Ett försök att stävja temperaturökningen är parisavtalet som skapats av Förenta nationerna (2016). Parisavtalets överenskommelser om att kraftigt minska världens utsläpp av växthusgaser ledde 2018 till att den Internationella sjöfartsorganisationen (IMO) införde en strategi om att minska sjöfartens utsläpp (IMO, 2018).

Strategin innehåller bland annat mål om att minska sjöfartens växthusgasutsläpp med 50% fram till 2050. För att sjöfarten ska ha möjlighet att uppnå dessa mål, inför IMO flera regleringar med syfte att minska växthusgasutsläppen. Dessa regleringar inkluderar idag, eller inom en snar framtid, *Energy Efficient Existing Ship Index* (EEXI) och *Energy Efficiency Design Index* (EEDI) för att öka fartygens energieffektivitet och *Ship Energy Efficiency Management Plan* (SEEMP) för att uppmana fartygen att jobba mer med energieffektivitet. Dessutom införs år 2023 *Carbon Intensity Indicator* (CII) med syfte att minska koldioxidintensiteten (IMO, 2018b). Bortsett från IMO:s ovan nämnda regleringar kommer sjöfarten även inkluderas i Europeiska unionens (EU) handel med utsläppsätter (ETS), från och med år 2023 (EU, 2020).

1.1 Bakgrund

I juni 2021 beslutade IMO:s kommitté för skydd av den marina miljön, *Maritime Environmental Protection Committee* (MEPC), att införa ett direktiv gällande CII från och med 1 november 2022. Direktivet omfattar alla handelsfartyg med en bruttodräktighet över 5000. Beslutet innebär att CII införs som reglering 28 i bilaga nummer 6 av den internationella konventionen om förhindrande av havsföroreningar från fartyg, MARPOL 73/78-konventionen (MEPC, 2021g). CII är ett betygssystem där ett fartygs koldioxidintensitet bedöms och det tilldelas ett betyg. Bedömningen baseras på varje fartygs totala koldioxidutsläpp i förhållande till fartygets lastkapacitet och hur långt det har seglat. Denna bedömning görs på årsbasis och varje fartyg tilldelas ett betyg från det bästa betyget A till det sämsta betyget E. Insamling av utsläppsdata kommer att ske via IMO:s *Data Collection Service* (DCS). Noterbart är att det är fartygets kapacitet som avgör koldioxidintensiteten i CII, hur mycket last som faktiskt transporteras ingår inte i bedömningen i nuvarande beslut (MEPC, 2021c).

Införandet av CII kan också leda till negativa konsekvenser, som mer administrativ börda för både myndigheter och redare, samt besättningar. För de fartyg som får betyget E krävs en åtgärdsplan efter ett år och för de fartyg som får betyget D krävs en åtgärdsplan först efter tre år med betyg D. Åtgärdsplanen skall vara en del av SEEMP (MEPC, 2021a).

Sjöfartens klimatomställning på global nivå har än så länge lämnat mer att önska och den är traditionellt sett en reaktiv bransch med stora insparningskrav. Sverige som land leder omställningsarbetet enligt en rapport från OECD (2018). Svensk Sjöfart har antagit en vision om noll-utsläpp av skadliga ämnen till 2050 och minskning av koldioxidutsläpp till 2030 (Svensk Sjöfart, 2020). Det finns i dag en trend där flertalet redare, särskilt inom tanksegmentet, redan har, eller planerar, att gå över till flytande naturgas (LNG) som bränsle (Pavlenko et al., 2020). En sådan omställning till LNG, som i vissa fall släpper ut betydande mängder av andra växthusgaser än koldioxid, kan eventuellt öka klimatuppvärmningen på kort sikt, snarare än att minska den (Faber et al., 2020; ICCT, 2018).

1.2 Syfte

Syftet med uppsatsen är att undersöka hur EU:s fartygstrafik skulle klara framtidens krav på minskad koldioxidintensitet och minskning av växthusgaser enligt IMO:s CII-betygssystem.

1.3 Frågeställning

För att kunna svara på uppsatsens syfte används huvudfrågeställningen nedan, de kompletterande frågorna ställs för att ge en bredare bild av CII.

Huvudfrågeställning:

1. Hur klarar dagens sjöfart inom EU införandet av IMO:s CII-reglering år 2023 och fram till år 2050?

Kompletterande frågeställning:

2. Hur kan alternativa beräkningsmetoder påverka CII-betygen för LNG-fartyg?
3. Hur ser förhållandet mellan CII-betyg och transportarbete ut?

1.4 Avgränsningar

Uppsatsen har valt att använda utsläppsdata från EU som rapporterats in för året 2019. Det finns även data för 2020 men då tvingade Coronapandemin stora delar av passagerarsegmentet att ligga till kaj eller uppankrade, se Tabell 1. 2020 är då inte ett representativt år att använda i uppsatsens beräkningar.

Tabell 1

Passagerarsegment 2019 och 2020

Seglad distans 2019 & 2020 passagerarfartyg	Total seglad distans M	Medeldistans per fartyg	Antal Fartyg
2020	920 455,62	8 766	105
2019	7 398 865,55	41 334	179

Kommentar. Baserad på utsläppsdata från EU om sjöfartens utsläpp för 2019 och 2020.

För fartygstyperna ”Torrlastfartyg” och ”Övriga fartyg” innehåller EU:s utsläppsdata flertalet nollvärden och felaktiga datapunkter vilket omöjliggör representativa beräkningar och sammanställningar för de fartygstyperna i uppsatsen. 1242 respektive 142 fartyg undantas i beräkningarna, totalt 1384 fartyg.

2 TEORI

2.1 Sjöfartens klimatregleringar

I sammanhanget sjöfartens växthusgasutsläpp är källan för utsläppen de motorer som står för framdrivningen av fartyget, kallade huvudmotorer samt de hjälpmotorer som producerar elenergi till fartygets system. Fartygs framdrivning och energiproduktion sker nästan uteslutande med fossila bränslen idag (Faber et al., 2020). Det finns två regleringar, *Energy Efficient Existing Ship Index* (EEXI) och *Energy Efficiency Design Index* (EEDI), från IMO med syfte att öka den tekniska effektiviteten på fartyget. EEXI och EEDI är väldigt lika i hur de beräknas och ger båda ett uppskattat värde på fartygets energieffektivitet i enheten gram koldioxidutsläpp per tonsjömil. Värdet beräknas för varje fartyg utifrån flertalet parametrar om fartyget, däribland storleken på huvudmotorer, storlek på hjälpmotorer, fartygets fart, motorers effektivitet, fartygstyp och andra tekniska parametrar (IMO, 2018a; MEPC, 2021b). Detta framräknade värde jämförs med en kravnivå som räknas fram utifrån konstanter, bestämda av IMO, baserade på fartygstyp, och storlek. Denna kravnivå ökar även över tid. Dessa två regleringar är designade för att öka fartygets tekniska effektivitet och skiljer sig i att EEDI innehåller fler designparametrar, så som skrovform som endast kan ändras innan fartyget är byggt, än EEXI (MEPC, 2021f). Regleringen *Carbon Intensity Indicator* (CII) fokuserar, till skillnad från EEDI och EEXI, i stället på fartygens operationella effektivitet (Longva et al., 2021).

Marknadsbaserade åtgärder (MBM) har diskuterats vid ett flertal tillfällen inom IMO men man har ännu inte kunna komma överens om sådana åtgärder. Marknadsbaserade åtgärder syftar på när marknaden sätter priset på rätten att släppa ut ett ämne, till exempel koldioxid, i atmosfären på en marknadsplats med en begränsad mängd utsläppsrätter. Därmed blir motivationen för att sänka utsläppen större då det skulle innebära en kostnadsbesparing (Lagouvardou et al., 2020). På IMO-nivå går det långsamt, när Marshall- och Salomonöarnas inläga till MEPC 77 mötet i november 2021 presenterades, förkastades förslaget om en avgift på 100 amerikanska dollar per utsläppt ton koldioxid. Detta till en förmån om en avgift på 0,7 amerikanska dollar per utsläppt ton koldioxid (MEPC, 2021g; Shaw et al., 2021). Summor som kan jämföras i skrivande stund med de 89 euro, motsvarande 100 amerikanska dollar, som utsläppsrätter för ett ton koldioxid kostar i EU:s system för handel med utsläppsrätter (EU ETS) (TRADING ECONOMICS, 2022).

Ett uppdaterat EU ETS planeras utvidgas till att även gälla sjöfarten med start år 2023 (EU, 2021b; Reuters, 2021). Regionala och nationella regleringar likt EU ETS riskerar på sikt att inskränka IMO:s inflytande över sjöfarten (Psaraftis & Kontovas, 2021; Shaw et al., 2021). Det finns samtidigt ett ökat intresse från investerare, banker och andra finansiella institutioner att investera i hållbarhet vilket på sikt kan ändra förutsättningarna för sjöfarten att få pengar till investeringar som inte tar utsläpp av växthusgaser i beaktning (Nordea, 2021). Även befraktare visar ett allt större intresse för växthusgasutsläpp och flera av världens största befraktare har skrivit på Sea Cargo Charter (2020). Den innehåller 4 principer om att undertecknare ska bedöma sin klimatpåverkan, ta ansvar för den och att vara transparent med sin påverkan. Sea Cargo Charter i sig kommer inte driva förändringen framåt men visar likväl att det finns ett ökande intresse. Utöver regleringar från IMO och EU finns det frivilliga miljöindex. Clean Shipping Index är ett sådant frivilligt miljöindex och tar hänsyn till fartygs koldioxid-, kväveoxid-, svavel- och partikelutsläpp, mängden använda kemikalier samt vatten- och avfallshantering (IVL Svenska Miljöinstitutet, 2022).

2.2 Koldioxidintensitet

Koldioxidintensitet är ett mått på hur stark relationen är mellan koldioxidutsläpp och en annan parameter. Exempelvis används det som ett mått på länders koldioxidutsläpp i förhållande till deras bruttonationalprodukt (Kander, 2002). Inom sjöfarten används koldioxidintensitet som ett mått på hur mycket koldioxid ett fartyg släpper ut i förhållande till ett visst arbete. Då fartyg nästan uteslutande drivs av fossila bränslen är begreppet nästintill synonymt med energiintensitet (Faber et al., 2020). En relaterad term är växthusgasintensitet som även inkluderar fler växthusgaser så som metan, lustgas och andra utöver enbart koldioxid (OECD, 2022). Wang et al. (2021) belyser paradoxer kring fyra olika metoder för att beräkna koldioxidintensitet inom sjöfarten, inklusive uppsatsens metod för CII-beräkning som benämns; årlig effektivitetskvot, AER. De tre andra metoderna Wang et al. (2021) undersökte var baserade på koldioxidutsläpp per tonsjömil, koldioxidutsläpp per årlig seglad distans samt koldioxidutsläpp per årlig seglad tid. Efter Wang et al. (2021) publicering har metoden för CII-beräkning beslutats, vilket är uppsatsen beräkningsmetod, AER, årlig effektivitetskvot.

Innan metoden för CII-beräkningen beslutades har den diskuterats flitigt på MPEC-mötena, genom inlagor till olika underkommittémöten inom IMO (MEPC, 2021g). Faber et al. (2021) har utrett CII å dansk sjöfarts vägnar och lyfter fram kostnaderna av införandet av CII för containerfartyg. Detta ingår som ett beslutsunderlag för IMO och införandet av CII. Underlaget och utredningen belyser framför allt kostnaden för containerfartyg med de nya regleringarna, samt en önskan om att kunna fördela ut CII-betygen på en hel flotta i stället för varje enskilt fartyg för att på det sättet få ned kostnaden för rederiet. Även om detta underlag till större delarna är en påverkanstext beställd av lobbyorganisationen Danske Rederier så belyser den viktiga kostnadsaspekter med införandet av CII.

CII-regleringen är skapat för att representera snittet av den globala flottan. Just därför kan det då uppkomma, som ICS & WCS (2021) kallar, geografisk diskriminering. I en inlaga till IMO har de framfört att kylfartyg kommer dra mer bränsle i varmare klimat och mindre i kallare. På så sätt blir CII-regleringen orättvis för de redarna och befraktarna som opererar och trafikerar på varmare breddgrader jämfört med motsvarande i kallare klimat.

Även om kostnaden kommer vara stora för rederierna, så är det viktigt att visa på vilka åtgärder som har högst åtgärdspotential. Nepomuceno de Oliveira et al. (2022) visar på vilka åtgärder som kan göras för att minska växthusgasutsläpp kopplat till åtgärdernas minskningskostnad. Rapportens metod använde en litteraturoversikt och sammanställde de åtgärder med mest potential att nå IMO:s 2050-mål om halverade växthusgaser. Nepomuceno de Oliveira et al. (2022) visar på att bränsle utan koldioxidutsläpp har den högsta reduktionspotentialen, följt av skrovform och hastighetsreduktion. För att ta fram effektiva åtgärder med hög och kostnadseffektiv åtgärdspotential krävs forskning, som Knowler (2021) pekar på. Det finns ett stort behov av forskning och utveckling för att kunna möta IMO:s energieffektivitetskrav samt dess halveringsmål år 2050, särskilt när CII-regleringen träder i kraft 2023 Knowler (2021).

2.3 Carbon Intensity Indicator (CII)

CII är ett betygssystem som ger fartyg ett betyg baserat på dess koldioxidintensitet. Intensiteten bedöms baserat på fartygs koldioxidutsläpp, storlek och dess seglade distans under ett år. Enligt IMO ska ett fartygs koldioxidutsläpp beräknas genom att mäta bränsleförbrukningen för varje bränsle som förbränns ombord under året och utifrån detta; beräkna de totala koldioxidutsläppen (MEPC, 2021c). Alla fartyg med en dräktighet över 5000 ska rapportera in denna data via DCS (IMO, 2016) vilket innebär att 85% av sjöfartens utsläpp inkluderas i CII-regleringen (MFAME, 2017). På så vis täcker CII visserligen en klar majoritet av världens tonnage men IMO:s mål om halvering av växthusgaser innefattar likväl samtliga världens fartyg, detsamma gäller effektivitetsmålen om 40% och 70% minskad koldioxidintensitet (IMO, 2018b).

Wang et al. (2021) visar på en paradox gällande AER med ett exempel för ett bulkfartyg. Detta fartyg har 80 000 i dödvikt och seglar med en genomsnittshastighet på 13 knop. Bränsleförbrukningen är 0,1095 ton/sjömil, ett ton tjockolja (HFO) motsvarar 3,114 ton koldioxid. Med en årlig tillryggalagd sträcka på 2766 sjömil gör fartyget inga ballastresor utan har en optimerad ruttplanering. För år 2023 erhåller fartyget ett CII-betyg motsvarande C. År 2024 med en reduktionsfaktor på 2% kan fartyget köra onödiga ballastresor motsvarande 335,8 sjömil och behålla sitt C-betyg. Detta kommer då att medföra onödiga koldioxidutsläpp för ett bättre betyg. Artikeln visar att alla diskuterade metoder för att beräkna CII i vissa avseenden kan bidra till ökade koldioxidutsläpp.

2.3.1 Beräkning av fartygs koldioxidintensitet

Första steget för att bedöma ett fartygs CII-betyg är att beräkna värdet koldioxidutsläpp per dödviktston, benämnt $CII_{VÄRDE}$. Denna beräkning visas i (1) där fartygets totala koldioxidutsläpp under året står i täljaren. Nämnaren innehåller den seglade distansen multiplicerat med dess storlek/kapacitet mätt i dödviktston eller dräktighet enligt Tabell 2 (MEPC, 2021c).

$$CII_{VÄRDE} = \frac{\text{Fartygets årliga koldioxidutsläpp}}{\text{Årlig seglad distans} \cdot \text{Kapacitet}} \quad (1)$$

2.3.2 Referensnivå år 2019

CII bygger på att varje fartygs $CII_{VÄRDE}$ jämförs mot den genomsnittliga koldioxidintensiteten för ett fartyg av samma storlek och typ år 2019. Då fartyg även kommer byggas efter år 2019 används i stället för historiska data om specifika fartyg en schablonmässig beräkning för att ta fram hur effektivt ett visst fartyg hade varit år 2019, detta beräknas enligt ekvation (2) tillsammans med parametrarna i Tabell 2. Resultatet av beräkningen blir ett genomsnittligt CII-referensvärde, CII_{REF} , för ett fartyg av samma fartygstyp och storlek år 2019 (MEPC, 2021d), detta är grunden för CII.

$$CII_{REF} = a \cdot \text{storlek}^{-c} \quad (2)$$

Tabell 2*Parametrar för att beräkna ett fartygs referensnivå 2019*

Fartygstyp		Storlek	a	c
Bulk	>279 000 DWT	279 000	4745	0,622
	<279 000 DWT	DWT	4745	0,622
Gastanker	>65 000 DWT	DWT	14405E7	2,071
	<65 000 DWT	DWT	8104	0,639
Tankfartyg		DWT	5247	0,610
Containerfartyg		DWT	1984	0,489
Torrlastfartyg	>20 000 DWT	DWT	31 948	0,792
	<20 000 DWT	DWT	588	0,3885
Kylfartyg		DWT	4600	0,557
Kombinationsfartyg		DWT	40 853	0,812
LNG-tanker	>100 000 DWT	DWT	9,827	0
	65 000–100 000 DWT	DWT	14479E10	2,673
	<65 000 DWT	65 000	14479E10	2,673
Fordonsfartyg		GT	5739	0,631
Roro-fartyg		DWT	10 952	0,637
Ropax-fartyg		GT	7540	0,587
Kryssningsfartyg		GT	930	0,383

Kommentar. Värden för att beräkna ett fartygs genomsnittliga koldioxidintensitet år 2019. Används ihop med (2) för att beräkna CII_{REF} (MEPC, 2021d).

2.3.3 Reduktionsfaktor

I kombination med CII_{REF} används en reduktionsfaktor. Syftet med reduktionsfaktorn är att gradvis höja kraven på fartygens koldioxidintensitet. Beräkningen av den reducerade koldioxidintensiteten som utgör grunden för CII betygssystemet, CII_{KRAV} , visas i ekvation (3) där värdet Z är reduktionsfaktorn i Tabell 3. Nivån på reduktionsfaktorn är bestämd av IMO till och med år 2026 (MEPC, 2021e).

(3)

$$CII_{KRAV} = \left(1 - \frac{Z}{100}\right) \cdot CII_{REF}$$

Tabell 3*Reduktionsfaktorn till och med 2026*

År	Reduktionsfaktor relativt 2019 (Z)
2023	5%
2024	7%
2025	9%
2026	11%

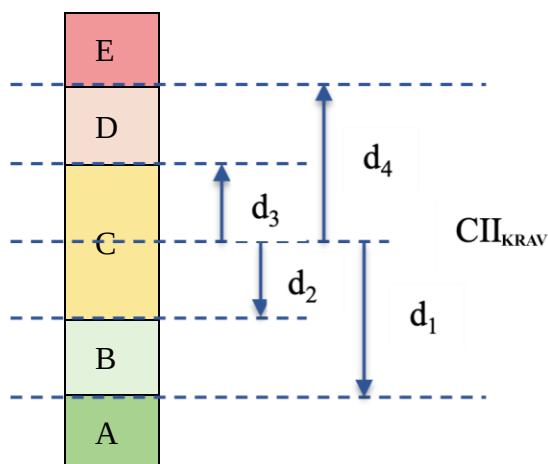
Kommentar. Utdrag ur MEPC (2021d).

2.3.4 Betygsnivåer

Runt den för fartyget framräknade CII_{KRAV} spänns betygsintervall upp likt Figur 1 visar. Intervallen för betygsgränserna beräknas genom att multiplicera CII_{KRAV} med exponenter från Tabell 4 beroende på det givna fartygets typ och storlek (MEPC, 2021f).

Figur 1

CII-betygsillustration



Kommentar. Figuren visar betygsfördelning runt CII_{KRAV} (MEPC, 2021e).

Tabell 4

Koefficienter för att beräkna fartygs betygsnivåer utifrån CII_{KRAV}

Fartygstyp			Storlek				Betygsexponenter			
							d1	d2	d3	d4
Bulk			DWT				0,86	0,94	1,06	1,18
Gastanker	>65 000		DWT				0,81	0,91	1,12	1,44
	<65 000		DWT				0,85	0,95	1,06	1,25
Tank			DWT				0,82	0,93	1,08	1,28
Containerfartyg			DWT				0,83	0,94	1,07	1,19
General cargo			DWT				0,83	0,94	1,06	1,19
Kylfartyg			DWT				0,78	0,91	1,07	1,20
Kombinationsfartyg			DWT				0,87	0,96	1,06	1,14
LNG-tanker	>100 000 DWT		DWT				0,89	0,98	1,06	1,13
	<100 000 DWT		DWT				0,78	0,92	1,10	1,37
Fordonsfartyg			GT				0,86	0,94	1,06	1,16
Roro-fartyg			DWT				0,66	0,90	1,11	1,37
Ropax-fartyg			GT				0,72	0,90	1,12	1,41
Kryssningsfartyg			GT				0,87	0,95	1,06	1,16

Kommentar. Varje fartygstyp har egna betygsintervall (MEPC, 2021f).

Slutligen avgörs betyget för varje fartyg genom att jämföra framräknade $CII_{VÄRDE}$ med intervallen för varje betyg. Det intervallet i vilket det givna fartygets $CII_{VÄRDE}$ hamnar avgör dess betyg (MEPC, 2021f).

2.4 Utsläppsfaktorer

Koldioxid (CO_2) är den vanligaste förekommande växthusgasen i atmosfären och även den växthusgas som människan släpper ut mest (Edenhofer et al., 2014). Det finns dock andra växthusgaser utöver just koldioxid som förekommer bland sjöfartens växthusgasutsläpp, däribland metangas (CH_4) och lustgas (N_2O) (Singh, 1995). CII-betygssystemet baseras endast på CO_2 -utsläpp (Faber et al., 2020).

Olika växthusgasutsläpp har olika påverkan på klimatet och för att kunna jämföra utsläpp av olika växthusgaser mot varandra används måttet *Global Warming Potential* (GWP) med enheten koldioxidekvivalenter, CO_2e . Basen för CO_2e är, som man kan förvänta sig, CO_2 som har förhållandet $1 \text{ CO}_2 = 1 \text{ CO}_2\text{e}$. Metangas (CH_4) har enligt FN:s klimatpanel (IPCC) förhållandet $1 \text{ CH}_4 = 84 \text{ CO}_2\text{e}$ över en 20-årsperiod (GWP20) eller $1 \text{ CH}_4 = 28 \text{ CO}_2\text{e}$ över en 100-årsperiod (GWP100) (Pachauri et al., 2014). Anledningen till denna styrkeskillnad beroende på tidsperioden beror på att CH_4 bryts ner i atmosfären till skillnad från CO_2 som är stabilare (Faber et al., 2020; Pachauri et al., 2014).

Det råder dock en viss oenighet över det exakta värdet som bör användas för metan och olika studier använder olika värden. De flesta värden ligger dock i intervallet $1 \text{ CH}_4 = 21\text{--}40$ för GWP100. Ibland inkluderas även de följeffekter som förstärker påverkan på klimatet, i utsläppsfaktorerna. Ännu större osäkerhet råder dock över dessa värden (Morton, 2020). Tabell 5 visar GWP20-förhållandet mellan CO_2 och CH_4 för bränslena tjockolja (HFO), marindiesel (MDO) och flytande naturgas (LNG). Två olika LNG-värden har inkluderats, genomsnittet syftar på den genomsnittliga bränsleförbrukningen från hela världens LNG-drivna flotta. Otto-MSD baseras specifikt på den populära motortypen *Otto Medium Speed Diesel* och representerar det fall med störst metanutsläpp. GWP20-värdet som visas i Tabell 5 beräknades baserat på utsläppsmängden för olika bränslen (Faber et al., 2020) tillsammans med faktorer för att bestämma ett GWP20-värde enligt Pachauri et al. (2014).

Tabell 5

Utsläppsfaktorer för tjockolja (HFO), marin dieselolja (MDO) och flytande naturgas (LNG) i (kg CO_2e /kg bränsle) enligt GWP20.

Bränsle (vikt)	CO_2	CH_4	Totalt
HFO	3,114 CO_2e	0,004 CO_2e	3,115 CO_2e
MDO	3,206 CO_2e	0,004 CO_2e	3,210 CO_2e
LNG (Genomsnitt)	2,755 CO_2e	1,005 CO_2e	3,760 CO_2e
LNG (Otto-MSD)	2,755 CO_2e	2,962 CO_2e	5,717 CO_2e

Kommentar. LNG (Genomsnitt) syftar på de genomsnittliga utsläppsfaktorerna från LNG-drivna fartyg så som den används i IMO:s top-down metod. LNG (Otto-MSD) syftar på utsläppsfaktorerna från LNG-motortypen Otto-MSD (Faber et al., 2020; Pachauri et al., 2014).

3 METOD

Inhämtning av bakgrundsmaterial och tidigare forskning var uppsatsens första steg. Det fanns ett fåtal författare som hade publicerat vetenskapliga artiklar med betygssystemet CII som primärt ämne och ett större antal som hade det som sekundärt ämne. Inledningsvis var det av vikt att förstå IMO:s protokolldokument från MEPC-mötena och beslutsgången hur och när CII-systemet skall införas. Inhämtning gjordes via IMO:s databas, imodocs.org, samt publicerad forskning via Chalmers biblioteks databasverktyg. Söktermer som användes för materialinhämtning: "CII", "CII AND shipping", "CII AND IMO", "Carbon Intensity Indicator". Eftersom CII-regleringen är under utveckling och är ett relativt nytt ämne att forska på, fanns det en anledning att kontinuerligt söka efter nypublicerade artiklar i ämnet. Detta gjordes under uppsatsens gång, från september 2021 till februari 2022.

Uppsatsens analysmetod använde en sekundär kvantitativ dataanalys. Det är en analysmetod av data som ursprungligen har samlats in för ett annat ändamål av en annan forskare eller organisation. Anledningarna till detta är flerdolda; kostnaden och komplexiteten att sammanställa data självständigt minskar samt tillgänglighetsfaktorn som erbjuds i redan existerande databaser är stora (MacInnes, 2020).

3.1 Data

De beräkningar som utförts i denna uppsats bygger på data från EU:s övervakning, rapportering och verifiering av koldioxidutsläpp från sjötransporter, EU MRV. Dessa data samlas endast in för fartyg större än 5000 i bruttodräktighet, vilket inte medför ett problem då det är den gräns som CII-betygssystemet har. MRV-data tillhandahålls för allmänheten i Excelformat på EU:s hemsida (EU, 2021a). I denna Excelfil finns datapunkter om 12 362 fartyg varav 10 978 utgör uppsatsens beräkningspopulation för år 2019 när avgränsningar utesluts. Datapunkterna inkluderar bland annat fartygsnamn och IMO-registreringsnummer vilket identifierar enskilda fartyg. Dessutom innehåller MRV de, för denna uppsats, viktiga datapunkterna koldioxidutsläpp och total bränsleförbrukning (Europaparlamentet, 2015).

Vissa specifika datapunkter som krävs för att besvara frågeställningen finns inte uttryckligt specificerade, däribland den seglade distansen och hur mycket av olika bränsletyper som förbrukats. Dessutom saknas information helt om dödvikt och dräktighet (EU, 2021a).

Seglad distans beräknades från datapunkterna *Total bränsleförbrukning [mt]* och *Årlig medelbränsleförbrukning [kg / sjömil]* enligt ekvation(4).

$$Seglad_{distans} = \frac{Bränsleförbrukning_{total} \cdot 1000}{Bränsleförbrukning_{årlig} \text{ per distans}} \quad (4)$$

Vidare kompletterades Excelfilen med fartygens dödvikt och dräktighet med hjälp av den kommersiella databasen Sea-web (IHS Maritime & Trade, 2021). Från Sea-web exporterades IMO-registreringsnummer, dödvikt och dräktighet genom att söka efter alla, i Excelfilen, fartyg baserat på IMO-registreringsnummer. Slutligen infogades exporterade data in i Excelfilen genom att matcha IMO-registreringsnumren med varandra.

För vissa fartyg är MRV-data inte komplett och vissa datapunkter som är nödvändiga för CII-beräkningar är tomma eller innehåller "N/A" och "Division by zero!" i stället för ett siffervärde. Dessa fartyg inkluderades därför inte i vidare beräkningar. En sammanställning av dessa värden finns i Bilaga 1. Totalt 10 662 fartyg, motsvarande 86,2% av ursprungliga 12 362 fartyg, återstod i MRV-populationen när både avgränsade och felaktiga fartygsvärden utesluts.

3.2 Reduktionsfaktorer

Då reduktionsfaktorn för CII utgår från år 2019, och inte år 2008, är det nödvändigt att räkna om IMO:s mål om 40% och 70% reduktion jämfört med år 2008. Mellan år 2008 och 2019 minskade koldioxidintensiteten med 23,6%. Därmed återstår 21,5% mellan år 2019 och 2030 för att uppnå 40% målet vilket är det värde som användes som reduktionsfaktor för år 2030. Denna beräkning utfördes av IMO i MEPC (2021d).

Enligt uppsatsens frågeställning skall även IMO:s strävan efter 70% reduktion av koldioxidintensitet undersökas. Metoden för att beräkna reduktionsfaktorn för målet om 70% är samma som IMO använder för att beräkna 2030 års reduktionsfaktor ovan. Enligt ekvation (5) tas 2050 års reduktionsfaktor fram, som sedan används för att beräkna CII-betygen för år 2050. Denna beräkning motsvarar den som utfördes av IMO för år 2030 (MEPC, 2021e). I beräkningen syftar variabeln $R_{sjöfart2019}$ på den totala reduktionen, i procent, av koldioxidintensiteten som sjöfarten uppnått mellan åren 2008 och 2019. $eR_{sjöfart2050}$ syftar på den resulterande reduktionen med 2019 år som bas fram till år 2050 som krävs för att uppnå målet.

$$eR_{sjöfart2050} = \frac{70\% - R_{sjöfart2019}}{1 - R_{sjöfart2019}} = \frac{70\% - 23,6\%}{1 - 23,6\%} = 23,6\% \quad (5)$$

I Tabell 6 presenteras reduktionsfaktorn Z, relativt 2019 års nivå, från första året för införandet av CII till år 2050 som är uppsatsens sista beräkningsår (MEPC, 2021e).

Tabell 6

Reduktionsfaktorer för att beräkna CII_{KRAV}

År	Reduktionsfaktor 2019 (Z%)	Reduktionsfaktor 2008
2019	0%	23,6%
...	...	...
2023	5%	
2024	7%	
2025	9%	
2026	11%	
...	...	...
2030	21,5%	40%
...	...	...
2050	60,7%	70%

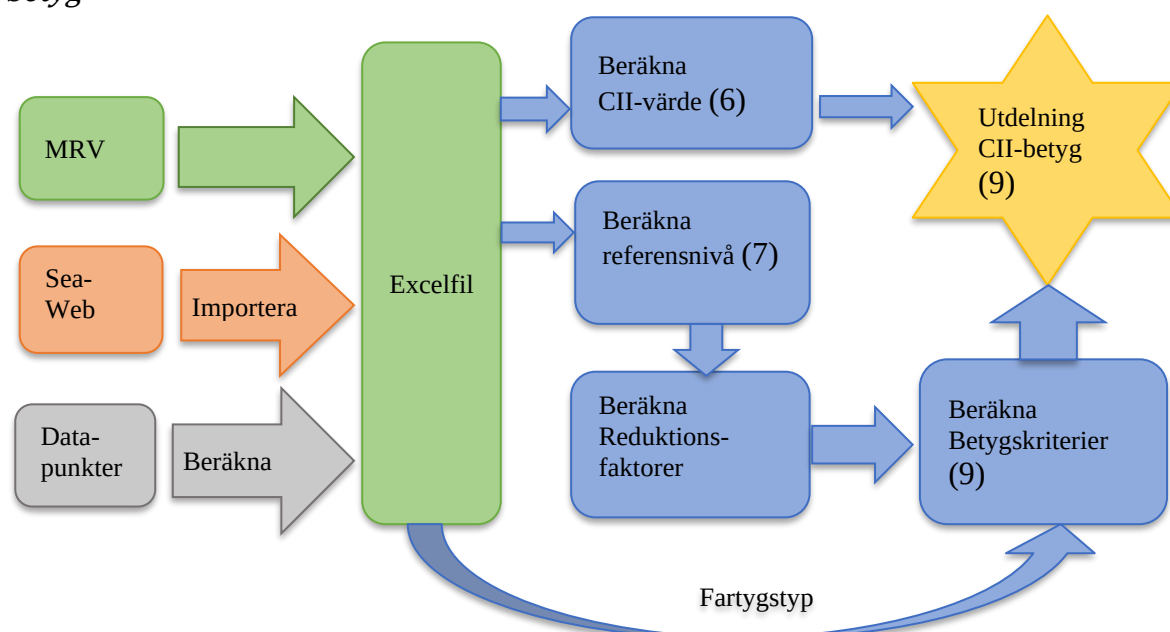
Kommentar. Reduktionsfaktorer relativt 2019 som är bestämda av IMO fram till och med 2026. Reduktionsfaktorer för 2030 och 2050 baseras på beräkningar enligt Kapitel 5 i (MEPC, 2021e).

3.3 Beräkning av CII

I tidigare kapitel finns all teori och metodik som behövs för att beräkna de värden som krävs för att tilldela ett fartyg ett visst betyg. Beräkningarna av ett fartygs CII-betyg gjordes i Excel-filen i 4 steg för varje fartyg enligt kapitel 2.3 så som visas i de blå rutorna i Figur 2. Dessa 4 steg beskrivs nedan i ekvationer (6)-(9).

Figur 2

Flödesdiagram över beräkningsgången i uppsatsen från datasammanställning till CII-betyg



Beräkning av ett fartygs CII-värde med använda variabler, visas i ekvation (6). Detta är samma som ekvation (1) men med datapunkter insatta. Täljaren är direkt från MRV tillsammans med en enhetsomvandling från ton till gram. I nämnaren är *Seglad Distans* redan framräknat enligt (4). Det använda storleksvärdet beror på fartygstypen enligt Tabell 2 och finns tillagda i Excel-filen så som beskrivs under kapitel 3.1. Denna beräkning gjordes en gång för varje fartyg.

$$CII_{VÄRDE} = \frac{Total\ CO_2 - utsläpp \cdot 1\ 000\ 000}{Seglad\ Distans \cdot Storlek} \quad (6)$$

Beräkning av fartygens referensvärde gjordes enligt (7) som visar samma ekvation som (2) men med insatta datapunkter. Storleksvärdet beror på fartygstypen enligt Tabell 2 som ovan. Variablerna a och c är enligt Tabell 2. Denna beräkning gjordes en gång för varje fartyg.

$$CII_{REF} = a \cdot Storlek^{-c} \quad (7)$$

Beräkning av fartygens kravnivå för åren 2023, 2030 och 2050 gjordes enligt ekvation (8). Ekvationen är densamma som (3) med insatta Z -värden från Tabell 6 för åren 2023, 2030 och 2050. Dessa beräkningar gjordes en gång för varje fartyg och årtal.

$$\begin{aligned}
CII_{KRAV2023} &= \left(1 - \frac{Z}{100}\right) \cdot CII_{REF} = \left(1 - \frac{5}{100}\right) \cdot CII_{REF} \\
CII_{KRAV2030} &= \left(1 - \frac{Z}{100}\right) \cdot CII_{REF} = \left(1 - \frac{21,5}{100}\right) \cdot CII_{REF} \\
CII_{KRAV2050} &= \left(1 - \frac{Z}{100}\right) \cdot CII_{REF} = \left(1 - \frac{60,7}{100}\right) \cdot CII_{REF}
\end{aligned}
\tag{8}$$

Slutligen tilldelades betyg till varje fartyg enligt algoritmen i (9). $CII_{VÄRDE}$ är beräknat enligt (6), d1-d4 beror på fartygstyp och storlek enligt Tabell 4 och de tre CII_{KRAV} värdena beräknades enligt (8). Villkoret för varje betyg står till höger på varje rad och när villkoret är sant får fartyget betyget till vänster om kommatecknet. Algoritmen läses rad för rad uppifrån och ner, när ett villkor är sant tilldelas fartyget det betyget och resterande rader beräknas ej. *RESTERANDE* för E betyder i praktiken $CII_{VÄRDE} \geq d4 \cdot CII_{KRAV2023,2030,2050}$. Denna ekvation löstes tre gånger för varje fartyg med de tre olika varianterna av CII_{KRAV} .

$$CII = \begin{cases} A, & CII_{VÄRDE} < d1 \cdot CII_{KRAV2023,2030,2050} \\ B, & CII_{VÄRDE} < d2 \cdot CII_{KRAV2023,2030,2050} \\ C, & CII_{VÄRDE} < d3 \cdot CII_{KRAV2023,2030,2050} \\ D, & CII_{VÄRDE} < d4 \cdot CII_{KRAV2023,2030,2050} \\ E, & RESTERANDE \end{cases}
\tag{9}$$

Uppsatsens nästa steg sammanställde resultaten i ett tabulerat listformat. För att möjliggöra enklare jämförelser mellan olika fartygstyper beräknades ett snittvärde för varje fartygstyp. Snittvärdet beräknades för kvoten av varje fartygs $CII_{VÄRDE}$ och CII_{KRAV} . Eftersom MRV innehåller en del avvikande värden gör även dessa kvoter det. För att utesluta dessa avvikande kvoter beräknades medelvärdet på de mittersta 80% av populationen så som visas i ekvation (10).

$$CII_{MEDEL} = \frac{\sum_{i=n_{10}\%}^{n_{90}\%} \frac{CII_{VÄRDE}}{CII_{KRAV}}}{n_{80\%}}
\tag{10}$$

Ekvationens täljare visar ett summatecken, stora sigma, med detta summatecken menas att kvoterna för alla fartyg summeras. Variablerna $n_{90\%}$ och $n_{10\%}$ visar att de 10% avvikande största och minsta kvoterna i populationen för varje fartygsgrupp inte tas med i summeringen. Med variabeln $n_{80\%}$ menas antalet som utgör 80% av populationen. Beräkningen utfördes av Excels medelvärdestrimfunktion (Microsoft Corporation, 2022c).

CII_{MEDEL} användes sedan för att ge varje fartygstyp ett medelbetyg med hjälp av Tabell 4 på samma sätt som är gjort för varje enskilt fartyg. Detta snittvärde motsvarar de värden som används för att avgöra betygen och som finns i Tabell 4. Ett snittvärde på 1 innebär att $CII_{VÄRDE}$ och CII_{KRAV} är lika för fartygstypen, vilket i sin tur motsvarar ett medelbetyg C enligt Tabell 4. Ett högre snittvärde än 1 motsvarar ett sämre medelbetyg, det vill säga antingen ett svagt C, D eller E. Ett lägre snittvärde än 1 motsvarar ett bättre betyg, alltså ett starkt C, B eller A.

3.3.1 Alternativ beräkningsmodell

För att undersöka hur betygen för LNG-drivna fartyg påverkas av alternativa beräkningar, som även inkluderar växthusgasen CH₄, behövde fartygens olika förbrukade bränslen beräknas. Första steget var att separera ut fartyg vars motorer kan drivas med LNG som bränsle. Detta gjordes med hjälp av data om varje fartygs bränsletyper från Sea-web, dessa filtrerades sedan fram i Excel-filen för fartyg med LNG som specificerat drivmedel.

För dessa fartyg beräknades förbrukningen av LNG och MDO med hjälp av ekvation (11) respektive (12). I dessa ekvationer är variablerna för koldioxidutsläpp samt total bränsleförbrukning från MRV och finns i Excel-filen. Konstanterna $CO_2\text{-faktor}_{MDO}$ och $CO_2\text{-faktor}_{LNG}$ är från Tabell 5. Diesel (MDO) användes i beräkningen i stället för tjockolja (HFO) då många LNG-drivna fartyg klarar även av att köra på diesel som sekundärt bränsle (Pavlenko et al., 2020). Beräkningen ger därmed endast en indikation på hur mycket bränsle som förbrukats men om något fartyg skulle förbruka HFO är utsläppsfaktorerna jämförbara med de MDO-bränslet ger. Följaktligen blir skillnaden närmast försumbar så som visas i Tabell 5 men det finns likväl en osäkerhet i beräkningen ifall eventuell HFO-förbrukning finns eller om MDO med ett annat kolinnehåll använts.

$$LNG_{förbrukning} = \frac{Total\ CO_2\ utsläpp - Total\ bränsle\ förbrukning \cdot CO_2\ faktor_{diesel}}{CO_2faktor_{LNG} - CO_2faktor_{diesel}} \quad (11)$$

$$MDO_{förbrukning} = Total\ bränsle\ förbrukning - LNG_{förbrukning} \quad (12)$$

Därefter beräknades fartygens totala CO₂e med denna bränsleinformation enligt (3). Totala CO₂ utsläpp är från Excel-bladet, bränsleförbrukningen från beräkningen ovan och CH₄-faktorn från Tabell 5.

$$CO_{2e_{total}} = Totala\ CO_2 - utsläpp + LNG_{förbrukning} \cdot CH_4faktor_{LNG} + MDO_{förbrukning} \cdot CH_4faktor_{MDO} \quad (13)$$

Efter detta gjordes beräkningen av CII_{VÄRDE} i (6) med värdet för CO₂e-total i stället för totala koldioxidutsläpp. Nya betyg bestämdes sedermera för fartygen med dessa nya CII_{VÄRDE}. Beräkningarna utfördes två gånger, en gång med utsläppsfaktorer för en genomsnittlig LNG-motor och en gång med utsläppsfaktorer för den vanligaste motortypen Otto-MSD (Pavlenko et al., 2020). Beräkningen utfördes endast för LNG-drivna fartyg.

3.4 CII-betygen jämfört med utfört transportarbete

För att undersöka hur förhållandet mellan det faktiska transportarbetet och de kapacitetsbaserade CII-betyg som beräknats i 0 ser ut behövdes data på fartygens fraktmängder. IMO har tagit fram en metod som liknar de CII-värden som redan beräknats. Metoden kallas *Energy Efficiency Operational Indicator* (EEOI) och kommer samlas in på frivillig basis av IMO som komplement till obligatoriska CII och kommer vara en del av fartygets SEEMP. MRV innehåller redan färdigberäknade datapunkter motsvarande EEOI och som beräknats enligt ekvation (14).

I ekvation (14) är täljaren fartygets totala koldioxidutsläpp under året och i nämnaren beräknas transportarbetet som seglad distans gånger variabeln x . Variabeln x är hur mycket last som fartyget har transporterat i snitt under året. Hur last mäts beror på fartygstypen. För Container/RORO-fartyg rapporterade hälften av fartygen last som volym i m^3 och hälften som massa i ton i MRV-datasetet. Därför exkluderades den fartygstypen, totalt 76 fartyg, från EEOI-beräkningarna. Gruppen resterande fartyg som rapporterar transporter i metriska ton innehåller fartygstyperna bulkfartyg, containerfartyg, kemikalietanker, kombinationsfartyg, gastanker, oljetanker, kylfartyg, ROPAX-fartyg, RORO-fartyg och fordonsfartyg (PCTC).

$$EEOI = \frac{\text{Total } CO_2 \text{ utsläpp}}{\text{Seglad distans} \cdot x} \quad \begin{cases} x = \text{passagerare } (n), & \text{Passagerarfartyg} \\ x = \text{volym } (m^3), & \text{LNG – tanker} \\ x = \text{massa } (mt), & \text{RESTERANDE} \end{cases} \quad (14)$$

Med hjälp av dessa värden för EEOI eftersöktes även här ett jämförbart medelvärde, som utesluter avvikande värden i MRV, som förstör en medelvärdesberäkning. Ett EEOI-medelvärde för varje fartygskategori och betygsgrupp beräknades därför med liknande metodik som beskrevs för snittvärdet i kapitel 0.

Beräkningen av medelvärdet för EEOI visas i ekvation (15). Ekvationens täljare visar ett summatecken, med detta summatecken menas att EEOI-värden summeras. Variablerna $n_{90\%}$ och $n_{10\%}$ visar att de 10% avvikande största och minsta EEOI värdena i populationen för varje betygsgrupp inte tas med i ekvationen. Med variabeln $n_{80\%}$ menas det antalet som utgör 80% av populationen. Beräkningen utfördes av Excels medelvärdestrimfunktion (Microsoft Corporation, 2022c).

$$EEOI_{MEDEL} = \frac{\sum_{i=n_{10\%}}^{n_{90\%}} EEOI_n}{n_{80\%}} \quad (15)$$

Vidare beräknades det matematiska sambandet mellan $EEOI_{MEDEL}$ och motsvarande CII-betyg för varje fartygskategori med hjälp av Excels korrelationsfunktion. Korrelationsfunktionen använder sig i sin tur av Pearsons korrelationsanalys (Edling & Hedström, 2003; Microsoft Corporation, 2022a).

Slutligen beräknades även ett medianvärde av EEOI per betyg och fartygsgrupp med hjälp av Excels medianfunktion (Microsoft Corporation, 2022b), även här gjordes en korrelationsberäkning för $EEOI_{MEDIAN}$ och motsvarande CII-betyg för varje fartygskategori likt ovan.

4 RESULTAT OCH ANALYS

I detta kapitel presenteras och analyseras hur EU:s fartygstrafik från 2019 presterar enligt CII-betygssystemet. En skärpning av betygssystemet fram till 2050 utvärderas också liksom alternativa sätt att beräkna koldioxidintensitet.

4.1 CII betyg för EU:s fartygstrafik enligt 2023-års betyg

Antal fartyg i EU:s fartygstrafik 2019 enligt MRV-data och hur de skulle klassas enligt CII-betygen 2023 redovisas i Tabell 7. Vid införandet av CII 2023 är reduktionsfaktorn endast 5% och resultatet blir därför centrerat runt snittvärdet 1 och typvärdet C för de allra flesta fartygskategorierna. Ett snittvärde på 1 betyder att fartygens utsläpp i snitt ligger i nivå med utsläppskravet för år 2023 och betyget C. Anledningen till denna centrerings kring snittet 1 är att CII har skapats med bas i den genomsnittliga koldioxidintensiteten för sjöfarten globalt år 2019 och är därför förväntat.

Tabell 7

CII-betyg för EU:s fartygstrafik 2019 enligt reduktionskraven för år 2023

Fartygstyper	A	B	C	D	E	Totalt	Typ-värde	Snitt-värde	Snitt-betyg
Bulkfartyg	416	531	1051	792	643	3433	C	1,03	C
Kemikalietanker	213	272	406	315	141	1347	C	1,01	C
Kombi.-fartyg	2	0	0	1	8	11	E	1,23	E
Containerfartyg	94	182	516	493	525	1810	E	1,10	D
Cont./RORO	6	10	49	6	5	76	C	0,99	C
Gastanker	48	60	95	113	24	340	D	1,04	C
LNG-Tanker	25	48	78	58	48	257	C	1,07	C-D
Oljetanker	292	378	533	488	271	1962	C	1,03	C
Passagerarfartyg	18	26	49	36	50	179	E	1,06	D
Kylfartyg	28	31	37	28	21	145	C	0,97	C
ROPAX-fartyg	35	71	105	102	80	393	C	1,11	C
RORO-fartyg	11	62	90	50	64	277	C	1,09	D
Fordonsfartyg (PCTC)	27	72	120	99	114	432	C	1,06	D
Totalt	1387	1983	3445	2816	2258	10 662	C	1,041	N/A

Kommentar. Tabellen visar antalet fartyg som får ett visst betyg år 2023 samt de totala antalet fartyg per fartygskategori. Dessutom finns ett typvärde för varje fartygskategori och ett snittvärde. Snittvärdet motsvarar faktorn som används för betygsgränserna i Tabell 4 och snittbetyget det betyg man får med snittvärdet. För LNG-tanker är betyg ett delat C-D då snittvärdet ligger emellan betygsgränserna för de olika storlekarna i Tabell 4. Med "Cont./RORO" syftas fartygstypen Container/RORO-fartyg.

Resultatet visar även att många fartyg får betyg E. Detta betyder inte att alla dessa fartyg kommer få ett underkänt betyg vid införandet 2023 men är en indikation på att väldigt många fartyg kommer att behöva ta till åtgärder för att uppnå betyg C eller högre.

Eftersom CII är skapat så att referensnivån ska representera snittet av den globala flottan bör det gå att uttyda skillnader mellan EU-trafik och resten av den globala trafiken. Den fartygstyp som presterar allra bäst är kylfartyg. Anledningen till det kan vara det som, i en inläga till IMO av ICS & WCS (2021), kallas geografisk diskriminering. Med det menas att kylfartyg drar mer bränsle i varma klimat och mindre i kallare, i och med att de genererar el från bränsle för att kyla sin last.

Fartygskategorierna kemikalietanker och oljetanker får ett relativt högt betyg. Anledningen till det är inte helt given men en åldersjämförelse av dessa fartyg i MRV med motsvarande fartyg i resten av världen baserat på en datakörning på Sea-Web-data ger en möjlig förklaring. Snittåldern för fartygen i MRV är 11,2 år vilken kan jämföras med åldern 16,7 år för övriga världens tankfartyg från databasen. Det kan vara så enkelt att nyare fartyg har lägre utsläpp och därför har högre betyg.

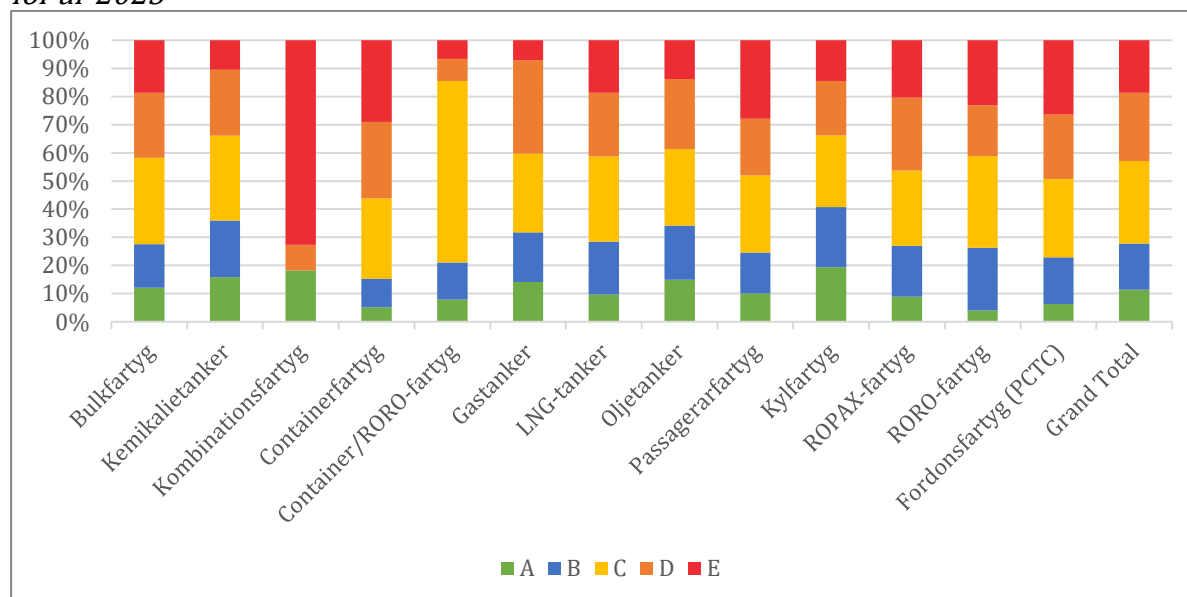
Även fartygskategorin containerfartyg sticker ut med ett väldigt lågt betyg där snittet ligger närmast ett starkt betyg D med ett typvärde på E. Detta är ett relativt lågt resultat och ingen uppenbar förklaring ligger nära till hands.

Figur 3 visar proportionerna mellan betygen och där är det främst fartygskategorin kombinationsfartyg som sticker ut med en klart övervägande andel som får betyg E. Dock så är det endast 11 fartyg som ingår i denna kategori blir en analys ej helt möjlig. Det kan dock vara så att CII-systemet behöver justeras för kombinationsfartyg, något som Norge (2021a) har skickat in en inläga om inför MEPC 77 i november 2021.

Figur 3 visar även att passagerarfartyg över lag får något lägre betyg än RORO/ROPAX-fartyg trots ett högre snittvärde tidigare för år 2023 i Tabell 7. Andelen passagerarfartyg som får betyg E är 5–8 procentenheter fler än för RORO/ROPAX-fartyg.

Figur 3

Proportioner per betyg och fartygstyp för EU:s fartygstrafik 2019 enligt reduktionskrav för år 2023

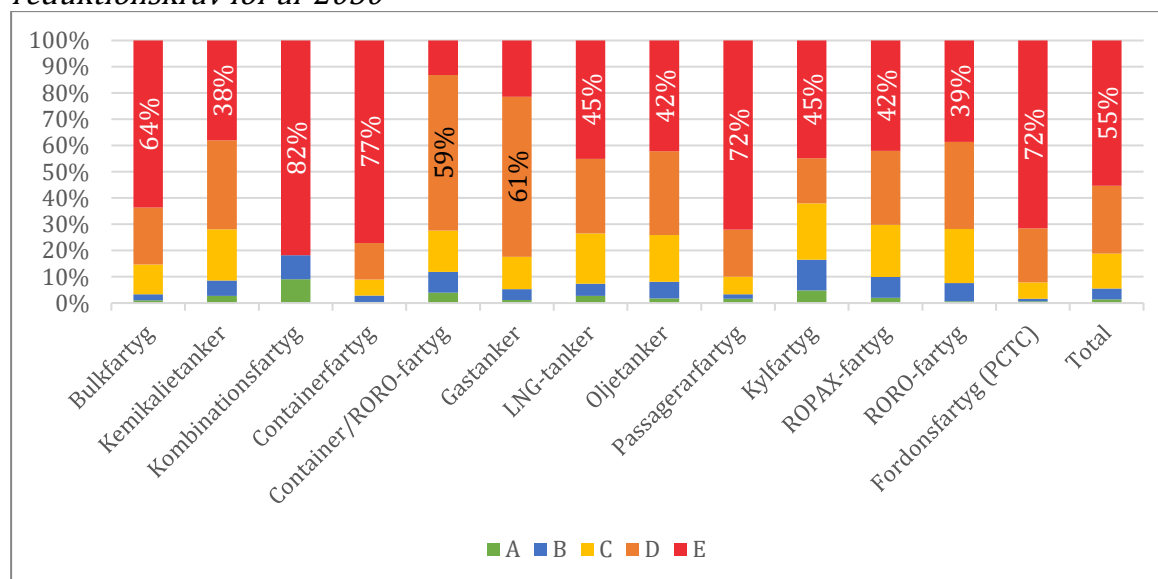


4.2 Utvärdering 2030–2050

När reduktionsfaktorn justeras till koldioxidintensitetsmålet 2030 i Figur 4 ser vi en proportionell sänkning av betygen. Andelen fartyg som får ett betyg högre än E är över 50% i flera större fartygskategorier, Bulk, Container och Fordonsfartyg (PCTC).

Figur 4

Proportioner per betyg och fartygstyp för EU:s fartygstrafik 2019 enligt antagna reduktionskrav för år 2030



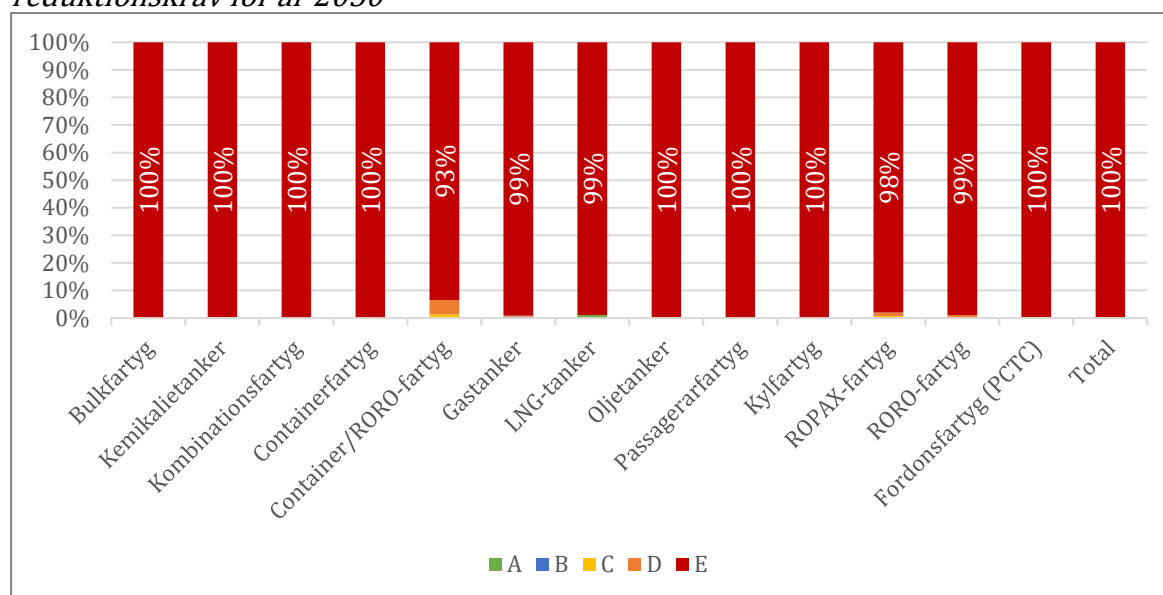
Kommentar. Detaljerade resultat finns i Tabell 12 i Bilaga 2.

Jämfört med passagerarfartygen får RORO/ROPAX-fartygen betydligt färre fartyg med betyg E än vad som var förväntat efter år 2023 års resultat. Till trots att det år 2023 fanns en skillnad, var den 5–8 procentenheter till passagerarfartygens nackdel. År 2030 har denna skillnad ökat till hela 30–33 procentenheter jämfört med RORO/ROPAX. Anledningen till detta är vid närmare analys den relativt generösa gränsen mellan betyg D och E för RORO/ROPAX som kolumn d4 i Tabell 4 visar. Det leder till ett resultat där passagerarfartyg får sämre betyg än RORO/ROPAX trots att passagerarfartyg har ett högre snittvärde år 2023.

Resultaten visar på ett liknande beteende för fartygsklassen gastanker som har 59% av fartygen i betygskategori D. Att varje fartygstyp har egna betygsgränser med stora skillnader sinsemellan försvårar jämförelser sinsemellan. Skillnaderna innebär även att vissa fartygstyper har en större frist innan de behöver uppdatera sin SEEMP än andra.

Figur 5

Proportioner per betyg och fartygstyp för EU:s fartygstrafik 2019 enligt antagna reduktionskrav för år 2050



Kommentar. Detaljerade resultat finns i Tabell 13 i Bilaga 2.

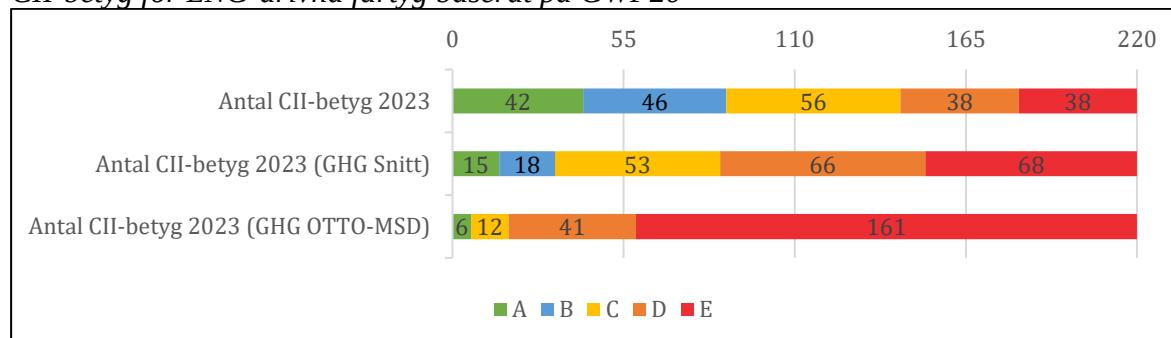
Resultaten i Figur 5 med den koldioxidintensitetsminskning som IMO strävar efter vid år 2050 ger ett entydigt resultat. Endast ett fåtal fartyg lever upp till ett godkänt betyg. Eftersom det är närmare 30 år tills 2050 så är det svårt att göra en rättvis analys utan en genomgång av teknikens förbättringar och djupare geopolitiska analyser. Det som går att utläsa med de fartyg som är i drift idag inom EU är att nästan alla skulle få betyg E.

4.3 LNG-resultat

När resultaten för reduktionskrav, år 2023, jämförs med CII-beräkningar där även växthusgasen metangas inkluderas för LNG-drivna fartyg, försämras betygen markant, se Figur 6. När utsläppsfaktorer används för en genomsnittlig LNG-motor minskar toppbetygen A och B med närmare 38%. Resultaten visar en liten minskning av antalet fartyg som får betyget C. Motsvarande minskningen för A och B ger en liknande markant ökning för betygsgrupperna D och E.

Figur 6

CII-betyg för LNG-drivna fartyg baserat på GWP20



Kommentar. Grafen visar uppdelningen av LNG-drivna fartyg vid beräkning av CII där endast koldioxidutsläpp räknas med och även när metanlipen från motorer som drivs av LNG räknas med. För att bedöma metanutsläppens styrka relativt koldioxid används GWP20.

När utsläppsfaktorerna för den motortypen, som de flesta LNG-fartyg har, Otto-MSD används blir resultaten än lägre. Resultaten visar på att endast 6 fartyg får betygen A och inget betyg delas ut för B. De fartyg som fick betyg D och E står för närmare 92% av alla fartyg. En betydlig försämring av betygen när metanutsläppen tas med i CII-beräkningarna påvisas.

4.4 Transportarbete och CII

Undersökningen av sambandet mellan CII-betygen och transportarbetet presenteras i Tabell 9. Resultaten visar på en tydlig koppling mellan CII-betyg och utsläpp per transportarbete för en del fartygsklasser. Men det finns flera undantag där fartygstyper får högre utsläpp per transportarbete med högre CII-betyg i stället för ett lägre. Även medianvärdet ger en liknande indikation enligt Tabell 9.

Tabell 8

EEOI-medelvärden per transportarbete uppdelat efter betyg

Fartygstyp	A	B	C	D	E	Relation
Bulkfartyg	7,3	7,9	8,5	9,4	11,2	1,0
Kemikalietanker	13,2	15,4	19,0	23,0	40,2	0,9
Containerfartyg	22,0	19,0	19,3	25,0	27,7	0,7
Gastanker	60,8	47,7	46,1	61,0	98,9	0,7
LNG-tanker	9,5	9,2	10,6	13,8	17,6	0,9
Oljetanker	7,8	8,1	9,7	11,0	21,7	0,8
Passagerarfartyg	543,2	695,2	704,7	887,9	719,3	0,7
Kylfartyg	190,5	59,4	58,2	74,6	95,4	-0,5
ROPAX-fartyg	230,6	216,5	275,5	353,7	508,6	0,9
RORO-fartyg	163,6	91,1	106,3	123,5	132,9	-0,2
Fordonsfartyg (PCTC)	83,0	59,9	62,0	64,2	74,4	-0,2

Kommentar. Kombinationsfartyg och Container/RORO-fartyg är bortsorterade från resultatet då de är för få fartyg för en rättvis snittberäkning. Enheten är gram koldioxid per transportarbete. Värdet anger CO₂/transportarbete som g/ton-sjömil.

Tabell 8 och Tabell 9 visar även att för fartygstyperna containerfartyg, gastanker, kylfartyg, ROPAX-och RORO-fartyg samt fordonsfartyg (PCTC) finns, bortsett från betyg A, en tydlig korrelation. För betyg A är dock utsläppen per ton-sjömil högre än för betyg B. I vissa fall till och med i nivå med, eller högre än, betyg D och E. Detta gäller för en tredjedel av antalet fartyg och två tredjedelar av fartygstyperna. En möjlig förklaring kan vara att fartyg utan last drar mindre bränsle och eftersom betygen baseras på fartygets kapacitet i stället för den faktiska mängden fraktad last. De fartyg som ökar utsläppen per transportarbete för A-betygen kan ha sin delförklaring i att dessa fartyg har en lägre utnyttjandegrad vilket ger lägre utsläpp per dödviktsmil. Denna paradox har tidigare visats teoretiskt möjlig av Wang et al. (2021). Norge (2021) har skickat en inlägga till MEPC kopplat till denna paradox, inlagan syftar dock specifikt på större modeller av vissa fartygstyper.

Tabell 9*EEOI-medianvärden per transportarbete uppdelat efter fartygstyp och betyg*

Fartygstyp	A	B	C	D	E	Relation
Bulkfartyg	6,8	7,7	8,2	9,1	10,4	1,0
Kemikalietanker	12,1	15,2	17,1	21,0	38,4	0,9
Containerfartyg	20,2	17,7	17,8	20,0	19,4	0,1
Cont./RORO-fartyg	30,2	10,2	8,7	8,4	60,8	0,4
Gastanker	61,6	34,7	36,1	49,6	72,2	0,4
LNG-tanker	7,1	9,1	10,4	12,2	13,9	1,0
Oljetanker	7,5	7,4	8,5	9,7	16,8	0,8
Passagerarfartyg	368,9	450,2	625,8	844,6	630,2	0,8
Kylfartyg	65,2	57,8	55,9	72,5	81,5	0,7
ROPAX-fartyg	218,7	159,0	186,8	206,4	436,9	0,7
RORO-fartyg	148,4	71,2	83,7	102,5	122,3	-0,1
Fordonsfartyg (PCTC)	55,3	53,1	55,0	58,9	66,1	0,8

När paradoxen undersöks närmare och transportarbetet jämförs med utnyttjandegraden i Tabell 10 syns att de högre EEOI-värden för A-betyg matchas med en lägre utnyttjandegrad. Fartygstyperna containerfartyg, gastanker, kylfartyg, ROPAX-fartyg samt fordonsfartyg (PCTC) har samtliga en lägre utnyttjandegrad för A-betygen än för B. Den lägre utnyttjandegraden kan eventuellt delvis förklara de högre EEOI-värden. Samtidigt syns en över lag jämn utnyttjandegrad, mätt i oavsett betyg för fartygstyperna Bulkfartyg, kemikalietanker, oljetanker och fordonsfartyg. För kemikalietanker och oljetanker är utnyttjandegraden dock lägre för betyg E än för något annat betyg. Utnyttjandegraden beräknades enligt genomsnittslast under året dividerat med dödvikten. För passagerarfartyg beräknades utnyttjandegraden enligt genomsnittspassagerare ombord dividerat med max antal passagerare.

Tabell 10*Utnyttjandegrad uppdelat efter fartygstyp och betyg*

Fartygstyp	A	B	C	D	E
Bulkfartyg	63%	63%	65%	63%	63%
Kemikalietanker	53%	54%	57%	51%	48%
Containerfartyg	46%	50%	54%	55%	55%
Gastanker	28%	36%	34%	34%	32%
Oljetanker	52%	54%	54%	54%	47%
Passagerarfartyg	75%	86%	85%	86%	85%
Kylfartyg	30%	38%	42%	34%	37%
RORO-fartyg	14%	29%	30%	37%	34%
Fordonsfartyg (PCTC)	26%	28%	28%	29%	27%

Kommentar. Utnyttjandegraden för fartygstyperna Container/RORO, LNG-tanker och ROPAX-fartyg kan inte beräknas då de rapporterar in lastad volym i stället för vikt till MRV. För passagerarfartyg beräknas utnyttjandegraden i andel passagerare.

5 DISKUSSION

Resultaten från den första frågeställningen, vilka CII-betyg fartygen får för åren för reduktionskraven för 2023 fram till 2050, visar att 63,9% av fartygen som ingår i uppsatsen får ett inledande godkänt betyg, C eller högre. Samtidigt får 36,1% därmed i ett icke godkänt betyg D eller E. De kommande korrektionsfaktorerna kan justera resultatet något men det vore överraskande om det drastiskt skulle förändra helhetsbilden. Sett över fartygstrafik 2019 var den genomsnittliga årliga sänkningen av koldioxidintensiteten under perioden 2008 till 2018 1,6% (MEPC, 2021e). Denna sänkning av koldioxidintensiteten om 1,6% varierade kraftigt från år till år och finns inte representerad i studien då fokus ligger på hur fartygen som existerar idag påverkas av införandet snarare än hur sjöfarten i stort hanterar den. Därmed är det relativt tydligt att många av dagens fartyg kommer att få ett icke godkänt betyg vid införandet av CII om de inte lyckas sänka sin koldioxidintensitet i tid till införandet. Om dessa fartyg inte lyckas förbättra sin intensitet tillräckligt för att uppnå ett godkänt betyg behöver de redan vid införandet ha en plan i sin SEEMP för hur fartyget ska uppnå ett godkänt betyg.

Exakt vad dessa planer kommer att innehålla återstår att se. I en genomgång av möjliga åtgärder konstaterar dock Mallouppas & Yfantis (2021) att effektivitetsförbättringar ligger närmast till hand före alternativa bränslen. Klassningssällskapet Det Norske Veritas (DNV) har samtidigt lyft fram vilka effektivitetsförbättrande åtgärder de tror på (Longva et al., 2021). I första hand är sänkt toppfart och ökad utnyttjandegrad något som är relativt enkelt att implementera och har en låg investeringskostnad. Idag kan vissa fartyg ligga vid ankar i dagar eller värsta fall i veckor i väntan på att få komma in till hamn. En högre utnyttjandegrad kan dock, paradoxalt nog, resultera i ett sämre CII-betyg då fartyg utan last i regel drar mindre bränsle per sjömil än ett med last (Wang et al., 2021). Med en optimerad ruttplanering kan fartyg i teorin hålla en lägre toppfart, men med en bibehållen genomsnittsfart under året, vilket minskar bränsleförbrukningen och utsläpp (Cariou, 2011). Dock ska en mer generell fartminskning, utöver det som kan uppnås med en optimerad ruttplanering, vägas mot hur CII-betyget påverkas av fart. En generellt lägre genomsnittsfart under året innebär att förutom att minska utsläppen i beräkningens täljare så minskar den seglade distansen i nämnaren vilket gör att CII inte förbättras linjärt med de minskade utsläppen.

Longva et al. (2021) lyfter även fram att skrovförbättringar är ett effektivt sätt att sänka utsläppen. Exempel på förbättringar är regelbunden skrovtvätt, effektivare båtbottnfärger för att minska ner skrovväxtligheten, samt mer optimerade skrovformer för att ge ett lägre motstånd genom vattnet. Andra åtgärder kan vara luftsmörjning av skrovet, ökad återvinning av spillvärme och optimering av motorer. Vidare kan en ökad användning av batterier och landström minska ner på behovet att generera elektricitet med hjälpmotorer när fartyget ligger till kaj eller ankar (Longva et al., 2021; Mallouppas & Yfantis, 2021).

Nästa åtgärdsnivå för att sänka utsläppen är alternativa bränslen. Dessa kan emellertid medföra oönskade effekter, som resultaten för LNG-drivna fartyg visar där en inkludering av utsläppt metangas kraftigt försämrar betygen. Dessa orepresenterade ämnen kan leda till utsläpp av växthusgaser i praktiken ökar samtidigt som koldioxidutsläppen i sig minskar. Även om metanutsläppen utesluts ur beräkningen är LNG som drivmedel ensamt ändå inte fullt tillräckligt för att uppnå målen på längre sikt. Detta trots en viss minskning av koldioxidutsläppen (Faber et al., 2020). En motivation för att investera i LNG-drivna fartyg, utöver den direkta minskningen av koldioxidutsläpp, är att de i framtiden kommer att kunna drivas med flytande biogas (LBG). Mallouppas & Yfantis (2021) konstaterar att biobränslen

idag verkar något mer konkurrenskraftiga jämfört med eldrift eller LNG med koldioxidinfångning och lagring. Idag är dock tillgången på biobränslet LBG mycket låg och även i framtiden finns det en begränsad mängd råvaror som kan användas för att tillverka bränslet på ett klimatvänligt sätt (Mallouppas & Yfantis, 2021; Pavlenko et al., 2020).

Ett av de mer radikala men i nuläget samtidigt mer nischade åtgärderna för att drastiskt minska sina utsläpp och förbättra sitt CII är batteridrift. Exempel på fartyg med batteridrift är ROPAX-fartygen Tycho Brahe och Aurora af Helsingborg som trafikerar linjen Helsingborg-Helsingör och nästan helt drivs av batterier som laddas i hamn (ABB, 2018). Dessa fartyg har därmed mycket låg bränsleförbrukning och är med betygen A respektive C år 2050 nästan de enda fartygen som uppnår ett betyg högre än D för 2050 års reduktionskrav (0). Samtidigt synliggör det resultatet att det finns en viss problematik kring hur betygsskalan för CII ser ut när den införs. Gränsen för att nå det högsta betyget A är endast 20%-35% lägre än snittet för hela flottan, vilket visas i Tabell 5. Därmed ter det sig en aning orättvist att fartyg som presterar i en klass för sig, likt de som just nämnts, får samma betyg som fartyg som släpper ut betydligt mer. Då CII är ett verktyg med kort åtgärdshorisont vore ett A-betyg dedikerat för fartyg med nära noll-utsläpp ett incitament att bygga just sådana fartyg redan idag. CII hade därmed redan från start belönat fartyg som utklassar konkurrensen i stället för att dessa behöver invänta framtida reduktionsfaktorer för att få ett mer representativt betyg.

Oavsett vilket bränsle som blir aktuellt framöver är analyser av hela livscykeln för bränslet avgörande. Livscykelanalys innebär att även växthusgasutsläpp från produktion och hantering av bränslet inkluderas (Bilgili, 2021). För att växthusgasutsläpp tidigt i produktionskedjan inte ska försummas är det därför viktigt att CII uppdateras för att inkludera även dessa utsläpp för att regleringen ska ge en så korrekt bild som möjligt.

CII existerar dock inte i ett vakuum och det är oundvikligt att i sammanhanget inte diskutera det som kallas marknadsbaserade åtgärder (MBM). Sjöfarten inkluderas i Europeiska unionens system för handel med utsläppsrätter (EU ETS) samtidigt som CII införs, år 2023. Detta gör att det kan bli svårt att utvärdera CII då EU ETS kan komma att överskugga CII. IMO har själva uppmanat hamnar och stater att ta ut lägre hamn och farledsavgifter för fartyg med högt CII-betyg. Sådana avgifter skulle kunna hjälpa till att ekonomiskt motivera investeringar i bättre CII-betyg, på ett liknande sätt som MBM gör (IMO, 2021). Här har dock IMO:s senfärdighet i klimatfrågan resulterat i att svenska Sjöfartsverket (2021) redan sänkt farledsavgiften för vissa fartyg baserat på Clean Shipping Index i stället för CII. Clean Shipping Index tar visserligen hänsyn till fler aspekter än enbart klimatpåverkan så det är möjligt att det kan komma att uppdateras så att CII används som mått för just koldioxidintensiteten. Samtidigt ökar klimatintresset från investerare, banker och lastägare vilket kan komma att påverka hur sjöfarten hanterar sin miljöpåverkan i framtiden (Nordea, 2021).

Så vart lämnar allt detta ökade intresse för klimatet från olika aktörer CII? Trots att ett fartyg inte i dagsläget kan förlora sina certifikat och därmed rätten att framföra fartyget, kan regleringen ändå, möjligtvis, leda till en förändring. När CII väl träder i kraft kan investerares ökade intresse för klimatfrågor leda till att de endast investerar i fartyg som utlovar ett bra CII-betyg under hela sin livstid. Lastägare kan välja att endast chartra fartyg med höga CII-betyg vilket i sin tur driver på utvecklingen. CII kanske blir mer likt en märkning för hur ett fartyg presterar snarare än en reglering som i sig driver på utvecklingen.

Detta likt EU:s märkning och betygssättning för energieffektivitet gällande vitvaror, elektronik riktat mot konsumenter. Om CII skulle komma användas som ett upplysningsindex är dock frågan hur de som konsumerar frakttjänster ska upplysas om fartygens betyg. CII omfattar endast fartyg med över 5000 i bruttodräktighet, vilket innebär att 15% av utsläppen från sjöfarten inte berörs av dess införande (MFAME, 2017). För att nå IMO:s 2050-mål, som omfattar alla fartyg, behöver därmed de fartyg med en dräktighet över 5000 antingen överpresentera eller så behöver CII utökas för att omfatta även de mindre fartygen (Faber et al., 2020). Även om mindre fartyg skulle omfattas av CII så är den likväl en relativt tandlös reglering, utan några direkt negativa konsekvenser för redare och deras fartyg som inte följer sin SEEMP (Psaraftis, 2021). Det som tillförs ett fartyg med dåligt betyg är i värsta fall administrativa åtgärder för besättning, redare och klassningssällskap detta är dock än så länge frivilligt att fylla i. För att ha potential att driva utvecklingen snabbare bör IMO:s medlemsstater framgent utveckla en mer tvingande åtgärdsplan för de fartyg med betyg D och E. Exempel kan vara att fartyg kvarhålls om de inte fullföljer sin SEEMP, likt de fartyg som har allvarligare brister i andra liknande planer som till exempel *Shipboard Oil Pollution Emergency Plan*, SOPEP. Müller-Casseres et al. (2021) och Nepomuceno de Oliveira et al. (2022) har konstaterat CII-regleringen, i sin nuvarande form, inte är ett kraftfullt verktyg för att minska koldioxidutsläppen från sjöfarten.

5.1 Metoddiskussion

Det största problemet med uppsatsens angreppssätt är att hitta tidigare forskning, samt att utröna vad som är beslutat av IMO. Tvetydigheten i IMO:s riktlinjer skapar en viss osäkerhet kring uppsatsens metod. Klassningssällskapen har också presenterat olika beräkningsmetoder för CII. Tolkningen görs att detta är resultatet av IMO:s arbetssätt; komplexiteten att få flera medlemsländer att nå konsensus kring klimatfrågor, trögheten inom mandatfattiga organisationer och sjöfarten i stort. Dock skall stor respekt ges till beslutsfattarna för försöken till att finna en balanserad väg fram till lösningen till ett av världshistoriens största problem. Även inom den publicerade forskningen rätas få frågetecknen ut rörande vilken metod eller vilka metoder som skall användas, de artiklar som är publicerade innan MEPC 76 är inte relevanta längre, vilket gör att mycket av det som är skrivet förkastas då nya beslut togs sommaren 2021 under MEPC 76.

Dock så är beräkningsmetoden som används i uppsatsen enkel att följa. Vem som helst med samma utsläppsdata kan med enkelhet göra om beräkningarna och få samma resultat. Metoden kommer att fungera med annan utsläppsdata och framgent med MRV-data som släpps årligen. Det kommer vara möjligt att följa upp och sammanställa på samma sätt som uppsatsen har gjort för år 2019.

Uppsatsens metod tar inte hänsyn till den tekniska utvecklingen och effektivitetsåtgärder som görs i branschen. Enligt (MEPC, 2021e) sker en årlig reduktion av koldioxidutsläpp med 1,6%. Denna reduktion ger 49,6% från 2019 till 2050. Det som krävs för att nå IMO-målet från 2019 till 2050 är 60,7%, differensen blir då 11,1%. Det skulle teoretiskt krävas en 11% reduktion från 2019 till 2050. Dock så är denna siffra baserad på historiska innovationer effektivitetsåtgärder, att räkna med samma reduktionstakt för exempelvis en dieselmotor från 2019 till 2050 blir inkorrekt. Att ta i beaktning är också den genomsnittliga fartygsåldern för EU:s fartygstrafik, som är 9,5 år. Genomsnittsåldern 2050 skulle då vara 40,5 år. Snittåldern för upphuggning i världen är 21 år enligt FN:s konferens om handel och utveckling, UNCTAD (2020). De flesta av fartygen som uppsatsen behandlar och betygssätts år 2050 har därmed redan blivit upphuggna.

Uppsatsen använder en kompletterande metod för beräkning av CII-värden som inkluderar metangasutsläpp från fartyg. Ingen hänsyn har dock tagits till att justera de konstanter i Tabell 2 och Tabell 4 som tagits fram utifrån den globala sjöfartens koldioxidutsläpp år 2019. När uppsatsen inkluderar metanutsläpp utan att ändra på konstanterna är de inte längre 100% representativa. Men som Tabell 5 visar är metanutsläppen för HFO och MDO mycket låga vilket i kombination med att endast en liten del av världens fartyg drivs av LNG med högre metanutsläpp anses påverka lite och bortses från i detta arbete (Faber et al., 2020).

När det kommer till vilken tidsaspekt som ska användas vid omräkning av metan till koldioxidekvivalenter användes i denna rapport en 20-årsperiod (GWP20) samtidigt som många andra rapporter använder en 100-årsperiod (GWP100). Anledningarna till detta val är att de målsättningar som IMO tagit fram endast sträcker sig till 2050 och att CII är en reglering med kort åtgärdshorisont.

IMO har endast beslutat om reduktionsfaktorer för CII fram till och med år 2026. Därmed är de reduktionsfaktorer för 2030 och 2050 som denna uppsats använder antagna. Antagandet är gjort utifrån IMO:s mål för koldioxidintensiteten år 2030 och 2050 men är likväl ett antagande och det är möjligt att lägre reduktionsfaktorer beslutas om. Dock tittar uppsatsen på hur dagens fartyg klarar införandet av CII över tid och därmed påverkas inte uppsatsens slutsatser om den antagna reduktionen år 2030 om 40% jämfört med 2008 skulle infalla år 2035. Merparten av fartygen som ingår i uppsatsen kommer att behöva förbättras likväl, om än i långsammare takt vid en lägre reduktionsfaktor. Resonemanget blir detsamma för den antagna reduktionen år 2050.

För att beräkna medelvärden i uppsatsen användes en metod där de mest avvikande värdena exkluderas. 10% i den överliggande delen och 10% i den underliggande, detta medför att uppsatsen fick en mer stringent del för att utesluta felrapportering och värden som är omöjliga att uppnå, exempelvis att lastad vikt skulle vara större än dödvikten. Datapopulationen har på detta sätt blivit mer representativ men datapunkter har också exkluderats som har varit korrekt inmatade i MRV. Detta har gjorts för att uppsatsen ska ha samma medelvärdesberäkning gällande samtliga fartygstyper. Medelvärdet säkerställdes dock genom att jämföra det med mer granulerade medelvärden om 20% och skillnaden var marginell.

6 SLUTSATSER

Vid införandet av CII-regleringen ligger gränsen för att få det bästa betyget A inte långt ifrån snittet för EU:s fartygstrafik 2019. Om betyget A i stället hade varit reserverat för fartyg med utsläpp närmare noll redan från införandet, kunde detta skapa ett starkare positivt incitament i att investera i fartyg med mycket låga utsläpp. Resultaten visar att på det sättet fartygen kördes år 2019 inom EU; uppnår många fartyg ett godkänt betyg C eller högre vid införandet år 2023.

Samtidigt kommer 48% av fartygen att behöva vidta åtgärder för att förbättra sitt betyg. Möjliga åtgärder kan vara att sänka farten, effektivare ruttplanering och schemaläggning. Även tekniska uppgraderingar av fartyg kan sänka utsläppen, skrovrengöring och vissa båtbottnfärger, alternativt byte till alternativa bränslen kan även sänka utsläppen. År 2030 får 81% godkänt och vid kravnivån 2050 når endast 16 av 10 662 fartyg en godkänd nivå, varav två fartyg kör mestadels på batteridrift med laddning i hamn. Att så få av dagens fartyg har en acceptabel nivå om 30 år visar på hur stora förändringar sjöfarten behöver genomgå de närmsta decennierna.

För LNG-drivna fartyg visar jämförelsen mellan IMO:s CII-beräkningsmetod och en alternativ beräkningsmetod, som inkluderar fartygens metangasutsläpp, att CII inte är representativt för de fartygens växthusgasutsläpp. De fartyg som inte får godkänt betyg, D eller E, ökar från 35% till 61% för genomsnittsmotorn, och till 92% för den vanligaste Otto-MSD-motorn. Anledningen till detta är att LNG-drivna fartyg har ett slip av metan som inte förbränns i motorn och i stället följer med motorns avgaser ut i luften.

När CII jämförs med medelutsläpp per transportarbete är resultatet splittrat. För fem fartygstyper, inklusive fartygstyperna bulk och tankar, med många fartyg, finns en stark korrelation mellan att bättre CII-betyg har lägre utsläpp per transportarbete. Samtidigt blir resultatet för resterande sju fartygstyper som innefattar en tredjedel av fartygen, inklusive den stora gruppen containerfartyg, ett helt annat. För de fartygstyperna blir utsläppen per transportenhet högre för fartyg med CII-betyg A än för de lägre betygen. Detta kan vara ett tecken på att CII inte belönar effektiva transporter under alla omständigheter enligt nuvarande beräkningsmetod.

Eftersom det inte är tvingande för fartyg att sänka sina utsläpp, vid låga CII-betyg, är det svårt att se hur CII-regleringen ensamt är drivande för att nå IMO:s klimatmål om sänkta utsläpp.

6.1 Rekommendationer till fortsatt arbete

Den som vill kan använda sig av metoden för annan fartygsdata med utsläpp och göra om beräkningarna. Detta går att göra med MRV-data för varje nytt år den statistiken släpps.

CII kommer att revideras år 2025 och då finns eventuellt möjligheten att göra om delar av betygssystemet. Denna rapport fann att betyg A inte kan anses som ett rättvist högsta betyg för fartyg med ultralåga utsläpp då de delar betyget med betydligt smutsigare fartyg. Med utgångspunkt i detta faktum och att IMO i tid till revideringen även har hunnit samla in data om fartygs lasttransporter finns då möjligheten att skapa ett mer representativt reviderat CII-betygssystem. Möjliga frågeställningar: Hur kan CII-betygssystemet förändras för att ge fartyg med ultralåga utsläpp ett betyg som bättre representerar hur de presterar redan idag? Hur kan CII-betygssystemet uppmuntra växthusgaseffektiva transporter?

KÄLLFÖRTECKNING

- ABB. (2018). ForSea (formerly HH Ferries Group) completes conversion of the world's largest battery ferries, powered by ABB. In ABB. ABB.
<https://new.abb.com/news/detail/10434/forsea-formerly-hh-ferries-group-completes-conversion-of-the-worlds-largest-battery-ferries-powered-by-abb>
- Bilgili, L. (2021). Comparative assessment of alternative marine fuels in life cycle perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144.
<https://doi.org/10.32388/yfb30w>
- Cariou, P. (2011). *Is slow steaming a sustainable means of reducing CO2 emissions from container shipping?* Transportation Research Part D: Transport and Environment.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.12.005>
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona Mali, Y., Kadner, S., Minx, J. C., Brunner, S., Agrawala, S., Baiocchi, G. U., Alexeyevich Bashmakov, I., Blanco, G., & Broome, J. (2014). *IPCC Action Report 5 Technical Summary*.
- Edling, C., & Hedström, P. (2003). *Kvantitativa metoder : grundläggande analysmetoder för samhälls- och beteendevetare*. Studentlitteratur.
- EU. (2020). *Shipping industry must contribute to climate neutrality, say MEPs* | Nyheter | Europaparlamentet. Pressrum. <https://www.europarl.europa.eu/news/sv/press-room/20200703IPR82633/shipping-industry-must-contribute-to-climate-neutrality-say-meps>
- EU. (2021a). *EU 2019 monitoring, reporting and verification of CO2 emissions from maritime transport*. Europeiska Unionen; THETIS.
<https://mrv.emsa.europa.eu/#public/emission-report>
- EU. (2021b). *Revision for phase 4 (2021-2030)*. Europeiska Unionen.
https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/revision-phase-4-2021-2030_en
- Europaparlamentet. (2015). *Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2015/757 av den 29 april 2015 om övervakning, rapportering och verifiering av koldioxidutsläpp från sjötransporter och om ändring av direktiv 2009/16/EG* (Vol. 2015, Issue 406). European Union. <http://publications.europa.eu/resource/celex/02015R0757-20161216.SWE.pdf1a>
- Faber, J., Hanayama, S., Zhang, S., Pereda, P., Comer, B., Hauerhof, E., Loeff, W. S. van der, Smith, T., Zhang, Y., Kosaka, H., Adachi, M., Bonello, J.-M., Galbraith, C., Gong, Z., Hirata, K., Hummels, D., Kleijn, A., Lee, D. S., Liu, Y., ... Xing, H. (2020). 4th IMO Greenhouse Gas Study 2020. In *Mepc 75/7/15* (Vol. 74).
- Faber, J., Király, J., Kleijn, A., & CE Delft. (n.d.). *Fleet-level compliance with the CII Regulation Fleet-level compliance with the CII Regulation This report was prepared by :*
- FN. (2022). *Klimatförhandlingar genom åren*. Förenta Nationerna. <https://fn.se/vi-gor/vi-utbildar-och-informerar/fn-info/vad-gor-fn/fns-arbete-for-utveckling-och-fattigdomsbekampning/klimatforhandlingar-genom-aren/>
- Förenta nationerna. (2016). *Paris Agreement*.
- ICCT. (2018). *What is the role for renewable methane in European decarbonization?* October. <http://www.consilium.europa.eu/>
- ICS, & WCS. (2021). *Refrigerated container cargoes*. IMO.
- IHS Maritime & Trade. (2021). *Sea-web*. <https://maritime.ihc.com/Account2/Index>
- IMO. (2016). *MARPOL Annex VI reg. 22A - §1*. International Maritime Organisation.
- IMO. (2018a). *GUIDELINES ON THE METHOD OF CALCULATION OF THE ATTAINED ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX (EEDI) FOR NEW SHIPS* (Vol. 308, Issue October). International Maritime Organisation.

- IMO. (2018b). *RESOLUTION MEPC.304(72) (adopted on 13 April 2018) INITIAL IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS*. 304(April).
- IMO. (2021). *IMO working group agrees guidelines to support new GHG measures*. International Maritime Organisation.
<https://web.archive.org/web/20211214162432/https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/ISWG-GHG-8.aspx>
- International Maritime Organization. (2018). *RESOLUTION MEPC.304(72) (adopted on 13 April 2018) INITIAL IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS*. 304(April).
- IVL Svenska Miljöinstitutet. (2022). *Clean Shipping Index Brochure*. IVL Svenska Miljöinstitutet. <http://www.cleanshippingindex.com/wp-content/uploads/2015/03/CleanShippingIndex-brochure-2015.pdf>
- Kander, Astrid. (2002). Economic growth, energy consumption and CO₂ emissions in Sweden 1800-2000. *Lund Studies in Economic History*; 19 (2002), 19, 266.
<http://lup.lub.lu.se/record/20746>
- Knowler, G. (2021). Green shipping: The route to sustainability. *The Journal of Commerce*, 22(7), 45–45. <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/03064220211048859a>
- Lagouvardou, S., Psaraftis, H. N., & Zis, T. (2020). A literature survey on market-based measures for the decarbonization of shipping. *Sustainability (Switzerland)*, 12(10).
<https://doi.org/10.3390/SU12103953>
- Longva, T., Sekkesæter, Ø., & Adams, S. (2021). The carbon intensity indicator (CII) – a closer look. In *Det Norske Veritas* (Issue September, p. 27). Det Norske Veritas.
<https://www.dnv.com/maritime/webinars-and-videos/on-demand-webinars/access/carbon-intensity-indicator-cii.html>
- MacInnes, J. (2020). Secondary Analysis of Quantitative Data. In Paul Atkinson, Sara Delamont, Alexandru Cernat, & Joseph W. Sakshaug Richard A. Williams (Eds.), *SAGE Research Methods Foundations*. SAGE Publications Ltd.
<https://doi.org/10.4135/9781526421036870195>
- Mallouppas, G., & Yfantis, E. A. (2021). Decarbonization in Shipping industry: A review of research, technology development, and innovation proposals. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/jmse9040415>
- MEPC. (2021a). *Draft amendments to MARPOL Annex VI*. IMO.
- MEPC. (2021b). Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency ship index (EEXI). *Mepc* 76, 333(June 2021), 1–10.
- MEPC. (2021c). *MEPC.336(76) - Calculation Formulas*. IMO.
- MEPC. (2021d). *MEPC.337(76) - Reference Lines*. IMO.
- MEPC. (2021e). *MEPC.338(76) - Reduction Factors*. IMO.
- MEPC. (2021f). *MEPC.339(76) - Rating Guidelines*. IMO.
- MEPC. (2021g). *REPORT OF THE MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMITTEE ON ITS SEVENTY-SEVENTH SESSION*.
- MEPC. (2021h). *REPORT OF THE MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMITTEE ON ITS SEVENTY-SIXTH SESSION*.
- MFAME. (2017). *Ships Over 5,000 Gross Tonnage Need Bunker Consumption Data*.
<https://mfame.guru/ships-5000-gross-tonnage-need-bunker-consumption-data/#>
- Microsoft Corporation. (2022a). *CORREL function*. Office 365 Support.
<https://support.microsoft.com/en-us/office/correl-function-995dcef7-0c0a-4bed-a3fb-239d7b68ca92>
- Microsoft Corporation. (2022b). *MEDIAN function*. Office 365 Support2.
<https://support.microsoft.com/en-us/office/median-function-d0916313-4753-414c-8537-ce85bdd967d2>

- Microsoft Corporation. (2022c). *TRIMMEAN function*. Office 365 Support.
<https://support.microsoft.com/en-us/office/trimmean-function-d90c9878-a119-4746-88fa-63d988f511d3>
- Morton, A. (2020). *Methane released in gas production means Australia's emissions may be 10% higher than reported | Gas | The Guardian*. The Guardian.
<https://www.theguardian.com/environment/2020/aug/26/methane-released-in-gas-production-means-australias-emissions-may-be-10-higher-than-reported>
- Müller-Casseres, E., Edelenbosch, O. Y., Szklo, A., Schaeffer, R., & van Vuuren, D. P. (2021). Global futures of trade impacting the challenge to decarbonize the international shipping sector. *Energy*, 237. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121547>
- Nepomuceno de Oliveira, M. A., Szklo, A., & Castelo Branco, D. A. (2022). Implementation of Maritime Transport Mitigation Measures according to their marginal abatement costs and their mitigation potentials. *Energy Policy*, 160, 112699.
<https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2021.112699>
- Nordea. (2021). *Sustainable shipping: Why financial stakeholders are key to transformation*.
<https://web.archive.org/web/20210120082949/https://insights.nordea.com/en/sustainability/sustainable-shipping/>
- Norge. (2021a). *Adjustment of CII reference line for combination carriers*. IMO.
- Norge. (2021b). *CII correction factor for higher cargo utilization*. IMO.
- OECD. (2018). *Decarbonising Maritime Transport The Case of Sweden Case-Specific Policy Analysis*. www.itf-oecd.org
- OECD. (2022). *Greenhouse gas intensity*.
<https://www.oecd.org/innovation/green/toolkit/o4greenhousegasintensity.htm>
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Crame, W., Christ, R., Church, J. A., Clarke, L., & Dahe, Q. (2014). Climate Change 2014 Synthesis Report AR5. In *IPCC*.
[https://doi.org/10.1016/S0022-0248\(00\)00575-3](https://doi.org/10.1016/S0022-0248(00)00575-3)
- Pavlenko, N., Comer, B., Zhou, Y., Clark, N., & Rutherford, D. (2020). The climate implications of using LNG as a marine fuel. *ICCT Working Paper 2020-02, January*.
www.theicct.org
- Psaraftis, H. N. (2021). Shipping decarbonization in the aftermath of MEPC 76. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 1(September). <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2021.100008>
- Psaraftis, H. N., & Kontovas, C. A. (2021). Decarbonization of maritime transport: Is there light at the end of the tunnel? *Sustainability (Switzerland)*, 13(1), 1–16.
<https://doi.org/10.3390/su13010237>
- Reuters. (2021). *Shipping, heating and cars targeted in EU carbon market revamp*. Reuters.
<https://www.reuters.com/business/sustainable-business/eu-drafts-plan-tighten-carbon-market-expand-it-shipping-cars-heating-2021-06-30/>
- Sea Cargo Charter. (2020). *Aligning global shipping with society's goals*.
- Shaw, A., Smith, T., & Fahnestock, J. (2021). *Transition Perspective: Outcomes and Implications of MEPC 77*. Global Maritime Forum.
<https://www.globalmaritimeforum.org/news/transition-perspective-outcomes-and-implications-of-mepc-77>
- Singh, H. G. (1995). Composition, chemistry, and climate of the atmosphere. In *Composition, chemistry, and climate of the atmosphere*. [https://doi.org/10.1016/s1352-2310\(96\)00207-5](https://doi.org/10.1016/s1352-2310(96)00207-5)
- Sjöfartsverket. (2021). *Farledsavgiften och Clean Shipping Index*.
<https://www.sjofartsverket.se/sv/om-oss/vad-gor-sjofartsverket/vart-hallbarhets--och-miljoarbete/farledsavgiften-och-clean-shipping-index/>
- Smith, D. M. (1988). *Diffusion of gases in coals and chars: Final report, September 15, 1985--September 14, 1988*. <https://doi.org/10.2172/6524232>

- Svensk Sjöfart. (2020). *Underlag för utredningen Klimatfärdplan 2050*.
- TRADING ECONOMICS. (2022). *EU Carbon Permits | 2022 Data | 2023 Forecast | 2005-2021 Historical | Price | Quote*. TRADING ECONOMICS.
<https://web.archive.org/web/20220131122555/https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>
- UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. (2020).
REVIEW OF MARITIME TRANSPORT 2019. UNITED NATIONS.
- Wang, S., Psaraftis, H. N., & Qi, J. (2021). Paradox of international maritime organization's carbon intensity indicator. *Communications in Transportation Research*, 1(July), 100005. <https://doi.org/10.1016/j.commtr.2021.100005>

Bilaga 1 Sammanställning av oanvändbara datapunkter

Tabell 11

Oanvändbara datapunkter från 2019 års EU MRV data för beräkning av AER och EEOI

Fartygstyp	AER (CII)	AER och EEOI	Totalt antal fartyg
Bulkfartyg	215	272	3648
Kemikalietanker	14	20	1361
Kombinationsfartyg	0	0	11
Containerfartyg	36	39	1846
Container/RORO-fartyg	0	8	76
Gastanker	2	7	342
Torrlastare	1242 (Avgränsad)	1242 (Avgränsad)	1242
LNG-tanker	0	6	257
Oljetanker	46	64	2008
Övriga fartygstyper	142 (Avgränsad)	142 (Avgränsad)	142
Passagerarfartyg	0	0	179
Kylfartyg	0	3	145
ROPAX-fartyg	1	5	394
RORO-fartyg	0	0	277
Fordonsfartyg	2	2	434
Totalt	1700	1810	12 362

Kommentar. Antalet oanvändbara datapunkter i MRV-databasen. AER och EEOI syftar på det totala antalet oanvändbara datapunkter för EEOI-beräkningen och inkluderar de som var felaktiga redan i AER-beräkningen eftersom EEOI är en vidareberäkning som är beroende av en existerande AER-beräkning.

Bilaga 2 Resultat data år 2030–2050

Tabell 12

Detaljerat resultat uppdelat per betyg och fartygstyp för EU:s fartygstrafik 2019 enligt antagna reduktionskrav för år 2030

Fartygstyp	A	B	C	D	E	Totalt	Typvärde	Snittvärde
Bulkfartyg	36	81	385	747	2 184	3 433	E	1,25
Kemikalietanker	37	78	264	456	512	1 347	D	1,22
Kombinationsfartyg	1	1			9	11	E	1,49
Containerfartyg	7	45	111	251	1 396	1 810	E	1,33
Container/RORO-fartyg	3	6	12	45	10	76	D	1,20
Gastanker	4	14	42	207	73	340	D	1,26
LNG-tanker	7	12	49	73	116	257	C	1,29
Oljetanker	34	126	348	626	828	1 962	D	1,24
Passagerarfartyg	3	3	12	32	129	179	E	1,28
Kylfartyg	7	17	31	25	65	145	C	1,17
ROPAX-fartyg	8	31	78	111	165	393	C	1,35
RORO-fartyg	2	19	57	92	107	277	D	1,32
Fordonsfartyg (PCTC)	3	4	27	89	309	432	E	1,28
Total	152	437	1 416	2 754	5 903	10 662		

Tabell 13

Detaljerat resultat uppdelat per betyg och fartygstyp för EU:s fartygstrafik 2019 enligt antagna reduktionskrav för år 2050

Fartygstyp	A	B	C	D	E	Totalt	Typvärde	Snittvärde
Bulkfartyg				2	3 431	3 433	E	2,50
Kemikalietanker	1	1		2	1 343	1 347	E	2,43
Kombinationsfartyg					11	11	E	2,97
Containerfartyg					1 810	1 810	E	2,67
Container/RORO-fartyg			1	4	71	76	E	2,40
Gastanker		2		1	337	340	E	2,51
LNG-tanker	3				254	257	E	2,58
Oljetanker			2	2	1 958	1 962	E	2,48
Passagerarfartyg					179	179	E	2,57
Kylfartyg					145	145	E	2,34
ROPAX-fartyg	1		2	5	385	393	E	2,69
RORO-fartyg				3	274	277	E	2,64
Fordonsfartyg (PCTC)	2				430	432	E	2,56
Total	7	3	5	19	10 628	10 662		

INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2022
www.chalmers.se



CHALMERS