

Merenkulun päästökaupan vaikutukset

Tomi Solakivi, Jukka-Pekka Jalkanen, Adriaan Perrels,
Tuomas Kiiski, Lauri Ojala

Tekijäorganisaatiot:

Tomi Solakivi, Tuomas Kiiski, Lauri Ojala: Turun yliopisto;

Jukka-Pekka Jalkanen, Adriaan Perrels: Ilmatieteen laitos

Sisältö

Tiivistelmä	4
Svensk resumé	6
Abstract	7
Lyhenteet	8
Yhteenveto	11
Markkinamekanismien toimivuus merenkulussa	11
Markkinamekanismien vaikuttavuus CO ₂ -päästöjen vähentämisessä	16
Vaikutukset globaaleihin teknologiamarkkinoihin	20
1 Johdanto	21
2 EU:n päästökauppa ja meriliikenne	23
2.1 EU:n päästökauppajärjestelmä	23
2.2 EU ETS päästökaupan soveltaminen merenkulkusektorille	25
2.3 Merenkulkusektorin päästökaupan toimintavaihtoehdot ja hiilivuotoriskit	27
2.4 EU ETS -hintatasot suhteessa merenkulun kustannustasoon	30
3 Markkinaperusteiset toimenpiteet kirjallisuudessa	34
3.1 BHP BW -ryhmän hiilidioksidiarviointi 2019	34
3.2 IMF – Hiilen verotus kansainvälisille merenkulun polttoaineille: Vaihtoehtojen arviointi 2018	35
3.3 Maailmanpankki: kasvihuonekaasu-päästöjen vähentämiskeinojen taloudelliset vaikutukset meriliikenteessä 2019	36

3.4	New Climate Institute – hiilen hinnoitteluvaihtoehdot kansainvälisille meripäästöille 2019	36
3.5	UMAS – kansainvälisen merenkulun CO ₂ -päästöt, mahdolliset vähennystavoitteet ja niihin liittyvät polut 2016	37
3.6	T&E: Merenkulun hiilidioksidipäästöt ja reaali maailman laivan hyötysuhteen suorituskyky 2019	40
3.7	UNCTAD-alusromutusraportti v. 2020.....	41
3.8	UNCTAD-alusrekisteriraportti v. 2020	42
3.9	Vaikutukset globaaleihin teknologiamarkkinoihin	43
4	Suomen meriliikenteen CO₂-päästöjen vähenemä ja EU ETS:n tai IMO:n markkinaehtoiset päästövähennyskeinot	45
4.1	Aluskaluston koko ja meriliikenteen CO ₂ - päästöt.....	45
4.2	Itämeren alusliikenne ja sen CO ₂ - päästöt	47
4.3	Aluspolttoaineiden hintakehitys	49
4.4	Alusten kulkunopeuden vaikutus päästöihin	50
4.5	Päästövähennyskeinojen kustannustehokkuus.....	52
5	EU ETS:n tai IMO:n markkinaehtoiset päästövähennyskeinot ja Itämeren lähimerenkulku	56
5.1	Päästökaupan vaikutuksia merenkulun kustannustasoon.....	56
5.2	Päästökaupan kustannusvaikutuksia Itämeren merenkulkuun.....	57
6	Päästövähennyskeinojen kustannus-hyötysuhde.....	61
7	EU ETS ja markkinaehtoiset päästövähennyskeinot: Suomen ja muiden EU-maiden kilpailukyky	68
8	Talvimerenkulku ja meriliikenteen päästöoikeudet tai markkinaehtoiset päästövähennyskeinot.....	73
	Liitteet	75
	Lähteet	85

Tiivistelmä

Tämä raportti antaa yleiskuvan vaikutuksista, joita meriliikenteen mahdollinen sisällyttäminen Euroopan päästökauppajärjestelmään (EU-ETS) aiheuttaisi. Raportti käsittelee muun muassa:

- i. maailmanlaajuisia kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistoimenpiteitä;
- ii. päätösten vaikutuksia merenkulun kustannuksiin; ja
- iii. päätösten vaikutuksia Suomen meriliikenteeseen ja talouteen.

Päätöksiä siitä, millä tavalla ja missä laajuudessa merikuljetukset sisällytettäisiin EU:n tai IMO:n globaaliin päästökauppajärjestelmään ei ole tehty. Tästä syystä raportissa esitetään useita kirjallisuudessa tarkasteltuja vaihtoehtoja, käsitellään päästökaupan tehokkuutta päästövähennyskeinona ja arvioidaan hiilidioksidipäästöoikeuksien kustannusvaikutuksia erilaisille laivatyypeille erityisesti Suomelle merkityksellisissä merikuljetuksissa.

Tarkastelussa on huomioitu myös talvimerenkulun erityisvaatimukset sekä kustannusvaikutukset rahdinantajille.

Raportissa tarkastellaan myös käytettävissä olevia ja tulevia teknisiä ja operatiivisia toimenpiteitä alusten kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Kustannustehokkailta keinoilla saavutettavien päästövähennysten potentiaali merenkulussa on rajoitettu, ja vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöönoton kustannukset ovat toistaiseksi korkeat.

Jos EU:n tai IMO:n päästökauppajärjestelmä ulotettaisiin meriliikenteeseen, se voisi -mekanismin tyypistä ja päästöoikeuksien kustannustasosta riippuen - luoda merkittävät maailmanlaajuiset markkinat teknologioille, joilla hillitään alusten päästöjä. Maat, joissa on tällaista edistynyttä tekniikkaa kehittäviä yrityksiä, hyötyisivät tästä. Samalla merenkulun päästöjen vähentäminen alueellisella päästökaupalla on haastavaa.

Liitteissä on lisäksi runsaasti tietoa maailmanlaajuisen ja suomalaisen kauppalaivaston päästöistä ja koostumuksesta.

Svensk resumé

Denna rapport ger en översikt över konsekvenserna av eventuell inkludering av sjötransporter i det europeiska systemet för handel med utsläppsrätter (EU-ETS) eller i IMO:s motsvarande mekanism. Rapporten behandlar bland annat:

- i) globala åtgärder för att minska utsläppen av växthusgaser.
- ii) påverkan av besluten på fraktkostnader; och
- iii) effekterna av besluten särskilt på finsk sjötransport och ekonomin.

Inga beslut har fattats om hur och i vilken utsträckning sjötransport skulle inkluderas i EU:s eller IMO:s globala system för handel med utsläppsrätter. Av denna anledning presenterar rapporten flera alternativ som granskats i litteraturen och bedömer kostnadseffekterna av koldioxidutsläppsrätter för olika typer av fartyg, särskilt inom sjötransport som är relevant för Finland. Här beaktas även de operativa betingelser som vintersjöfart för med sig.

Kostnadseffekterna för avlastare beaktas också. Beräkningsanalyser har utförts utan effekterna av prisförändringar (s k elasticitet) på handelsflöden, rutter eller lägesval.

Rapporten granskar också tillgängliga och framtida tekniska och operativa åtgärder för att minska utsläppen av växthusgaser från fartyg. För närvarande verkar det finnas få kostnadseffektiva åtgärder för detta.

Att utvidga EU:s eller IMO:s handelssystem för utsläpp till sjötransporter kan, beroende på typ av mekanism och kostnadsnivån för utsläppsrätter, skapa en betydande global marknad för teknologier som begränsar utsläpp från fartyg. Länder med företag som utvecklar sådan avancerad teknik skulle dra nytta av detta. Samtidigt är det utmanande att kunna minska sjöfartens emissioner genom regional utsläppshandel.

Bilagorna innehåller också en mängd information om utsläpp och sammansättning av de globala och finska handelsflottorna.

Abstract

This report provides an overview of the effects of the potential inclusion of maritime transport in the European Emission Trade System (EU-ETS). It addresses, inter alia, i) effective global greenhouse gas emission reduction measures; ii) the costs of shipping; and iii) international trade, with special reference to Finland, regarding the competitive position of its seaborne trade and economy.

It is still to be decided in what way and to what extent seagoing transport would be included in EU-ETS or through a global mechanism by IMO. For this reason, several options considered in the literature have been reviewed.

The report also assesses cost consequences of different price levels of CO₂ emission rights for different ship types and shipping services relevant for Finland also in view of requirements posed by winter navigation. The subsequent cost impact for shippers is accounted for too.

The report also reviews available and future technical and operational measures to reduce greenhouse gas emissions of ships. However, the potential for cost efficient measures for this appears to be rather limited.

Should EU or IMO emission trading scheme be introduced to maritime transport, this could – depending on the type of mechanism and cost level of emission rights or equivalent – create a substantial global market for technologies to curb emission from ships. Here, countries with firms developing such advanced technologies would benefit from this development. At the same time, reducing maritime emissions through regional emissions trading schemes appears to be very difficult.

The Annexes provide abundant information on the emissions and composition of the global and Finnish merchant fleet.

Lyhenteet

CBDRRC	Common but Differentiated Responsibilities and Respective Capabilities -periaate
CORSIA	Carbon Offsetting Scheme for International Aviation, kansainvälisen lentoliikenteen hiilidioksidipäästöjen kasvun hyvittämiseen velvoittava järjestelmä
CO ₂ e	Hiilidioksidiekvivalentti
CRSL	Clarkson Research Services Limited
DIS	Danish International Ship Register
DWT	Deadweight tonnage, aluksen maksimaalisen kuormituskyvyn mitta
ECA	Emission Control Area, tarkkailualue merenkulun päästöille
EEDI	The Energy Efficiency Design Index -energiatehokkuusstandardi
EEX	European Energy Exchange
ETA	Euroopan talousalue
ETS	ks. EU ETS
EU ETS	EU Emission Trading Scheme, EU:n sisäinen päästökauppa
GCF	Green Climate Fund, UNFCCC:n Vihreä ilmatorahasto
GEF	The Global Environment Facility, YK:n maailmanlaajuinen ympäristörahassto
GIS	German International Ship Register
GT	Gross tonnage, bruttokantavuus
IFO	Intermediate fuel oil

IMF	The International Monetary Fund, Kansainvälinen valuuttarahasto
IMO	International Maritime Organization, Kansainvälinen merenkulkujärjestö
ITF	International Transport Forum
Libor	London Interbank Offered Rate
LNG	Liquefied Natural Gas
LPG	Liquefied Petroleum Gas
MBM	Market-Based Measures
MCF	European Maritime Climate Fund
MEPC	Marine Environment Protection Committee, Meriympäristön suojelukomitea
METS	The Maritime Emissions Trading Scheme
MGO	Marine gas oil
MRV	EU Monitoring, Reporting and Verification of CO ₂ emissions
MSC	Mediterranean Shipping Company
NIS	Norwegian International Ship Register
NMFT	No More Favourable Treatment -periaate
NMVO	Non-methane volatile organic compounds
OPEC	Organization of the Petroleum Exporting Countries
PCF	Product Carbon Footprint
PM2.5	Particulate matter, halkaisijaltaan ≤ 2,5 µm pienhiukkaset
Ro-Pax	Roll-on/roll-off passenger -matkustaja-alus

Ro-Ro	Roll-on roll-off -alus
SEEMP	Ship Energy Efficiency Management Plan (IMO); alusten pakollinen energiatehokkuutta koskeva hallintasuunnitelma
TEU	Twenty foot unit, 20 jalan konttia vastaava kuljetusyksikkö
T&E	Transport & Environment
UMAS	University Maritime Advisory Services
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development, Yhdistyneiden kansakuntien kauppaja kehityskonferenssi
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change, Yhdistyneiden kansakuntien ilmastonsuojelun puitesopimus
VLSFO	Very-low sulfur fuel oil
WTO	World Trade Organization, Maailman kauppajärjestö

Yhteenveto

Markkinamekanismien toimivuus merenkulussa

Se, miten merenkulun sisällyttäminen EU ETS:ään vaikuttaa Suomen ja muiden EU-maiden alusten kilpailukykyyn riippuu sekä eri vaihtoehtojen arkkitehtuurista, että siitä, kuinka laajaksi päästökauppa ulotetaan. Tästä ei aiemmasta kirjallisuudesta ole saatu kovinkaan paljon tietoa. Keskeiset tekijät ovat:

1. kuinka suuri osa merenkulkusektorille tarkoitetusta päästöoikeuksien määrästä jaetaan ilmaiseksi ja miten paljon huomioidaan jäsenmaiden ja laivatyyppien ominaispiirteet,
2. kuinka tiukaksi määritellään merenkulkusektorin kauppakauden päästökatto,
3. miten merkittävät ovat mahdolliset kauppakynnykset merenkulkusektorin ja muiden EU ETS -sektoreiden välillä, ja
4. kuinka suuri ja houkutteleva on rinnakkaisrahasto (Innovaatorahasto tai vastaava) päästövähennystekniikoiden käyttöönoton edistämiseksi.

Tätä havainnollistetaan seuraavassa taulukossa.

Taulukko 1. Päästökaupan tai hinnoittelumekanismien vaikutus varustamoille, (lippu)valtioille sekä suhteessa päästövähennysten tehokkuuteen.

	Varustamon kustannukset	Valtion kustannukset	Päästövähennysten tehokkuus
Ilmaisjaon osuus kasvaa	↓	↑*	teoriassa ei vaikutusta
Tiukempi päästökatto	↑	↓**	↑
Kynnykset (kirjo laajenee)	↓ & ↑***	?	↓
Rinnakkaisrahasto	↓	↑	↑

*) Jos ilmaisjaon osuus ETS-järjestelmässä kasvaa, valtioiden huutokaupan kertymä vähenee;

***) Jos vain KHK budjetti on tiukempi kuin aiemmin, hintapaino on ylöspäin ja valtiot saavat lisää kertymää huutokaupasta;

***) Kustannusten muutos riippuu varustamon kilpailuasemasta

Mikäli sääntely ulotetaan koskemaan ainoastaan EU-lipun alla kulkevia aluksia, heikenee niiden kilpailukyky käytännössä päästökaupan aiheuttaman kustannuslisän verran suhteessa muihin aluksiin. Tämä ei välttämättä olisi kuitenkaan toimiva ratkaisu, sillä tällöin seurauksena ei välttämättä olisi päästöjen väheneminen, vaan alusten ulosliputtaminen päästökaupan kustannusten välttämiseksi. Mikäli sääntely ulotetaan koskemaan myös kaikkia EU-maiden satamissa vierailevia aluksia, kilpailukykyvaikutus kohdistuu kattavammin EU:n ulkomaankauppaan.

Mikäli merenkulku liitetään osaksi EU ETS:ää ilman rajoituksia sektoreiden välillä, on merenkulku osa samaa päästökauppajärjestelmää kuin muut päästökauppaan sisällytetyt sektorit. Merenkulkusektorin mukaantulo voisi lisätä koko järjestelmän likviditeettiä, mikä on aina etu EU ETS:lle (Marcu ym. 2019). Tämä mahdollistaisi myös sen, että merenkulun toimijat pystyisivät halutessaan hankkimaan päästöoikeuksia muilta päästökaupassa mukana olevilta sektoreilta, mikäli päästöjen vähentäminen niiltä sektoreilta on mahdollista kustannustehokkaammin kuin merenkulusta. Tällöin päästöt eivät välttämättä vähentyisi juuri merenkulkusektorilta vaan muilta sektoreilta, merenkulun kantaessa kustannustaakan.

Mikäli merenkululle luotaisiin oma päästökauppamekanisminsa tai rajoitettaisiin päästöoikeuksia ostoa merenkulun ja muiden sektoreiden välillä, tarkoittaisi se käytännössä sitä, että päästövähennykset kohdistuisivat väistämättä merenkulkuun, ja kaupaa päästöoikeuksista käytäisiin toimialan sisällä. Alueellisessa, pelkästään merenkululle rajatussa päästökaupassa on merkittävä riski sille, että kokonaispäästöt eivät vähene, vaan voivat jopa kasvaa toimialan yritysten osatunon seurauksena. Tutkimuskirjallisuuden valossa merenkulkuun suunnatun päästökaupan tulisi toimiakseen olla globaali (ks. esim. Miola ym. 2010, Hermeling ym. 2015, Gu ym. 2019, Balcombe ym. 2019).

Sääntelyn alueellisuus yhdessä merenkulun kansainvälisen (tässä yhteydessä EU vs. ei EU) luonteen kanssa ohjaa toimijoita päästöjen kannalta epäoptimaaliseen tilanteeseen. Tällä tarkoitetaan sitä, että alueella jossa sääntelyä esiintyy, noudatetaan sääntöjä, ja sen mahdollisesti aiheuttama haitta toimijan kokonaisoptimin näkökulmasta kompensoidaan sääntelyalueen ulkopuolella. Merenkulussa vastaavaa käyttäytymistä on esiintynyt aiemmin mm. rikkipäästöjen osalta siten, että SECA-alueella nopeudet ovat alentuneet, mutta vastaavasti SECA-alueen ulkopuolella matka-aika on otettu kiinni korkeammilla nopeuksilla.

Toimijoiden kokonaisoptimilla tarkoitetaan tässä sitä, että varustamon tai operaattorin päätöksinä ohjaavat ensisijaisesti rahtihinnat ja polttoaineen hinta, ei päästökauppa. Raportissa esiteltujen tutkimusten (mm. Eide 2011, Yuan ym. 2016) mukaan kustannustehokkaimpia päästövähennyskeinoja ovat erilaiset operatiiviset keinot, käytännössä aluksen kulkunopeuden alentaminen. Varustamon/ operaattorin näkökulmasta

nämä tarkoittavat kuitenkin alhaisempia rahtituottoja, mikä johtaa useimmiten tilanteeseen, jossa matka-aikaa pyritään lyhentämään korkeammalla kulkunopeudella, erityisesti niiltä osin kuin aluksen rotaatio on alueellisen sääntelyn ulottumattomissa.

Gu et al. (2019) tutkimuksessa tarkasteltiin em. tekijöiden yhteisvaikutusta operaattoreiden käyttäytymiseen. Sen keskeinen tulos on, että pääosin alueellinen päästökauppa johtaisi tilanteeseen, jossa kansainvälisessä liikenteessä olevan toimijan kokonaisedun mukainen toiminta johtaa jopa kokonaispäästöjen lisääntymiseen. Poikkeuksena Gu et al. (2019) mainitsee tilanteen, jossa alueellisen päästökaupan päästöoikeuden hinta on niin korkea, että se johtaa niin mittaviin päästövähennyksiin sen vaikutuspiirissä, että se riittää kompensoimaan päästöjen kasvun vaikutuspiirin ulkopuolella.

Gu et al. (2019) keskittyy erityisesti linjaliikenteeseen, mutta sen logiikka ja tulokset ovat sovellettavissa myös hakurahtiliikenteeseen siltä osin kuin siinä käytettävät alukset ovat käytössä myös muussa kuin EU:hun suuntautuvassa liikenteessä. Poikkeuksen muodostaa EU:n sisäinen lähimerenkulku, joka on kuitenkin Suomi ja eräät muut lähimerenkulusta riippuvaiset maat pois lukien vain rajallinen osa EU:n merenkulkua.

Globaalin merenkulun päästökaupan toteuttaminen on kuitenkin poliittisesti hyvin haasteellista.

Mahdollisen päästökaupan vaikutukset eri alustyypeille ovat myös erilaiset. Pienimmät vaikutukset kohdistuisivat hitaaseen bulk-liikenteeseen ja suurimmat vaikutukset kontti- ja erityisesti Ro-Ro-liikenteeseen. Alustyyppien erilaiset mahdollisuudet sopeutua päästökauppamekanismiin (vrt. EEDI) voisi huomioida samaan tapaan kuin EU ETS:ssä on jo aiemmin huomioitu eri sektorien kilpailutilanne ja päästövähennysten kustannukset.

Jos päästökaupan kohteeksi otetaan EU:n sisäinen, sekä EU-alueelle ja -alueelta suuntautuva liikenne, on mahdollista, että osa liikenteestä järjestellään uudelleen siten, että EU-alueelle tuleva ja sieltä lähtevä liikenne jälleenlaivataan EU-alueen ulkopuolella lähellä todellista määränpäättä päästökaupan velvoitteiden kiertämiseksi. Tämä riski koskee kuitenkin vain osaa liikenteestä. Bulk-liikenne ja Ro-Ro-liikenne ovat luonteeltaan sellaisia, että niiden osalta on vaikea nähdä tilannetta, jossa ylimääräinen purku ja lastaus jossain EU-alueen ulkopuolella voisi tulla kysymykseen. Suurin riski kohdistuu konttiliikenteeseen.

Mikäli merenkulun sisällyttäminen päästökauppaan aiheuttaisi merkittävän lisäkustannuksen konttiliikenteelle, voisi se tarkoittaa sitä, että osa Euroopan konttiliikenteestä siirtyisi purettavaksi ja uudelleen laivattavaksi johonkin EU:n lähialueille. Huomioiden

lastinkäsittelykustannusten merkittävän osuuden erityisesti valtamerikonttiliikenteessä voidaan kuitenkin arvioida tällaisen riskin kohdistuvan lähinnä ns. feeder-yhteyksien päässä olevaan osuuteen liikenteestä. Tällaisen operaation aiheuttama lisäkustannus olisi kuitenkin jopa 200 dollaria¹ yhtä konttia kohden, joten päästöoikeuden hinnan pitäisi olla huomattava tehdäkseen sen kaltaisesta toiminnasta kannattavaa.

Merenkulun sisällyttäminen päästökauppaan voi muuttaa eri kuljetusmuotojen välistä kustannustasapainoa, jolloin seurauksena voi olla osittain myös rahtivirtojen siirtymistä toisille kuljetusmuodoille, mikäli niille ei kohdistuisi vastaavia lisäkustannuksia. Bulk-liikenteen osalta tällaista ei muiden kuljetusmuotojen kapasiteetti ja kustannustehokkuus huomioiden voi pitää todennäköisenä. Sitä vastoin konttiliikenne ja erityisesti Ro-Ro-liikenne on teknisesti yksinkertaista siirtää maalla kulkeville kuljetusmuodoille.

Käytännössä tämä tarkoittaisi esimerkiksi Suomen ja Keski-Euroopan välisessä suur-yksikköliikenteessä rahtivirtojen ohjautumista nykyistä enemmän maantiekuljetuksiin Ruotsin ja Baltian maiden kautta. Tämän seurauksena merenkulun aiheuttamat CO₂-päästöt vähenisivät, mutta kokonaispäästöt lisääntyisivät merkittävästi.

Päästökaupalla ja muilla polttoaineen kulutukseen perustuvilla taloudellisilla ohjauskeinoilla voidaan olettaa olevan vaikutuksia yritysten operatiiviseen toimintaan, ja täten hiilidioksidipäästöjen määrään. Laivaliikenteen energiatehokkuus paranee huomattavasti tulevaisuudessa, mutta tämä ei riitä kumoamaan liikenteen kasvun aiheuttamaa päästöjen lisääntymistä.

Ilman uusia politiikkatoimia päästöt Itämerellä eivät todennäköisesti vähene, koska liikenteen odotetaan kasvun voimakkaasti nykyisen trendin mukaan. Kuljetussuorite Itämerellä vuonna 2018 oli 965 mrd. tonni-km, kun vuonna 2050 se on arviolta noin kolminkertainen, eli 2 946 mrd. tonni-km. Samaan aikaan CO₂-päästöt olivat 2018 15 691 ja vuonna 2050 arviolta 16 323 tuhatta tonnia. (Ks. Liitteet 1. ja 2.)

Energiatehokkuus kuitenkin paranee suoriteyksikköä kohti; keskimääräinen tehokkuusindeksi oli vuonna 2018 noin 16.3 grammaa per tonnikipometri, kun vuonna 2050 vastaavan indeksin arvioidaan olevan 5.5 grammaa tonni-km kohden. Tämä tarkoittaisi 66 %:n parannusta alusten energiatehokkuuteen. Kokonaispäästöt eivät kuitenkaan laskisi vuoden 2018 tasosta, joten merkittävä osa alusten päästöistä jää mahdollisen päästökaupan piiriin.

¹ Arviossa yhden konttioperaation hinta on satamasta riippuen noin USD 100/konttinosto.

Alusten sisällyttämistä EU ETS:ään arvioitiin kolmella eri hiilidioksiditonin hintatasolla: Ensimmäinen arvio perustuu hiilidioksiditonin hintaan päästökaupassa helmikuussa 2020 (23,35 euroa/tonni). Muut arviot perustuivat Maailmanpankin (2019) esittämiin arvioihin niistä päästökaupan hintatasoista, joiden on arvioitu riittävän Pariisin sopimuksen ilmastotavoitteiden täyttämiseen. Helmikuun 2020 päästöoikeuden hinnalla² meriliikenteen sisällyttäminen EU ETS:ään aiheuttaisi alustyyppistä riippuen noin 6–11 % lisäkustannuksen merikuljetuksille.

Pienin kustannusvaikutus olisi hitaammilla ja suhteessa kuljetuskapasiteettiin vähemmän polttoainetta käyttävillä bulk-aluksilla sekä konventionaalisilla kuivalastialuksilla. Suurin kustannusvaikutus (10–11 %) kohdistuisi nopeampiin Ro-Ro-aluksiin ja konttialuksiin.

Mikäli päästöoikeuksien hintakehitys noudattaisi Maailmanpankin (2019) arvion ylärajaa 80 US\$/ tonni, olisi lisäkustannus Itämeren ja Suomen liikenteen merikuljetuksille 21–37 %. Tällöin konttikuljetukset kallistuisivat 37 % ja Ro-Ro-kuljetukset 34 %, mitä voidaan pitää varsin merkittävänä.

Alkuvuonna 2020 vallinneella päästöoikeuksien hintatasolla keskimääräiset vaikutukset suhteessa kuljetuskustannuksiin olisivat 0,5 (elektroniikkateollisuus) – 4,4 % (kulkuneuvojen valmistus) ja suhteessa liikevaihtoon 0,1–0,5 %.

Mikäli päästöoikeuden hinta nousisi 80 dollariin hiilidioksidiekvivalenttonnilta, olisi keskimääräinen vaikutus 1,8–14,6 % suhteessa kuljetuskustannuksiin, ja 0,1–1,7 % suhteessa yritysten liikevaihtoon. Näin ollen merenkulun sisällyttämisellä päästökaupaan ei olisi suuria vaikutuksia yritysten kilpailukyvyille. On kuitenkin huomioitava, että yksittäisten yritysten ja tuotantolaitosten kilpailukyvyyn näkökulmasta myös keskimäärin pienet muutokset voivat olla toiminnan tuloksellisuuden ja kannattavuuden näkökulmasta merkittäviä.

Samoin, mikäli yritys on voimakkaasti riippuvainen alusliikenteestä, johon päästökaupan vaikutukset kohdistuvat keskimääräistä voimakkaammin, kuten Ro-Ro-, Ro-Pax- ja konttialukset, voi päästökaupan vaikutus sekä suoraan kustannustason nousuna että epäsuorasti palvelun mahdollisen häiriintymisen seurauksena olla arvioitua merkittävästikin suurempi.

Olemassa olevalla aluskalustolla on rajalliset mahdollisuudet päästöjen vähentämiseen kustannustehokkaasti. Mahdollisia ovat lähinnä erilaiset operatiiviset päästövä-

² 11.6.2020 noteraaus oli 22,30 €/t, joten vaikutus on pysynyt käytännössä samana.

hennyskeinot, kuten reittioptimointi ja nopeuden hidastaminen. Näiden keinojen potentiaali riippuu merkittävästi aluksen operoinnin logiikasta. Nopeuden hidastaminen ja reittioptimointi onnistuvat helpommin hakurahtiliikenteessä toimivalta bulk-liikenteeltä, mutta tarkassa ja usein tiukassa aikataulussa operoivalle reittiliikenteelle se aiheuttaisi aikatauluista myöhästymisiä ja aikataulujen muutoksia. Nykyisen aluskaluston kannalta suurin osa teknisistä päästövähennyskeinoista ei ole taloudellisesti kannattavia nähtävissä olevilla päästökaupan hinnoilla.

Esimerkiksi roottoripurjeiden kaltaisten investointien takaisinmaksuaika olisi vielä päästöoikeuden 80 dollarin tonnihinnalla yli 20 vuotta. Vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöönotto on tällä hetkellä taloudellisesti vielä kannattamattomampaa. Eri lähteiden perusteella ne tulisivat kannattavaksi vasta päästöoikeuden hinnan ylittäessä 220–460 USD per tonni.

IAS- ja IA-jääluokkien alusten konetehot ja sitä kautta polttoaineen kulutus ovat alustyyppistä riippuen 10–30 % korkeampia kuin avovesialuksilla. Korkeampi polttoaineen kulutus tarkoittaa luonnollisesti myös sitä, että IAS-jääluokan alusten CO₂-päästöt ovat vastaavasti korkeammat. Tämä yhteys on merkittävä erityisesti jääolosuhteissa, joissa jäävahvistetut alukset joutuvat käyttämään merkittävän osan konetehostaan jäissä kulkemiseen.

Tämä tarkoittaa sitä, että talvimerenkulun erityisolosuhteiden takia suomalaiset ja Suomessa liikennöivät alukset kärsisivät muita aluksia enemmän päästökaupan aiheuttamista lisäkustannuksista. Niillä ei myöskään ole mahdollista samalla tavoin välttää päästökaupan aiheuttamaa lisälaskua, koska jäissä kulkeminen vaatii niiltä tiettyä konetehoa. Vastaavasti avovesiolosuhteissa käytettävä konetehto ja siten polttoaineen kulutus ja CO₂-päästöt ovat lähempänä avovesilaitojen tasoa, ja kustannusero siten pienempi kuin talvella.

Markkinamekanismien vaikuttavuus CO₂-päästöjen vähentämisessä

IMO:n alustavassa strategiassa asetetaan merkittävät päästöjen vähentämistavoitteet ja kuvataan kunnianhimoinen visio merenkululle kohti hiilidioksidipäästötöntä tulevaisuutta. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi on kuvattu lyhyen, keskipitkän ja pitkän aikavälin toimenpiteet.

Käsillä olevaan selvitykseen on koottu ja päivitetty keskeinen markkinamekanismeja (MBM) käsittelevä kirjallisuus. Markkinamekanismit kuuluvat keskipitkän aikavälin toimien joukkoon IMO:n alkuperäisen strategian mukaan. Esimerkkejä markkinamekaniemeistä ovat ympäristöverot, erilaiset kompensatiomekanismit ja tuet sekä päästökauppajärjestelmät.

Markkinamekanismit ovat joustavia mekanismeja, jotka käyttävät markkinahintoja ja muita taloudellisia tekijöitä päästöjen vähentämisen kannustimina. Markkinamekanismit pakottavat päästöjen (välittömät) aiheuttajat myös korvaamaan päästöjensä aiheuttamat kustannukset, ja sisäistävät siten päästöjen ulkoisia ympäristökustannuksia (ns. internalisation of external costs of transport).

Merenkulun merkittävä hiilidioksidipäästöjen vähentäminen edellyttää monen tasoisia ja konkreettisia ratkaisuja, jotka voivat aiheuttaa merkittäviä toiminnallisia ja/tai teknologisia muutoksia. Tämän vuoksi tarvitaan lisäksi myös lyhyen ja pitkän aikavälin toimenpiteitä, jotta IMO:n asettamiin tavoitteisiin voitaisiin päästä.

Tammikuuhun 2013 saakka merenkulku ei ollut mukana missään oikeudellisesti sitovassa sopimuksessa huolimatta sen merkittävästä vaikutuksesta ilmastonmuutokseen. IMO:n piirissä syntyneet EEDI ja SEEMP olivat ensimmäiset pakolliset toimenpiteet uusille rakennettaville aluksille ja nykyisille aluksille. Ne ottivat huomioon energiatehokkaiden moottoreiden ja muiden laitteiden käyttöönoton aluksella sekä operatiivisen kehityksen hyödyntämisen, kuten reittioptimoinnin sekä säätilan mukaisen reitityksen, jotka osaltaan parantavat merenkulun energiatehokkuutta.

Viimeaikaiset tutkimukset kuitenkin osoittavat, että nämä toimenpiteet eivät ole merkittävästi vähentäneet merenkulun maailmanlaajuisia CO₂- tai muiden kasvihuonekaasujen saati pienhiukkasten päästöjä.

Maailman kauppaa-alustonniston uusiutuminen vie useita vuosia ja maailmankaupan (ainakin pidemmällä aikavälillä mahdollinen) kasvu tulee lisäämään meriliikenteen absoluuttisia päästöjä varsin paljon. Siten merkittävä merenkulun CO₂-päästöjen vähentäminen edellyttäisi nopeaa siirtymistä kohti hiilidioksidipäästöttömiä teknologioita ja vaihtoehtoisia polttoaineita.

Merenkulun päästöjen on odotettu kasvavan merkittävästi vuoteen 2050 saakka (IMO, 2014), ellei toimenpiteitä toteuteta. Euroopan komissio on sitoutunut ilmastonmuutoksen torjuntaan mm. European Green Deal -tiedonannolla. Siinä EU:n päästökauppajärjestelmä (EU ETS) on nähty keskeisenä sääntelyvälineenä myös merenkulun päästöjen vähentämisessä.

Merenkulkuelinkeino kuitenkin vastustaa päästökauppajärjestelmän käyttöönottoa. Historiallisesti alhaiset, jopa nollassa olevat hiilipäästöjen kompensatiohinnat sekä kokemukset esimerkiksi lentoliikenteen päästökaupasta osoittavat, että alueellinen sääntely (esim. vain EU:n aluetta koskeva) ei ole riittävän tehokas keino säännellä maailmanlaajuisesti toimivia aloja. Lisäksi useat eri sidosryhmät ovat huolissaan siitä, että EU:n päästökauppajärjestelmä vääristäisi kilpailua, johtaisi hiilivuotoihin ja toisi varustamoille ja osin satamillekin ylimääräisen ja kohtuuttoman raskaan hallinnollisen rasitteen.

Alueellisen sääntelyn lisääntyminen kansainvälisessä kaupassa niin, että myös merenkulku tulisi mukaan EU:n päästökauppajärjestelmään, on nostanut esiin ajatuksen maailmanlaajuisesta merenkulun päästökauppajärjestelmästä.

On ilmeistä, että globaali järjestelmä on erittäin vaikea toteuttaa muun muassa siksi, että kansainvälisesti kauppaa käyviä aluksia on paljon ja järjestelmä vaatisi paljon resursseja järjestelmän asentamiseen, käyttämiseen ja tietojen tarkistamiseen. Tämän lisäksi merenkulku muodostaa joillekin maille merkittävän tulonlähteen koko kansantalouden kokoon nähden, mikä tekee globaalin päästökauppajärjestelmän luomisesta poliittisesti erittäin haastavaa.

Mikäli päästökattoa ei aseteta riittävän tiukaksi, on vaarana, että maailmanlaajuinen merenkulun päästökauppajärjestelmä ei anna riittävää varmuutta päästöoikeuksien hintatasosta. Tällöin yritykset saattavat yksinkertaisesti kompensoida päästöjä sen sijaan, että pyrkisivät niitä vähentämään. Päästöoikeuksien hintoja on erittäin vaikea ennakoita useita vuosia eteenpäin. Päästöoikeuden markkinoihin voi myös tulla vaikeasti hallittavia häiriöitä, mm. alan keskittyneisyyden vuoksi: kuuden suurimman varustamon osuus maailman tonnistosta on noin 50 %.

IMO:lle ehdotetussa polttoaineverossa (ns. bunkkerimaksu tai bunker levy) kertyneet varat koottaisiin kansainväliseen rahastoon. Tiedeyhteisö on tukenut tätä vaihtoehtoa laajalti, sillä sen etuna on ennakoitavissa oleva lisäkustannus polttoaineen hintaan. Lisäksi tämän tyyppinen bunkkerimaksu kasvattaisi hiili-intensiivisten energiaratkaisujen kustannuksia, jolloin vähäpäästöisemmät teknologiat (ja niiden yhdistelmät) tulisivat houkuttelevammiksi. Tämä auttaisi myös parantamaan tarvittavaa infra- ja suprastruktuuria aluksilla ja maissa sekä osaltaan poistaisi uusien ratkaisujen toteuttamiseen mahdollisesti liittyviä teknisiä ja sääntelyllisiä esteitä.

Alan tutkimuksen pohjalta markkinapohjaiset mallit, ja niistä erityisesti polttoainevero saavat eniten kannatusta, mutta näiden teho saavutetaan käytännössä parhaiten maailmanlaajuisella ratkaisulla.

COVID-19 vaikutukset meriliikennesektoriin ja talouteen voivat vaikeuttaa markkinaehtoisista päästövähennyskeinoista sopimista IMO:n piirissä. Toisaalta EU:n Green Deal voisi antaa virikkeitä keskusteluun myös IMO:n piirissä.

Kirjallisuuskatsauksen perusteella meriliikenteen polttoaineiden verotus laskisi välittömästi alusten keskinopeuksia ja siten myös polttoaineen kulutusta, mikä johtaisi päästövähennyksiin kuljetettua tavarayksikköä kohden. Tähän mennessä polttoaineiden verotukseen tehty eri tasoisia esityksiä. ITF (2015) on esittänyt veron tasoksi 25 dollaria per CO₂-tonni, mutta varustamoiden kansainvälinen kattojärjestö ICS vain 2 dollaria polttoainetonnin kohti. On huomattava, että jos tällainen veroluontoinen maksu olisi (hyvin) alhainen, se ei kannustaisi investoimaan vähähiiliseen teknologiaan, eivätkä päästöt vähenisi ainakaan lyhyellä aikavälillä.

Ottaen huomioon merenkulun markkinan epäyhtenäinen rakenne voisi bunkkeripolttoaineiden toimittajien kautta perityt maksut toimia tehokkaasti hiiliveron käyttöön-otossa, koska sen hallinnointi on suhteellisen yksinkertaista.

Selvityksen valmistuessa maailmanlaajuinen COVID-19-pandemia ja sen hillitsemisen vastatoimet ovat mullistaneet muun muassa maailmankauppaa, rahtikysyntää ja polttoaineiden hintoja ennennäkemättömän laajasti ja nopeasti.

Erityisesti raakaöljyn eri viitelatujen maailmanmarkkinahintoihin ovat vaikuttaneet myös COVID-19-pandemian vaikutuksista erilliset erimielisyydet erityisesti Venäjän ja Saudi-Arabian välillä sekä OPEC-maiden keskuudessa laajemminkin. Tämän lisäksi nopeasti supistunut liikennepolttoaineiden maailmanlaajuinen kysyntä kaikissa kuljetusmuodoissa niin henkilö- kuin tavaraliikenteessä sekä yksityisautoilussa on osaltaan laskenut raakaöljyn viitelatujen hintoja merkittävästi.

Yhdysvalloissa, joka on liuskekivituotannon ansiosta nykyään raakaöljyn osalta oma-
varainen ja myös sen merkittävä viejä, tilanne eteni hetkellisesti jopa negatiivisiin hintoihin, kun maan varastointikapasiteetti on käytännössä loppunut.

Koska merenkuljetus- ja satamapalveluiden kysyntä on käytännössä kokonaan ns. johdettua kysyntää, tarkoittaa teollisen tuotannon, yksityisen kulutuksen ja kaupan samanaikainen ja lähes kaikkia toimialoja koskeva maailmanlaajuinen supistuminen vähentynyttä toimintaa. Tämä tarkoittaa myös kasviuonekaasupäästöjen vähentymistä ainakin lyhyellä tai keskipitkällä aikavälillä, mutta ei pitkällä aikavälillä.

Samanaikaisesti ennennäkemätön polttoaineiden hintojen lasku alkuvuonna 2020 toimii merkittävänä vastavoimana kasviuonekaasupäästöjen vähenemiselle. Useat kaupallisessa liikenteessä olevat alukset operoivat nyt aiempaa suuremmilla nopeuksilla,

koska polttoaineen hinta on alhainen. Tämä lisää puolestaan hiilidioksidipäästöjä kuljetustyön yksikköä (esim. tonni-mpk) kohden. Tämän seurauksena esimerkiksi suuria kontti- ja bulk-aluksia kiertää tällä hetkellä Afrikan ympäri suurella nopeudella, koska tämä on halvempaa kuin kulkea Suezin läpi. Se, mikä on taloudellisesti järkevää, ei aina ole kasvihuonepäästöjen suhteen hyvä asia.

Vaikutukset globaaleihin teknologiamarkkinoihin

Kymmen vuoden ajanjaksona markkinamekanismilla kerättäisiin valuuttakursseista ja merenkulun volyymeistä riippuen globaalisti noin 600–1 200+ miljardia euroa. Näin erilaisille päästövähennysteknologioille avautuisi varovaisestikin arvioiden yli 1 000 miljardin euron markkinat jo seuraavan vuosikymmenen aikana.

Tässä kilpailussa voittajia olisivat todennäköisesti ne valmistajat ja maat, jotka ovat nyt kyseisen teknologiaosaamisen eturintamassa. Näitä ovat (aakkosjärjestyksessä) esimerkiksi Hollanti, Norja, Ruotsi, Saksa, Suomi, Sveitsi ja Tanska. EU:n ulkopuolisista maista myös esimerkiksi Etelä-Korea, Japani, Kanada, Singapore ja Yhdysvallat ovat päästövähennysteknologian osaamisessa varsin pitkällä.

Asetelma vaikuttaa väistämättä globaaliin päätöksentekoon asiassa riippumatta siitä, millainen markkinamekanismi tulisi kyseeseen. Mitä vahvempia kansallisia tai vaikkapa EU- tai IMO-tason TKI-kannustimia markkinamekanismien tueksi tulisi, sitä leveämmäksi ja syvemmäksi railo menestyvien valtioiden ja yritysten – ja toisaalta muiden valtioiden ja toimijoiden välillä kasvaisi.

1 Johdanto

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivillä 2003/87/EY toteutettiin kasvihuonekaasujen päästöoikeuksien kaupan järjestelmä Euroopan Unionissa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Tällä hetkellä päästökauppaa sovelletaan liikenteen sektorilla ainoastaan lentoliikenteeseen. EU:n komissio on 11.12.2019 julkaisemassaan Green Deal -tiedonannossa esittänyt päästökaupan laajentamista myös meriliikenteeseen.

Kansainvälisessä merenkulkujärjestö IMO:ssa on vuonna 2018 sovittu alustavasta kasvihuonekaasustrategiasta merenkulun päästöjen vähentämiseksi. Meriympäristön suojelukomitea MEPC:ssä (Marine Environment Protection Committee) neuvotellaan tällä hetkellä lyhyen tähtäimen päästövähennyskeinoista. Näihin sisältyvät mm. erilaiset alusten kulkunopeuteen, konetehtoon, suunnitteluindeksiin tai operatiiviseen indeksiin perustuvat päästövähennyskeinot.

Tässä raportissa pyritään selvittämään, minkälaisia vaikutuksia merenkulun sisällyttämisellä EU:n sisäiseen päästökauppaan (tästä EU ETS), ja IMO:ssa käsitellyssä olevilla lyhyen tähtäimen päästövähennyskeinoilla on EU:n merenkuluelinkeinon, suomalaisen varustamoelinkeino ja Suomen ulkomaankaupan kilpailukyvyille.

Tätä raporttia kirjoitettaessa ei ole tarkempaa tietoa siitä, miten päästökaupan laajentaminen meriliikenteeseen olisi tarkoitus toteuttaa. Toteuttamiselle on lukuisia eri vaihtoehtoja, jotka eroavat toisistaan mm. rakenteen, laajuuden ja toteuttamislogiikan osalta. Eräs keskeinen valinta on myös, sisällytetäänkö merenkulku EU ETS:ään, vai luodaanko merenkululle oma EU:n laajuinen päästökauppajärjestelmä.

Tässä raportissa esitellään olemassa olevan tutkimuskirjallisuuden perusteella päästökaupan keskeiset toteuttamisvaihtoehdot, ja käsitellään niiden toteuttamislogiikka, laajuus, vaikutukset eri toimijaryhmiin, sekä niiden aiheuttamat haasteet sekä toteuttamisen, että eri sidosryhmien näkökulmasta.

Päästökaupan vaikutus merenkulun päästöihin riippuu niin käytetystä mekaniismista, kuin eri päästövähennyskeinojen päästövähennyspotentiaalista ja kustannustehokkuudesta. Merenkulun päästökaupan vaikutuksia meriliikenteen päästöihin käsitellään raportin luvussa 4. Luvussa 5. käsitellään merenkulun päästökaupan ja markkinaehtoisten päästövähennyskeinojen vaikutuksia merenkulun toimintaan, erityisesti Suomelle ja Suomen ulkomaankaupalle tärkeän lähimerenkulun näkökulmasta. Luvussa 6. esitellään keskeisimmät markkinaehtoiset päästövähennyskeinot erityisesti niiden päästövähennyspotentiaalini ja kustannustehokkuuden näkökulmasta.

Luku 7. laajentaa tarkastelunäkökulman päästökaupan vaikutuksiin kauppamerenkulun asiakkaille ja sitä kautta ulkomaankaupan kilpailukyvyille. Luvussa esitetään numeerinen arvio sille, millainen kilpailukykyvaikutus merenkulun päästökaupalla olisi Suomen ulkomaankaupalle, ja mille toimialoille suurimmat vaikutukset kohdistuisivat.

Suomen ulkomaankaupan logistiikan erityispiirre on talvimerenkulun ja sen osana jäänmurron vaikutus. Luvussa 8. arvioidaan talvimerenkulun aiheuttamaa lisäkustannusta Suomen ulkomaankaupan logistiikalle.

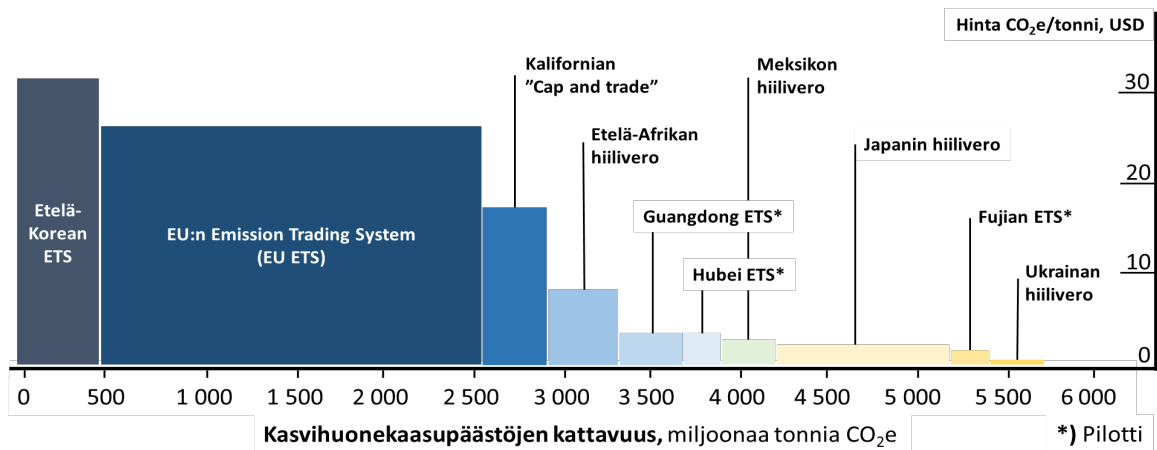
2 EU:n päästökauppa ja meriliikenne³

2.1 EU:n päästökauppajärjestelmä

Vuoden 2020 alussa noin 15 % maailman CO₂-päästöistä oli jonkin hinnoittelumekanismiin piirissä, ja tuon osuuden ennakoidaan kasvavan noin 20 prosenttiin vuoden 2021 loppuun mennessä. Euroopan unionin päästökauppajärjestelmä (EU ETS) on tällä hetkellä maailman laajin käytössä oleva CO₂-päästöjen hinnoittelumekanismi; sen piirissä on tällä hetkellä noin 2 600 miljoonaa tonnia hiilidioksidiekvivalenttia (CO₂e), eli noin puolet koko maailman kattavuudesta (Kuvio 1). (The Economist, 23.5.2020)

Kuvio 1. Maailman 10 kattavinta hiilipäästöjen hinnoittelujärjestelmää per 1.2.2020. Tilastolähde: Maailmanpankki; alkuperäisen kuvion lähde [The Economist](#), 23.5.2020.

10 suurinta hiilipäästöjen hinnoittelujärjestelmää päästöjen määrän mukaan per 1.2.2020



³ Perustuu seuraavaan kirjallisuuteen: Sheng ym. 2017; Gu ym. 2018; Dominioni ym. 2019

EU ETS:n tavoitteena on kasvihuonepäästöjen rajoittaminen Euroopan talousalueen sisällä. Järjestelmän piirissä on noin 40 % EU:n kasvihuonepäästöistä, ja siihen kuuluvat teollisuuden ja energiatuotannon toimijat, pääosin pois lukien pienet, lämpötehoaltaan alle 20 MW:n laitokset. Liikennesektorista ainoastaan EU:n sisäinen lentoliikenne on päästökaupan piirissä. EU:n komission Green Deal –tiedonannossa joulukuussa 2019 EU:n päästökauppaa ollaan laajentamassa tuntuvasti lisää.

EU ETS:n vaihdannan kohteena on päästöoikeus (European Emission Allowance, EUA). Yksi EUA antaa sen haltijalle oikeuden päästää yksi tonni hiilidioksidia tai vastaava (ekvivalentti) määrä kahta voimakkaampaa kasvihuonekaasua, typpioksidia (N₂O) tai perfluorihilivetyä (PFC).

EUA:n korkein hinta vuonna 2020 kesäkuun alkuun saakka oli 25,66 € (19.2.2020) ja alhaisin 15,24 € (18.3.2020). Koko tilastoinnin ajalta 7.4.2008 lähtien korkein hinta oli 29,03 € (22.7.2019) ja alhaisin 2,97 € (22.4.2013) (Kuvio 2); [EMBER](#), 5.6.2020).

Kuvio 2. EU ETS:n CO₂-päästöoikeuden (EUA) päivähinta euroina 7.4.2008 – 1.6.2020; viimeisin hintanoteeraus = 20,04 €/CO₂e tonnia. Lähde: [EMBER](#), 5.6.2020.



Osa päästöoikeuksista jaetaan ilmaiseksi hiilivuotoriskin ehkäisemiseksi – ettei päästöoikeuden kustannus lisäisi päästöjä toisaalla. Päästöoikeuksien kauppaa käydään esimerkiksi European Energy Exchange (EEX) -pörssin huutokaupassa. Tavoitteena on, että yhä suurempi osa päästöluvista hankitaan ostamalla. Päästöoikeuksien ilmaisjaosta Suomessa on aikaisemmin päättänyt TEM, mutta seuraavasta jakokaudesta (2021–2025) alkaen ilmaisjaosta vastaa Energiavirasto. Lentoliikenteen päästökaupasta Suomessa vastaa Traficom.

Päästöoikeuksia seurataan päästökaupparekisterin avulla, jota valvotaan kansallisella tasolla. Jos yrityksen kasvihuonepäästöt ylittävät sille annettujen päästöoikeuksien määrän, yritys voi ostaa ETS-järjestelmän kautta lisää päästöoikeuksia. Vastaavasti,

jos yrityksen päästöt jäävät sille määritettyä päästöoikeutta pienemmäksi, voi yritys myydä ylimääräiset päästöoikeudet muille ETS-järjestelmässä mukana oleville tahoille.

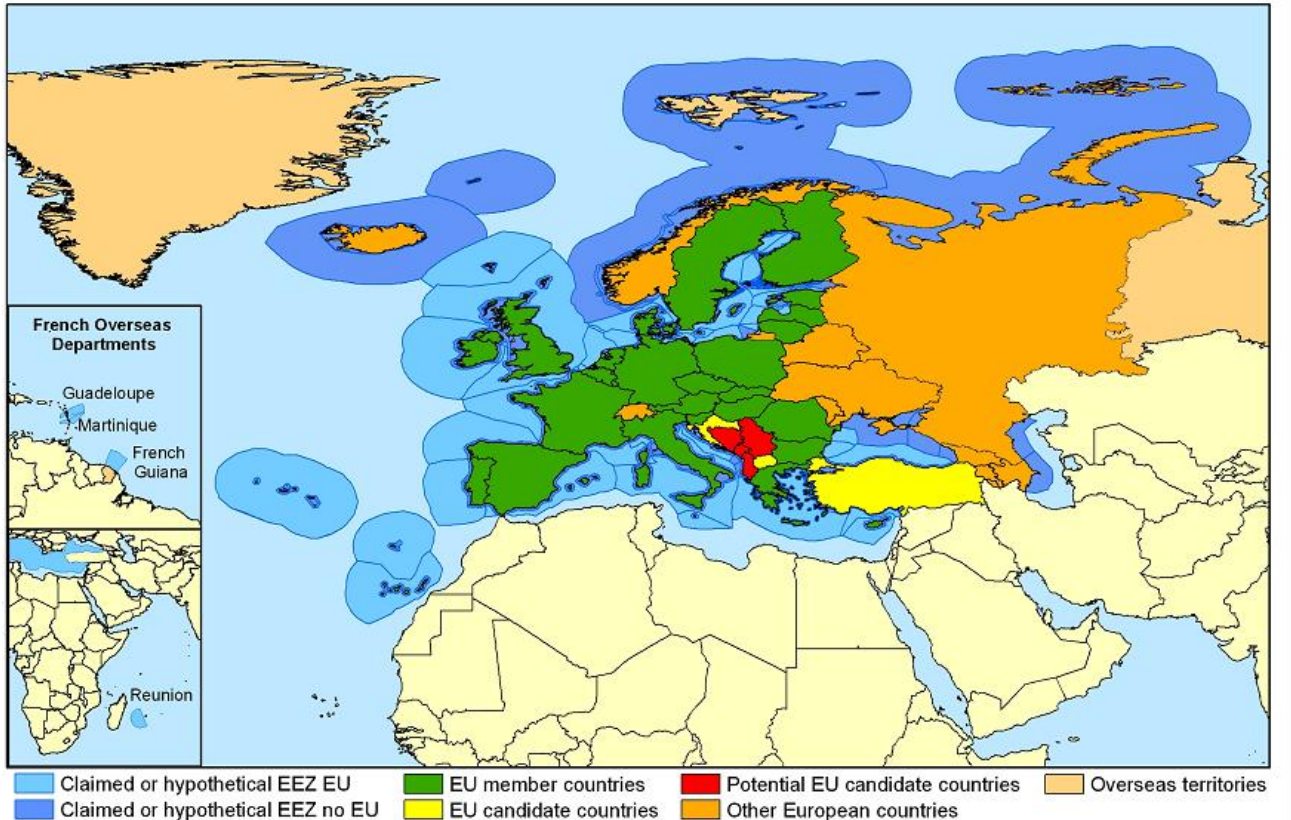
2.2 EU ETS päästökaupan soveltaminen merenkulkusektorille

Kasvihuonekaasujen vähentämiseksi komissio on asettanut tavoitteeksi myös merenkulun ottaminen mukaan päästökauppajärjestelmään. Muista päästökaupan toimituksista poiketen EU-maiden merenkulusta vain murto-osa tapahtuu EU:n alueella ja toisaalta EU:n alueella liikkuvien alusten lippuvaltio on usein muu kuin EU-maa. Laivaliikenteen kasvihuonepäästöjen EU ETS -järjestelmän malli voisikin olla saman tapainen kuin siviililentoliikenteessä on käytössä. Laivaliikenteen kasvihuonekaasujen päästökauppaa sovellettaisiin vain EU:n merialueella (Kuvio 3) ja mahdollisesti ETA-alueella.

Mellin et al. (2020) spekuloiivat, että eräs mahdollinen tapa sisällyttää merenkulku EU ETS:ään on EU MRV-järjestelmän (Monitoring, reporting and verification of CO2 emissions from large ships using EU ports) kautta. MRV edellyttää yrityksiä raportoimaan Euroopan komissiolle ja lippuvaltioille niiden alusten päästöt, jotka ovat olleet Euroopan talousalueen liikenteessä raportointiperiodin (kalenterivuosi) aikana. Raportoinnin edellytetään kattavan Euroopan talousalueen sisäinen liikenne, sekä matkat ennen ja jälkeen ETA-alueen satamassa käyntiä.

Raportointi on MRV:n mukaan pakollista kaikille yli 5000 rekisteritonnin kokoisille aluksille, pois lukien sota-alukset ja laivaston tukialukset, kalastusalukset, ei-kaupallisiin tarkoituksiin käytettävät valtion alukset, sekä sellaiset alukset, jotka kulkevat muulla kuin mekaanisella propulsiolla. Näihin lukeutuvat mm. jäänmurtajat. Raportointi sisältää tiedot aluksen polttoaineen kulutuksesta ja CO₂-päästöistä, kuljetusta matkasta, matka-ajasta ja aluksen tekemästä kuljetussuoritteesta.

Kuvio 3. EU:n jäsenmaiden ja naapurimaiden merihallinta-alueet (lähde: University of Sevilla).



Dominioni ym. (2019) esittää kolme erilaista vaihtoehtoa järjestää EU ETS -pohjainen päästökauppa merenkulkusektorille.

- A. Päästöt kirjataan aluksen EU:n merialueella kulkemalta matkalta ennen satamaan tuloa ja satamasta lähdön jälkeen.
- B. Päästöt kirjataan aluksen matka-ajan mukaan riippumatta siitä millä merialueella päästöt syntyivät.
- C. Päästöt kirjataan aluksen rahdin kulkeman matkan mukaan (logistinen ketju tai jopa tuotantoketju).

Vaihtoehto A muistuttaa lentoliikenteeseen sovellettua EU ETS-ratkaisua. Mallin käyttö edellyttää alusten reitti- ja nopeustietojen yksityiskohtaista käsittelyä ja vaatii liittymisen seurantajärjestelmään. Matka-aikaan perustuva vaihtoehto B on yksinkertainen mutta epätarkka ja sisältää päästöjä, jotka eivät suoraan liity toimintaan EU:n alueella. Lisäksi malli on muita alttiimpi väärinkäytöksille.

Vaihtoehto C kohdentaisi kuljetuksen päästöt paremmin rahtiin ja käyttäjille mutta vaatisi tarkat tiedot rahdin koko kuljetusketjusta ja reitityksestä. C-mallin etuna on täsmällisyys ja kytkentämahdollisuudet muihin hiilijalanjäljen laskentajärjestelmiin. Jo nyt merkittävä osa vaihtoehdon C vaatimista liikennetiedoista kerätäänkin, kun tuotekohtaista hiilijalanjäljen seuranta tehdään esim. PCF (Product Carbon Footprint) -järjestelmässä (esim. Carbon Trust 2020).

Koko merenkulun päästövähennyspotentiaalin kannalta vaihtoehto A on todennäköisesti tehottomin, koska se kohdistuu liikenteeseen rajallisella alueella. Kuitenkin sen mahdollistama ilmaisten päästöoikeuksien allokointi tasaisi laivaliikenteelle aiheutuvia kustannuksia.

Vaihtoehtona olisi erillinen, vain EU:n piirissä toimiva merenkulun oma päästökauppajärjestelmä. Kunnolla toimiakseen merenkulkuun keskittyvän päästökaupan tulisi kuitenkin olla globaali (ks. esim. Gu ym. 2019, Hermeling ym. 2015). Esimerkiksi lentoliikenteessä EU ETS:n käyttö on vauhdittanut maailmanlaajuisen lentoliikenteen CORSIA päästökauppajärjestelmän kehittämistä.

2.3 Merenkulkukusektorin päästökaupan toimintavaihtoehdot ja hiilivuotoriskit

Merenkulun eri aloilla on hyvin erilaiset mahdollisuudet päästövähennyksiin. Osa kykenee vähentämään päästöjä helpommin esimerkiksi alusten kulkunopeutta alentamalla, kun taas aikataulutetussa linjaliikenteessä nopeuden alentaminen on vaikeampaa. Päästökaupan taloudellinen rasitus tulisi olemaan Ro-Ro ja Ro-Pax-aluksille merkittävämpi kuin muille alustyypeille (Mellin ym. 2020). Ro-Ro ja Ro-pax-alukset kuluttavat merenkulun sektoreista eniten energiaa kuljetusyksikköä (tonni-NM) kohti (Taulukko 1). Olennaista olisikin, että niiden erityispiirre ensisijaisesti arvon ja tilavuuden, ei painon, kuljettajina tulisi huomioiduksi mahdollisen päästökaupan suunnittelussa.

Kuljetusmuotojen epätasainen kohtelu saa aikaan hiilivuotoilmiön. Tämä tarkoittaa tilannetta, jossa toimintoja siirretään löysemmän sääntelyn piiriin. Hiilivuodon mahdollinen laajuus riippuu siitä, miten merenkulun sisällyttäminen päästökauppaan toteutetaan. Esimerkiksi, jos päästöjen kustannus on vain EU:n alueella, niin rajausta voidaan yrittää kiertää mm. jälleenlaivauksella EU:n lähialueella. Nopean Ro-Ro-liikenteen ja halvan bulk-liikenteen kohdalla kierrättäminen tuskin on kannattavaa.

Taulukko 2. Merenkulun eri sektoreihin raportoidut päästöt MRV:ssä (Mellin ym. 2020).

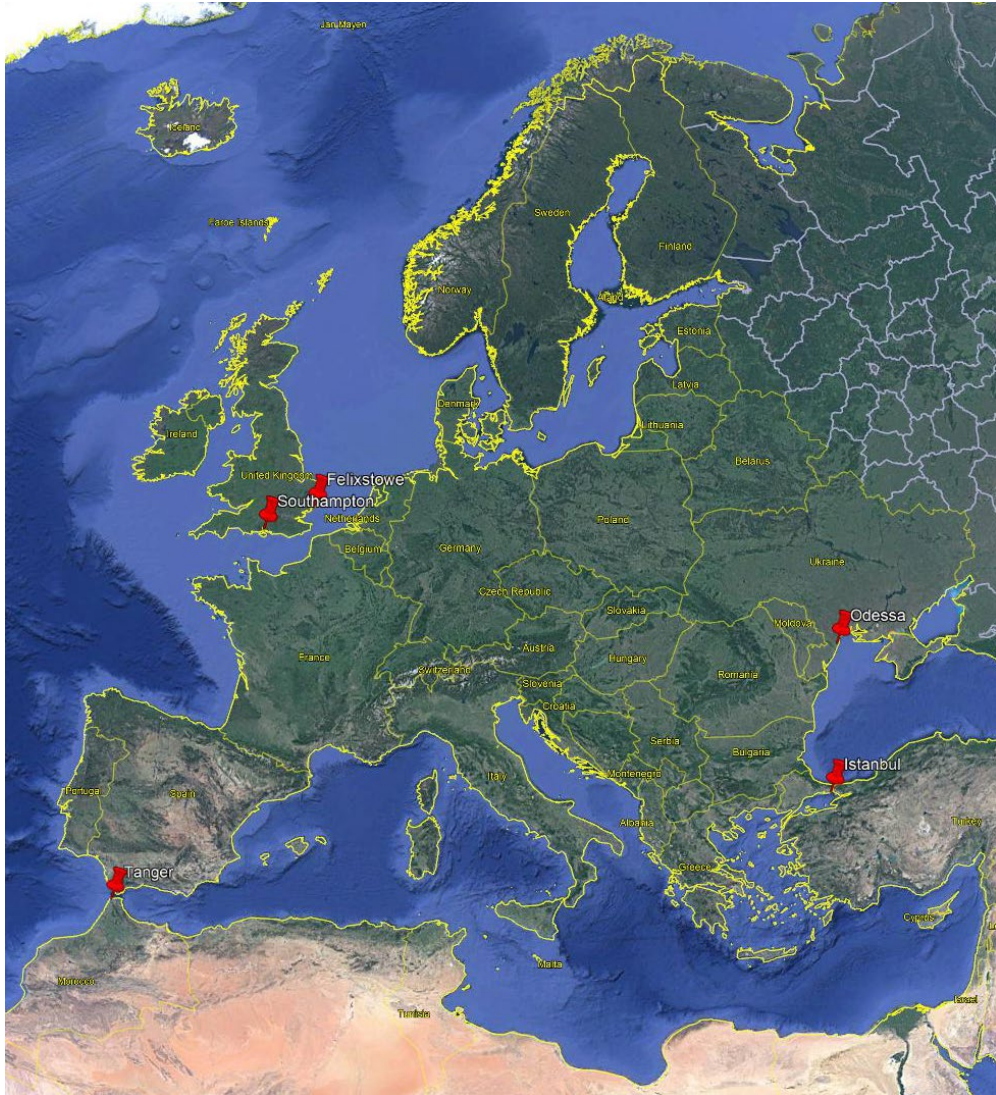
	Päästöt (milj.t CO ₂)	Osuus päästöistä	gCO ₂ /tonni-NM
Bulk-alukset	18,1	19,5 %	8,48
Konttialukset	44,4	47,8 %	20,13
Kuivalastialukset	6,13	6,6 %	28,02
Säiliöalukset	18,1	19,5 %	8,82
Ro-Ro-alukset	6,06	6,5 %	91,03

Suurin riski kuljetusten uudelleenorganisoinniseksi on konttiliikenteessä, jossa polttoaineen kulutus lastiyksikköä kohti on suhteellisen suuri. Lisäksi konttien purkaminen ja uudelleen lastaaminen on teknisesti helppo toteuttaa, joskin siitä aiheutuva lisäkustannus ja aikahaitta muodostavat tämän vaihtoehdon keskeisen vaihtoehtoiskustannuksen. Konttiliikenteelle uudelleenlaivaus olisi houkutteleva vaihtoehto, mikäli merenkulun sisällyttäminen päästökauppaan aiheuttaisi merkittävän lisäkustannuksen, joka olisi suurempi kuin yllä mainittu välilaivauksen lisäkustannuksen ja aikahaitan aiheuttama vaihtoehtokustannus.

Kuljetusmarkkinoilla yleensä ja merenkulussa erityisesti hyvinkin pieni rahassa mitattava kustannusero, eikä niinkään mahdollinen aikasäästö tai -lisä, aiheuttaa varsin nopeita siirtyviä halvempaan toimintatapaan. Tästä on osoituksena useiden suurten Euroopan ja Aasian välillä liikennöivien kontti- ja irtolastialusten reittien muutos Afrikan ympäri Suezin kanavan sijaan, kun polttoaineen hinta laski nopeasti maaliskuussa 2020. Tämän alustyyppistä ja liikennemuodosta riippuen 4–10 päivää pidemmän reitin absoluuttinen polttoaineenkulutus sekä siitä aiheutuvat lisäpäästöt ovat noin 15–30 % suuremmat.

Mahdollisesti merkittävä osa Euroopan konttiliikenteestä voisi näin ollen siirtyä uudelleen laivattavaksi johonkin EU:n lähialueille (Kuvio 4). Tällaisia potentiaalisia kohteita voisivat olla esimerkiksi Istanbul, Tangerang tai Brexit-neuvottelujen lopputuloksesta riippuen myös Gibraltar, Southampton tai Felixstowe.

Kuvio 4. Alueellisen ETS-järjestelmän ulkopuolisia satamia, joissa on mahdollisuus konttiliikenteen lisääntymiseen.



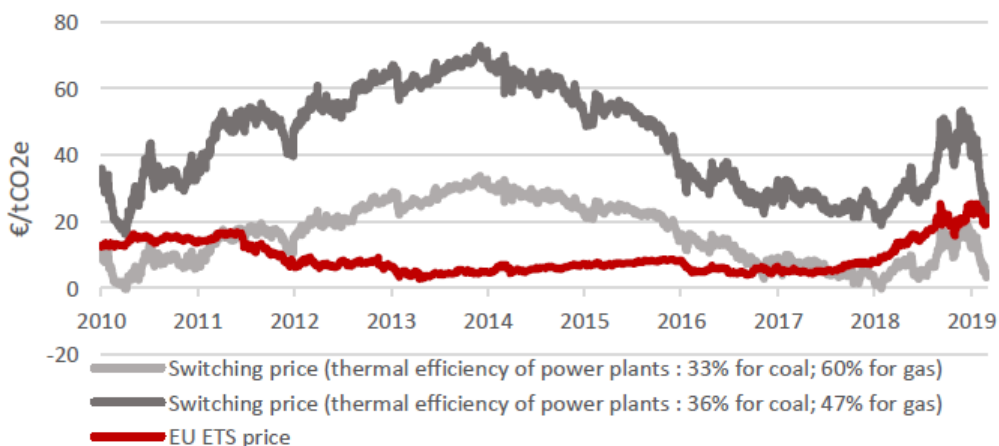
Merenkulun päästökaupan kustannukset voivat aiheuttaa myös kuljetusten siirtymistä muille kuljetusmuodoille. Suuryksikköliikenteessä voidaan olettaa siirtymää kuljetusmuodolta toiselle, mikäli eri kuljetusmuotojen välistä kustannustasapainoa muutetaan lisäämällä yksipuolisesti merikuljetusten kustannuksia. Suomen ja Keski-Euroopan Ro-Ro-liikennettä voi siirtyä Ruotsin, Tanskan ja Baltian maiden maanteille. Aiemmissä tutkimuksissa (esim. Notteboom ym. 2011, Solakivi ym. 2019, Zis ym. 2017) onkin havaittu merenkulun polttoainekustannusten kehityksellä olevan yhteys kuljetusmuodon valintaan sekä reittivalintoihin.

Kilpailukykyisten ja vähäpäästöisten merikuljetusten avulla voidaan vaikuttaa myös teollisuuden investointipäätöksiin Suomen talouden kannalta myönteisesti. Suomen näkökulmasta saattaisikin olla perusteltua ehdottaa laivaliikenteen päästöoikeuksien osittaista ilmaisjakoa merikulkusektorille. Päästöoikeuksien kauppa kannustaisi uuden teknologian kehittämiseen ja käyttöönottoon. Matalapäästöisen teknologian kehittäminen toisi töitä myös meriteollisuuden yrityksille. Nykyisessä EU ETS -järjestelmässä on olemassa ns. Innovaatorahasto, jonka tarkoituksena on edistää vähäpäästöisiä ja päästöttömiä innovaatioita eri toimialoilla.

2.4 EU ETS -hintatasot suhteessa merenkulun kustannustasoon

EU ETS:n hintaherkkyys on ollut merkittävää koko järjestelmän olemassaolon ajan, vaikeuttaen hintakehityksien ennusteen arviointia. Päästöoikeuksien hinta nousee BKT:n kasvun myötä. Toisaalta teknologian kehitys kuten sähköistyvä liikenne ja energiatehokkaat rakennukset laskevat päästöoikeuksien hintaa. Esimerkiksi vasta vuodesta 2018 eteenpäin CO₂:n hinta on tehnyt kannattavamaksi tuottaa sähköä kaasuvoimalla kuin kivihiiiltä polttamalla (Kuvio 5).

Kuvio 5. Päästöoikeuden hintakehitys ja kivihiihille ja maakaasulle kriittiset hintatasot joissa polttoaineen vaihto syntyy.

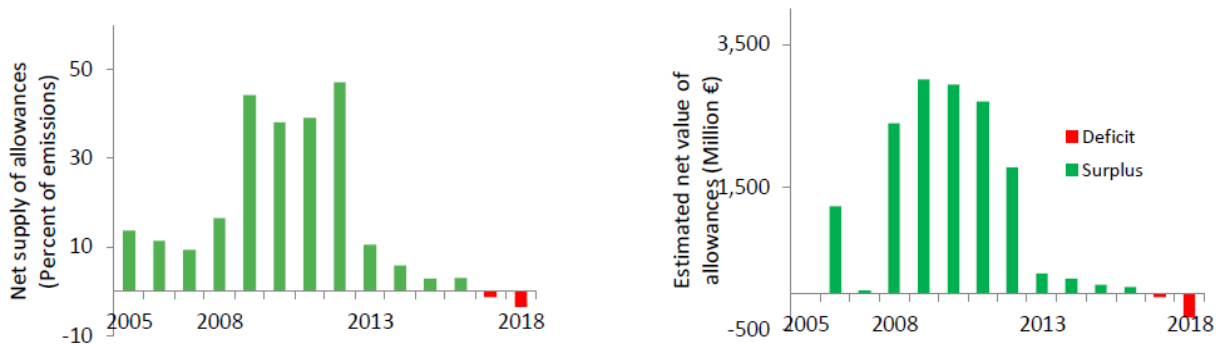


EU ETS -päästöoikeuksien hintatason odotetaan nousevan seuraavalla kaudella joutuen EU:n tiukkenevasta ilmastopolitiikasta⁴. Viime vuosina tarjontaa suurempi kysyntä on nostanut päästöoikeuksien hintaa (Kuvio 6). Kuvion 7 mukaan EU ETS -päästöoikeuston hinta on ollut noin 25 €/tonni CO₂. Hintaennusteessa on kuitenkin melkoista vaihtelua (Marcu ym. 2019).

Merenkulun kontekstissa tämä tarkoittaa sitä, että laivat, jotka pystyvät pienentämään kulutusta esimerkiksi nopeuttamalla alentamalla, voivat myydä säästyneitä päästöoikeuksia muille. Aikataulun mukaan kulkevat Ro-Ro- ja Ro-Pax-alukset laivat joutuvat hankkimaan kalliimmalla päästöoikeuksia tai investoimaan kulutusta säästävään teknologiaan.

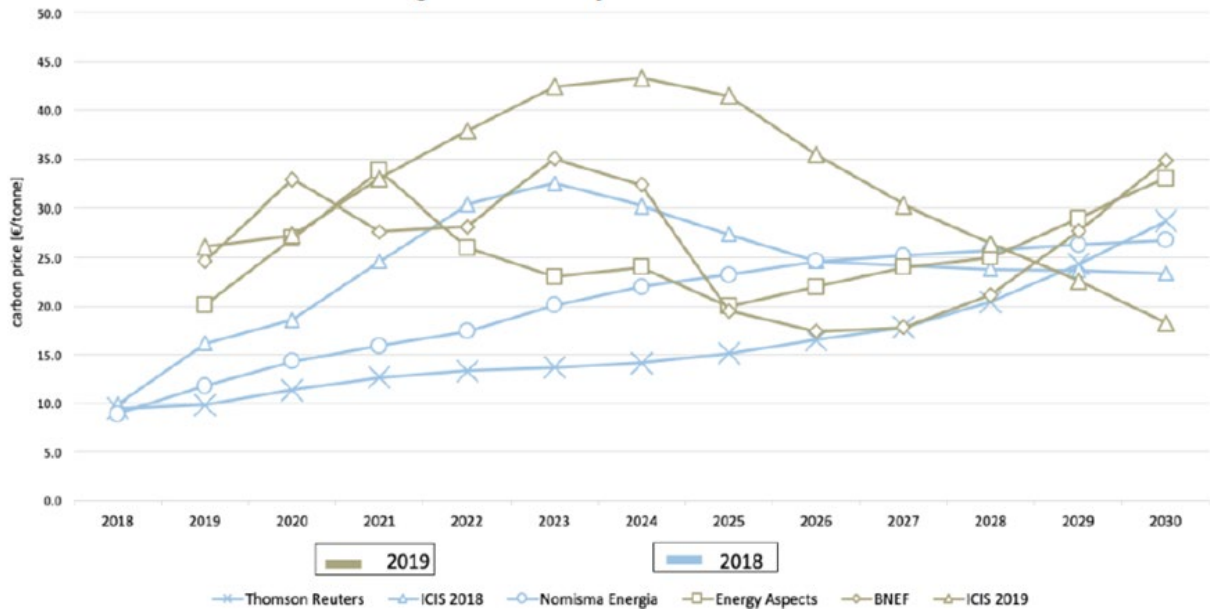
Kuvio 6. EU ETS -järjestelmään kuuluvan teollisuuskohteiden ilmaisjaon ja päästöoikeuden tarpeen tasapaino vuosina 2005–2018 (lähde: Marcu ym. 2019).

Net position and net costs of allowances for industrial installations



⁴ Alkuvuoden 2020 Covid-19-epidemian vaikutukset talouteen aiheuttavat todennäköisesti merkittävän päästöoikeuksien hinnan aleneminen

Kuvio 7. EU ETS -hintaennusteet, CO₂ €/tonni (lähde: Marcu ym. 2019).



Yksityiskohtia päästökaupan organisoinnista merenkulkusektorille ei vielä tunneta ja eri vaihtoehtojen kustannusvaikutukset ovat hyvin erilaisia. Päästökaupan käyttöönoton vaikutuksia voidaan lieventää jakamalla aluksi suurempi osa (esimerkiksi 80 %) oikeuksia ilmaiseksi sektorin toimijoille.

EU ETS -päästökaupan tuominen merenkulkusektorille ei välttämättä aiheuta suuria lisäkustannuksia. Järjestelmä mahdollistaa varustamoille päästöoikeuksien ostamisen ja myymisen koko EU-alueella ja eri sektorien välillä. Jos päästövähennysten kustannukset ovat matalampia kuin odotettu päästöoikeuden hintataso, kannattaa ylijääneet päästöoikeudet myydä toisille EU ETS -toimijoille ja investoida uuteen tehokkaampaan tekniikkaan. Investointihalukkuutta puhtaaseen teknologiaan voidaan tukea esimerkiksi päästöoikeuksien ilmaisjaon avulla. Merenkulkusektorille päästökaupan hintatason ennustettavuus on tärkeää erityisesti investointinäkökulmasta.

Laivaliikenteen kasvihuonepäästöjen mahdollinen liittäminen EU ETS -järjestelmään tapahtuisi todennäköisesti sellaisella tavalla, että se aiheuttanee – ainakin alkuvaiheessa – suhteellisen vähän kustannuksia Suomen kansantaloudelle. Päästökaupan tarjoamien vaihtoehtojen avulla kokonaiskustannus pysynee maltillisempaan kuin yksittäisten varustamojen toimintaan perustuvat kustannusestimaatit. Tämä johtuu siitä, että muiden EU ETS -sektoreiden kesken on mahdollista hyödyntää edullisimpia päästövähennysmahdollisuuksia.

Kuitenkin on syytä huomata, että Suomen ulkomaankauppa on hyvin riippuvainen merikuljetuksista myös EU:n sisällä. Merenkulun sisällyttäminen päästökaupan piiriin aiheuttaa Suomelle ja Suomen ulkomaankaupalle suuremman kustannusrasituksen kuin muille EU-maille. Lisäksi Suomella on muita EU-jäsenmaita vähemmän vaihtoehtoja kompensoida päästökaupan tuomia lisäkustannuksia joko merenkulun sisäisin operatiivisin muutoksin, tai siirtymällä muihin kuljetusmuotoihin.

Merenkulkusektori on suhdanneherkkä ja maailmankaupan hetkellinen hidastuminen vaikuttanee todennäköisesti laivaliikenteen päästömääriin. Päästöoikeudet todennäköisesti halpenevat, ja riskialttiita pitkäkestoisia investointeja siirretään.

3 Markkinaperusteiset toimenpiteet kirjallisuudessa

Kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan eri näkökulmista markkinaperusteisten toimien käyttöönoton vaikutuksia ja on näin varsin ajan tasalla olevaa tutkimusmateriaalia aiheesta. Tämän vuoksi näistä voi olla apua kehitettäessä kokonaisvaltaista lähestymistapaa hiilivapaan merenkulun suunnittelussa. Katsaukseen on sisällytetty myös eri organisaatioiden tekemiä tutkimuksia aiheesta.

Taulukko 3:ssa esitetään yhteenveto keskeisistä markkinamekanismeista, joita on käsitelty sekä tieteellisissä julkaisuissa että muussa kirjallisuudessa. Ne on jaoteltu kahden pääluokkaan variantteineen: 1) polttoainevero ja 2) päästökauppa.

Taulukko 3. Yhteenveto keskeisiä markkinapohjaisia malleja käsittelevästä kirjallisuudesta.

Markkinamekanismi	
Polttoainevero ja vastaavat	Zhao, 2011; Devanney, 2011; Gkonis ym., 2012; Cariou ja Cheaitou, 2012; Guy ym., 2015; Kosmas ja Acciaro, 2017; Lema ym., 2017; Parry ym., 2018; Psaraffis, 2019; MEPC 60/4/55; Tanaka ja Okada, 2019; BHB group, 2019; Halim ym., 2019; Kachi ym., 2019; Smith ym., 2016; Chai ym., 2019; Psaraffis ja Lagouvardou, 2020
Päästökauppa (ET) ja vastaavat	Miola ym., 2011; Lema ja Papaioanou, 2013; Wang ym., 2015; Koesler ym., 2015; Smith ym., 2016; Shi, 2016; Zhu ym., 2018; Parry ym., 2018; Guy ym., 2019; Balcombe ym., 2019; Wang ym., 2019; Chai ym., 2019; BHB group, 2019; Halim ym., 2019; Kachi ym., 2019; Abbasov, 2019 ja 2020; Psaraffis ja Lagouvardou, 2020

3.1 BHP BW -ryhmän hiilidioksidiarviointi 2019

BHB Group Report:issa (2019) tarkastellaan, voiko polttoaineista perittävä maksu olla tehokas tapa vähentää kasvihuonekaasupäästöjä merenkulussa. Raportissa korostetaan, että merkittävä hiilidioksidipäästöjen vähentäminen vaatii hinnoittelumekanismiä, joka kannustaa vähentämään hiili-intensiivisten polttoaineiden kulutusta ja vastaavasti lisäämään T&K-panostusta.

Raportin mukaan bunkkerimaksu on päästökauppajärjestelmään verrattuna selkeä-rakenteisempi ja avoin mekanismi. Sen vaikutus on ennalta määriteltävissä, mikä edistäisi vähentämistekniikan käyttöönottoa aikaisessa vaiheessa. Maksusta saadut

tuotot olisi käytettävä vaihtoehtoisten polttoaineiden ja nollahiiliteknologian tutkimukseen, toteuttamiseen ja skaalaamiseen, jotta varmistetaan, että nämä kustannukset vähenevät ajan myötä. Kun maksun kerääjänä on ylikansallinen organisaatio, kuten esimerkiksi IMO, vähenee hiilivuotoriski valtioiden välillä. Maksuista kertyneet tuotot voitaisiin jakaa esim. UNFCCC:n ns. Vihreälle ilmastorahastolle (GCF) ja YK:n maailmanlaajuiselle ympäristörahasolle (GEF).

3.2 IMF – Hiilen verotus kansainvälisille merenkulun polttoaineille: Vaihtoehtojen arviointi 2018

Kansainvälisen valuuttarahaston (IMF) raportissa (Parry ym. 2019) todetaan, että hiilivero olisi parempi kuin päästökauppajärjestelmä tai muu tasausmekanismi, koska se tarjoaa varmuuden hinnoista ja on yksinkertaisempi hallita. Hiilivero edesauttaa teknologisten ja operatiivisten päästövähennysten toteuttamista sekä uusille että jo liikenteessä oleville aluksille.

IMF:n mallissa vero kannettaisiin kansainvälisesti perustamalla IMO:n hallinnoima rahasto. Hinnoittelussa tulisi seurata muita vastaavia järjestelmiä (raportissa esitettynä noin 5–30 USD/CO₂ tonni), jotta kuljetusmuotojen välinen kilpailu ei vääristyisi.

Raportissa selvitetään hiiliveron käyttöä siten, että veron käytön alkaessa vuonna 2030 se olisi 75 USD/CO₂ (polttoainehinta tarkasteluhetkellä noin 240 USD/tonni) ja se nousisi 150 USD/CO₂ tasolle vuoteen 2040 mennessä. Tulokset osoittavat, että muutoin tavalliseen tapaan toimittaessa (ceteris paribus) päästöt laskisivat 15 % vuonna 2030 ja 25 % vuonna 2040. Kokonaistulot olisivat noin 75 mrd. USD vuonna 2030 ja 150 mrd. USD vuonna 2040. Merikuljetusten kuljetuskustannusten suhteellinen BKT-osuus kasvaisi 0,075 % vuonna 2030; vuoden 2017 BKT:n arvioidulla tasolla tuo %-osuus olisi suuruudeltaan noin 60 mrd. USD⁵.

Raportin mukaan uusien alusten energiatehokkuusstandardi EEDI:n vaikutus on kolmasosa hiiliveron tehokkuudesta (oletetulla hinnoilla). Koska hiiliveron BKT-vaikutus on vähäinen, kehitysmaiden kompensatio olisi järjestelmän kannalta mahdollinen, mikäli globaali toteutus on toimiva.

⁵ Maailmanpankki arvioi maailman BKT:n olleen noin 80 684 miljardia USD vuonna 2017.

3.3 Maailmanpankki: kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiskeinojen taloudelliset vaikutukset meriliikenteessä 2019

Maailmanpankin valmisteluasiakirjassa (Halim ym. 2019) tutkitaan eri valtioiden kasvihuonekaasupäästöjen ehkäisyjen taloudellisia vaikutuksia mallipohjaisen analyysin avulla.

Analyysi osoittaa erityisesti, että kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistoimenpiteiden täytäntöönpano lisää kuljetuskustannuksia ja tavaroiden tuontihintoja. Lisäksi kansainvälisen kaupan hyödykkeiden määrä minimoituu. Tämän perusteella tutkimuksessa keskitytään polttoaineen hintaan lisätyn hiilen hinnan vaikutukseen valtion BKT:hen.

Mallin mukaan kuljetuskustannukset nousevat 0,4–16 %, kun hiilidioksiditonni maksaa 10–50 USD. Tämä nostaisi tavaroiden tuontihintoja kuitenkin vain vähän (alle 1 %). Siksi hiiliveron vaikutus kansantalouteen on varsin vaatimaton (-0,002–1 %), kun hiilivero on välillä 10–90 USD/CO₂.

3.4 New Climate Institute – hiilen hinnoitteluvaihtoehdot kansainvälisille meripäästöille 2019

New Climate Instituten raportti (Kachi ym. 2019), joka on tehty Saksan ympäristö-, luonnonsuojelu- ja ydinturvallisuusministeriön⁶ toimeksiannosta, vertaa kolmea erilaista markkinamekanismivaihtoehtoa.

Järjestelmien sopivuutta kansainväliseen merenkulkuun tarkastellaan neljää eri kriteeriä käyttäen. Tarkastellut markkinamekanismit ovat:

- i. kompensatiojärjestelmä, joka edellyttää alusten maksavan kasvihuonekaasupäästöt ostamalla päästövähennysoikeuksia,

⁶ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)

- ii. maailmanlaajuinen merenkulun päästökauppajärjestelmä, joka asettaa ylärajan kasvihuonekaasupäästöille ja antaa yrityksille mahdollisuuden käydä kauppaa päästöoikeuksilla, ja
- iii. "ilmastomaksu", jossa kasvihuonekaasupäästöistä maksetaan tuotetun painon mukaan.

Raportin mukaan todennäköisin vaihtoehto olisi asianmukaisella hintatasolla oleva ilmastomaksu, eli vaihtoehto (iii), joka myös auttaisi merenkulkualaa hiilidioksidipäästö-tavoitteiden saavuttamisessa. Raportin mukaan ilmastomaksu toimisi, vaikka kaikki maat eivät olisi samassa järjestelmässä eli se olisi ns. NMFT- eli "No more favourable treatment" ja CBDRRC- eli "Common But Differentiated Responsibilities" periaatteiden mukainen ratkaisu. Lisäksi sillä olisi huomattavasti alhaisemmat transaktiokustannukset kuin muilla vaihtoehdoilla.

Tässä ehdotettu ilmastomaksu kasvaisi asteittain vaihtoehtokustannuksia seuraten. Fossiiliset polttoaineet voivat näin jouduttaa tarvittavaa muutosta kohti ei-fossiilisia polttoaineita. Maailmanlaajuiseen merenkulun päästökauppajärjestelmään verrattuna ilmastomaksu tarjoaisi ennakoitavamman ja vakaamman hintatiedon, mikä lisäisi pää-töksenteon varmuutta investoitaessa vähähiiliseen teknologiaan.

Maailmanlaajuinen merenkulunpäästökauppajärjestelmä on monen asian yhdistelmä, ja sen isot hintavaihtelut tarjoavat sijoittajille mahdollisuuden keinotella hiilen hinnalla. Lisäksi päästökauppa voi johtaa markkinoiden manipulointiin maailman varustamotoinnin keskittyneisyyden vuoksi. Kuuden suurimman varustamon globaali markkinaosuus on noin 50 %, millä voi olla merkittävä vaikutus järjestelmän transaktiokustannuksiin.

3.5 UMAS⁷ – kansainvälisen merenkulun CO₂-päästöt, mahdolliset vähennystavoitteet ja niihin liittyvät polut 2016

UMAS:n raportin (Smith ym. 2016) tarkoituksena on tutkia mahdollisia reittejä ja skenaarioita Pariisin sopimuksen (COP21) mukaiseen laajaan hiilidioksidipäästöjen vä-

⁷ "UMAS is a partnership between the University College London (UCL) Energy Institute and MATRANS Ltd. The partnership creates a fusion between the academic research and innovation generated at UCL Energy Institute with the consulting expertise of MATRANS.

hentämiseen. Tutkimus käy läpi erilaisia tapauksia, joiden tavoitteet vaihtelevat hiilidioksidin täydellisen vähentämisen saavuttamisesta noin vuonna 2035 siihen, että merenkulun päästöt pidetään nykyisellä tasolla. Globaalilla tasolla päästöjen lopettaminen on edellytys sille, että maapallon lämpötila vakautetaan 1,5 asteen tasolle yli esteellisen ajan keskiarvoa.

UMAS:n raportissa tarkastellaan joukkoa oletuksia, joilla voidaan simuloida merenkulualan kehitystä ja mahdollisuuksia saavuttaa tavoitteet sen hiilidioksidipäästöissä kokonaisuudessaan. Malli tarkastelee ajanjaksoa vuodesta 2010 (perustaso) vuoteen 2050 ja siinä mallinnetaan eri sidosryhmien tekemien päätösten vaikutuksia merenkulualalla. Mallissa käytetään hiilen hintaa hiilidioksidipäästöjen vähentämistavoitteen saavuttamiseen.

Simulaatioiden tulokset osoittavat, että ilman uutta politiikkaa kansainvälisen merenkulun hiilidioksidipäästöt nousevat vähintään 50 % vuoteen 2050 mennessä. Merenkulussa olisi vähennettävä kokonaishiilen määrää enemmän kuin pelkillä energian säästötoimenpiteillä voidaan saavuttaa.

Tarvittaisiin siis absoluuttisen määrän vähennys samalla kun vastataan liikenteen kysynnän odotettavissa olevaan kasvuun (Vrt. Box 1.).

UMAS:n simuloinnin tulokset viittaavat myös siihen, että erittäin alhaisten nopeuksien käyttö yhdessä fossiilisten polttoaineiden kanssa olisi edullisempi vaihtoehto kuin uusiutuvat polttoaineet kuten biopolttoaineet ja vety, sekä energiatehokkuustoimenpiteet. Tämä tarkastelu arvioi kuitenkin vain merenkulun sisällä tapahtuvia muutoksia.

UMAS is a sector focused commercial advisory service that draws upon the world leading shipping expertise of the UCL Energy Institute, combined with the advisory and management system expertise of MATRANS”.

MAAILMANKAUPAN JA KULJETUSMÄÄRIEN ENNUSTEET:

Jopa alkuvuonna 2020 tehtyjen ennusteiden tarkistus välttämätöntä mutta vaikeaa v. 2020 aikana

UMAS:n raportin tarkasteluhetkellä (2016) käytännössä kaikki maailmankaupan ja merikuljetusvolyymien ennusteet osoittivat merkittävää volyymin kasvua vuoteen 2050. Esimerkiksi ITF:n Transport Outlook 2019 ennusti, että maailmanlaajuinen rahtiliikenteen volyymi kolminkertaistuu vuodesta 2015 vuoteen 2050.

Alkuvuonna 2020 COVID-19-pandemian aiheuttamien toimien vuoksi maailmankauppa voi vuonna 2020 supistua jopa 30 % (The Economist, 14.5.2020); maailmankauppajärjestö WTO arvioi puolestaan huhtikuun 2020 alussa, että vuoden 2020 maailmankauppa supistuu 13–32 % edellisvuoteen verrattuna. Kesäkuussa WTO arvioi, että pahin skenaario (-32 %) ei välttämättä toteudu, sillä touko-kesäkuussa maailmankauppa on alkanut uudelleen elpyä. (WTO 2020)

Maailmankaupan ennustetaan kasvavan 1–6 % vuonna 2021, mutta vaikutuksia on tässä tilanteessa erittäin vaikea ennustaa edes lähivuosille. Esimerkiksi Kansainvälinen valuuttarahasto IMF alensi kesäkuussa huhtikuista ennustettaan maailman BKT:n kehityksestä vuonna 2020 (-3,1 %); uusi arvio on -4,9 %. Kehittyvien talouksien osalta BKT supistuisi -8,0 %. (IMF 2020)

Muutokset maailmantaloudessa ja tuotantorakenteissa asettavatkin aiemmat maailmanlaajuisen rahtiliikenteen volyyminennusteet uuteen valoon.

Tarkastelu ei huomioi dynaamisia vaikutuksia maailmankauppaan, joita hidastuva tavaraliikenne aiheuttaisi. Tällaisia vaikutuksia olisivat mm. alhaisempi kaupankäynnin volyymi, pitempien kuljetusaikojen kasvattamat sitoutuneen pääoman kustannukset, ja kuljetusten korkeammat yksikkökustannukset, eli sitä, että rahtihinnat olisivat korkeammat kuljetettua tavarayksikköä kohden (tonni, m³, TEU...).

Kompensaatiojärjestelmien suhteen tutkimuksen mukaan ei voida olettaa, että merenkulun hiilitavoitteet saavutettaisiin pelkästään kompensaatioiden kautta, koska niiden hinnan suuri vaihtelu ja epävakaus voi johtaa jopa päästöjen nousuun sekä spekulatiiviseen toimintaan (mm. lippusiirrot, hiilivuoto muille toimialoille, itse päästöoikeuksilla ja niiden reaali- ja futuurimarkkinoilla spekulointi).

3.6 T&E: Merenkulun hiilidioksidipäästöt ja reaali maailman laivan hyötysuhteen suorituskyky 2019

Merenkulkua koskevissa Transport & Environmentin⁸ vahvasti kantaaottavissa selvitelyissä (Abbasov 2019 ja 2020) kootaan yhteen ja analysoidaan EU:n MRV- tietoja alusten suorituskyvystä. Esitysten mukaan esimerkiksi konttikuljetusyritys Mediterranean Shipping Company (MSC) oli EU:n kymmenen suurimman päästöjen tuottajan listalla kahdeksantena vuonna 2018. MSC:n osuus oli 11 milj. tonnia CO₂ EU:n MRV-soveltamisalalla. Listan kymmenes oli lentoyhtiö Ryanair 9,9 milj. tonnin CO₂-päästöillään; kaikki muut tällä ”Top 10” -listalla olivat hiilivoimaloita.

Lisäksi esityksessä verrataan EU-maasta tai EU-maahan kulkevien alusten hiilidioksidipäästöjä näiden maiden henkilöautoliikenteen päästöjen kokonaismäärään. Sen mukaan useissa EU-maissa merenkulun päästöt (satamiin kohdistettuina) ovat verrattavissa henkilöautojen päästömääriin.

Satama- ja maakohtaisesti jyvitettyinä merenkulun CO₂-päästöissä on valtavat erot eri EU-maiden välillä. Esimerkiksi pelkästään Hollannin päästöt vastaavat 13 vähiten CO₂-päästöjä tuottavan maan päästöjä yhteensä. Vastaavasti seitsemän merenkulun päästöiltään suurimman EU-maan yhteenlasketut päästöt ovat yli 3/4 kaikkien EU-maiden kokonaispäästöistä (noin 130 milj. tonnia CO₂). Suomen laskennallinen päästömäärä on tämä lähteen mukaan noin 4 milj. tonnia CO₂, eli noin 3 % EU:n merenkulun kokonaispäästöistä.

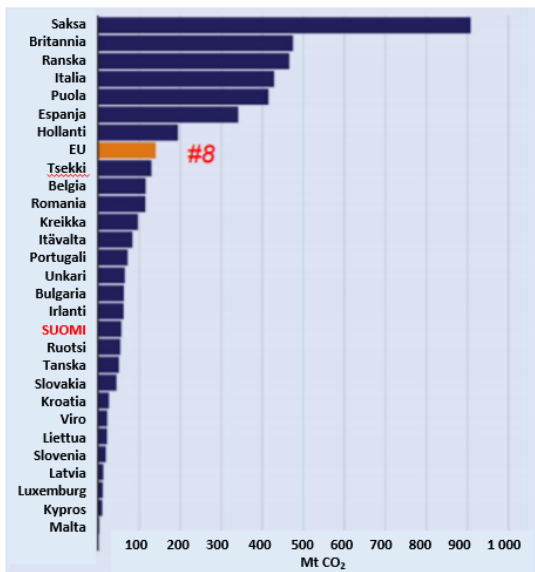
Esityksessä päätellään, että merenkulun päästöjen sääntelemättä jättäminen ei vain jätä huomiotta merkittäviä hiilidioksidilähteitä suurimmissa Euroopan maissa ja kaupungeissa mutta vesittää myös muiden alojen hiilidioksidipäästöjen vähentämisen saavutuksia.

T&E suosittelee EU:n merenkulun sisällyttämistä päästökauppajärjestelmään, jotta varmistetaan sen hiilidioksidipäästöjen kompensointi. Näin siitäkin huolimatta, että EU:n päästökauppajärjestelmälle ominaiset alhaiset hiilidioksidin hinnat eivät ole onnistuneet synnyttämään teknologisia innovaatiota odotusten mukaisesti.

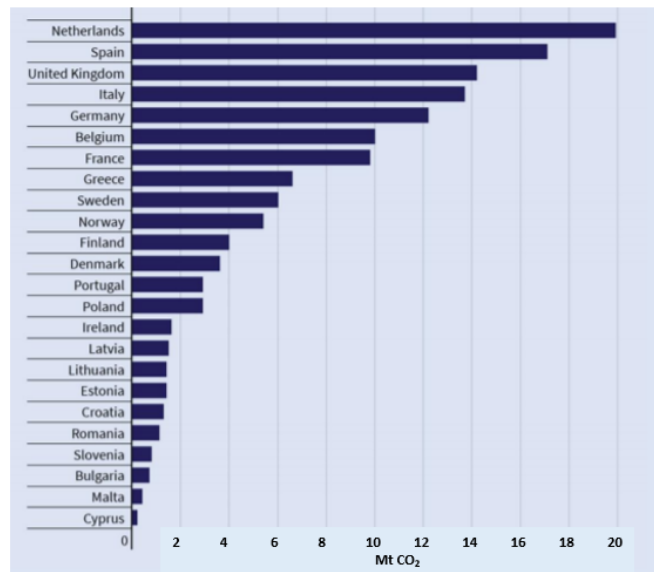
⁸ Transport & Environment omakuvaus: T&E is Europe's leading clean transport campaign group. Its vision is a zero-emission mobility system that is affordable and has minimal impacts on our health, climate and environment.

Kuvio 8. EU:n merenkulun päästöt 8. sijalla jäsenmaiden kokonaispäästöihin verrattuna (vasen kuvio; 28 jäsenmaata + EU) ja merenkulun päästöt EU-jäsenmaittain (oikea kuvio; 23 merellistä EU-maata + Norja) vuonna 2018, milj. tonnia CO₂. Lähde: Abbasov (2020) Transport & Environment.

EU:n merenkulun päästöt 8. sijalla jäsenmaiden kokonaispäästöihin verrattuna



Hollannilla suurimmat merenkulun päästöt EU-jäsenmaista



T&E ehdottaa myös, että EU:n päästökauppajärjestelmän (EU ETS) alle olisi perustettavissa ns. Euroopan merenkulun ilmastorahasto (European Maritime Climate Fund, MCF). Siinä alukset maksaisivat päästöihin suhteutettua hiilidioksidimaksua MRV-järjestelmän mukaisesti. Varoja ehdotetaan käytettäväksi mm. EU Just Transition Fundin kautta, rahoittamaan satamainfra- ja suprastruktuuria (esim. ”vihreää vetyä” ja maasähköä), sekä ns. first-mover green ships -alusten operatiiviseen tukeen.

Veron vaikutusta arvioidessaan T&E päättelee, että jos päästöoikeuden hinta olisi esim. 50 €/CO₂, kuluttajille tuleva lisäkustannus olisi lähes merkityksetön, eli esiteytyissä esimerkeissä (banaanit, iPad, vilja, dieselpolttoaine) korkeintaan 0,65 % tuotteiden alkuperäisestä hinnasta; tässä kyseessä on kuluttajan ostama viljakilo.

3.7 UNCTAD-alusromutusraportti v. 2020

UNCTAD julkaisi helmikuussa 2020 tutkimuksen, joka arvioi maailman kauppa-alus-tonniston uusimistarpeita vuoteen 2080 romutusmallien avulla (Hoffman ym. 2020).

Tutkimuksen pontimena oli "Getting to Zero" -koalition äskettäinen lausunto kaupallisesti kannattavien nollapäästöalusten tarpeellisuudesta osana maailman kauppalaivastoa vuoteen 2030 mennessä, jotta hiilidioksidipäästötavoitteet voidaan saavuttaa. Tutkimuksessa käytettiin aikaisempaa romutusmallia, jotta voidaan osoittaa tulevaisuuden odotettavissa oleva alusten purkutarve ja sen toteutuminen ajan yli.

Merkittävä johtopäätös oli, että tonniston romutusnopeudesta ja kohdentumisesta riippumatta uudet alukset eivät todennäköisesti käytä vaihtoehtoisia polttoaineita vielä vuoteen 2030 mennessä.

Siksi tekijät kehottavatkin varustamoita kehittämään, ottamaan käyttöön ja testaamaan muuta soveltuvaa (ja olemassa olevaa) tekniikkaa, jotta hiilidioksidipäästöjen vähennystavoitteet voitaisiin saavuttaa.

3.8 UNCTAD-alusrekisteriraportti v. 2020

UNCTADin maaliskuussa 2020 julkaisema tutkimus (Hoffman 2020b) keskittyy lippuvaltioiden rooliin, ja pohtii, miten IMO:n kasvihuonekaasupäästöjä koskevia sääntöjä voitaisiin ottaa käyttöön. Tutkimus rohkaiseekin keskusteluun lippuvaltioiden merkityksestä sekä roolista CO₂-päästöjen sääntelyssä.

Lippuvaltio voisi tarjota niiden jurisdiktioon eli lainkäyttövaltaan kuuluville aluksille aluskohtaisia kannustimia hiilipäästöjen vähentämiseksi sen lisäksi, että niiden tulisi edistää päästöstandardien noudattamisen validointia aluksilla.

Ilmastonmuutos itsessään vaikuttaa merkittävästi moniin suuriin lippuvaltioihin, kuten Panama, Liberia ja Marshallin saaret, joten niillä on myös oma intressi vastaavien asetusten soveltamisesta. Näiden kolmen lippuvaltion osuus oli noin 33 % meriliikenteen CO₂-päästöistä vuonna 2019 ja niiden osuus maailman koko kauppalaivaston bruttovetoisuudesta oli noin 35 %. (Taulukko 4 ja Liite 3.)

Maailman kymmeneen suurimpaan rekisteriin rekisteröidyt yli 1 000 DWT alukset vastaavat hieman yli 67 % kaikista meriliikenteen CO₂-päästöistä. Vastaavasti noin 49 % maailman kauppalaivastosta ja noin 66 % maailman tonniston bruttovetoisuudesta on rekisteröity kymmeneen suurimpaan lippuvaltioon (per 1.1.2020; UNCTAD 2020).

Meriliikenteen CO₂-kokonaispäästöt olivat vuonna 2019 noin 8 % suuremmat kuin vuonna 2014. Vastaavasti vuodesta 2014 vuoteen 2019 kymmenen suurimman lippuvaltion osuus CO₂-kokonaispäästöistä nousi noin 14 %, eli huomattavasti keskimääräistä nopeammin.

Taulukko 4. Maailman 10 suurinta lippuvaltiota 1.1.2020 alusten bruttovetoisuudella mitaten, alusten lukumäärä ja arvio näiden osuudesta maailman merenkulun CO₂-päästöistä v. 2019. Mukana yli 1 000 GT:n alukset, pois lukien kalastus- ja huoltoalukset. Lähde: UNCTAD 2020, Tilastolähteet: Marine Benchmark (www.MarineBenchmark.com) ja IHS Markit data.

Flag of registration	Number of Vessels, January 2020	GT, January 2020	Estimated share of Global Maritime CO ₂ Emissions, 2019
Panama	7 041	222.8	13.52%
Liberia	3 824	132.2	10.64%
Marshall Islands	3 700	125.4	8.80%
Hong Kong, China	2 423	94.8	7.87%
Singapore	2 652	87.6	6.29%
Malta	2 090	70.9	5.40%
Bahamas	1 380	43.6	4.27%
China, People's Republic	4 265	62.7	3.67%
Japan	2 550	52.0	3.57%
Italy	903	13.5	3.12%
Top 10 Economies	30 828	905.5	67.15%
Rest of world	32 708	472.1	32.85%
World	63 536	1 377.6	100.00%

3.9 Vaikutukset globaaleihin teknologiamarkkinoihin

Toisaalta päästökaupan aiheuttamat lisäkustannukset lankeaisivat vuosittain, joten esimerkiksi kymmen vuoden ajanjaksona kyseessä olisi valuuttakursseista ja merenkulun volyymeistä riippuen globaalisti noin 600–1 200+ mrd. €:n summa. Tämä tarkoittaisi sitä, että erilaisille päästövähennysteknologioille avautuisi varovaisestikin arvioiden yli 1 000 miljardin euron markkinat jo seuraavan vuosikymmenen aikana.

Tässä kilpailussa voittajia olisivat odotettavasti ne valmistajat (ja maat), jotka ovat nyt kyseisen teknologiaosaamisen eturintamassa. Tällaisia maita ovat (aakkosjärjestyksessä) esimerkiksi Hollanti, Norja, Ruotsi, Saksa, Suomi, Sveitsi ja Tanska. EU:n ulkopuolisista maista myös esimerkiksi Etelä-Korea, Japani, Kanada, Singapore ja Yhdysvallat ovat kyseisen teknologian osaamisessa varsin pitkällä.

Tämä teknologinen ”juopa” tässä tarvittavia teknologioita tuottavien kehittyneiden yritysten⁹ ja toisaalta varustamoelinkeinon välillä on ilmeinen. Vastaavasti teknologinen railo on syvä myös tarvittavaa teknologiaa tuottavien kehittyneiden maiden ja niiden maiden välillä, jotka joutuvat tätä teknologiaa ostamaan muualta.

Tämä asetelma vaikuttaa väistämättä globaaliin päätöksentekoon asiassa riippumatta siitä, millainen markkinamekanismi tulisi kyseeseen. Päätöksellä ottaa jokin markkinamekanismi käyttöön olisi joka tapauksessa merkittäviä vaikutuksia myös merenkulun ja osin myös satamatoimintojen maailmanlaajuisten markkinoiden rakenteeseen ja jakautumiseen.

Mitä vahvempia kansallisia tai vaikkapa EU- tai IMO-tason TKI-kannustimia markkinamekanismien tueksi varustamoille tai muille toimijoille tulisi, sitä leveämmäksi ja syvemmäksi railo menestyvien valtioiden ja yritysten – ja toisaalta muiden valtioiden ja toimijoiden välillä kasvaisi.

⁹ On toinen asia, missä maissa kyseisiä laitteita ja järjestelmiä tuotetaan. Osa tästä tuotannosta voidaan edelleen toteuttaa tehokkaasti halvan kustannustason maissa, ja näin tulnaisiin todennäköisesti myös tekemään. Lähtökohtaisesti kyseessä on kuitenkin varsin korkean TKI-intensiteetin tuotanto, jossa huomattava osat arvolisäyksestä pysyy kehittyneissä maissa.

4 Suomen meriliikenteen CO₂-päästöjen vähenemä ja EU ETS:n tai IMO:n markkinaehtoiset päästövähennyskeinot

4.1 Aluskaluston koko ja meriliikenteen CO₂-päästöt

Meriliikenteen päästöihin vaikuttaa samanaikaisesti useita eri tekijöitä. Kansainvälisen kaupan kasvu lisää kuljetustarvetta ja siten merikuljetusten kokonaispäästöjä. Aluskoon kasvu lisää mittakaavaetuja myös alusten energiatehokkuudessa ja päästöissä, samalla kun alustekninen kehitys tekee aluksista aiempaa vähäpäästöisempiä.

Aluskoon kasvu mittakaavaetujen saavuttamiseksi on ollut eräs keskeisimmistä meriliikenteen kehitystrendeistä. Tällä on ollut vaikutusta myös merenkulun energiatehokkuuteen ja sitä kautta päästökehitykseen, sillä aluskoon tuomilla mittakaavaeduilla on merkittävä vaikutus myös aluksen energiatehokkuuteen ja päästöihin kuljetusyksikköä kohti.

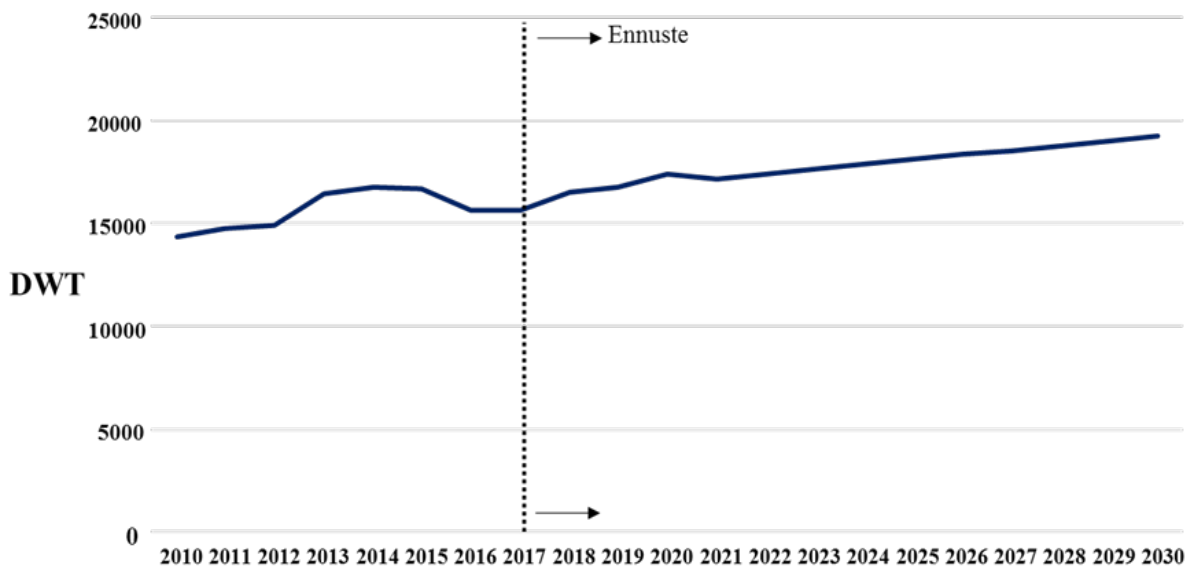
Tämä on ollut nähtävissä myös Suomeen suuntautuvassa alusliikenteessä, jossa erityisesti suuryksikköliikenteessä käytettävä aluskalusto on aiempaa suurempaa. Saman tyyppistä kehitystä on ollut havaittavissa myös muussa rahtiliikenteessä.

Aluskoon tulevan kehityksen arvioimiseksi analysoitiin Suomen satamissa vuosina 2010–2017 käyneet lastialukset alustyypeittäin. Kunkin alustyyppin osalta laadittiin toteutuneiden aluskäyntien perusteella ennuste siitä, miten alusten keskimääräinen koko tulee kehittymään vuoteen 2030 mennessä. Jotta kehitys vastaisi mahdollisimman hyvin Suomen alusliikenteen jakaumaa, ennuste laadittiin painottamalla aineisto aluskäynnein. (Liite 4.)

Kuvio 9 esittää Suomessa käyneiden lastialusten keskimääräisen kantavuuden kehityksen vuosina 2010–2017 sekä sen pohjalta laaditun ennusteen aluskoon kehityksestä vuoteen 2030 (Ojala ym. 2020). Kuvio osoittaa, että Suomeen liikennöivien alusten kantavuus on keskimäärin kasvanut vuosina 2010–2017.

Jos kehitys jatkuu samanlaisena vuoteen 2030 saakka, kasvaa Suomeen liikennöivän aluskaluston keskimääräinen koko noin 22,7 % verrattuna vuoteen 2017. Mikäli aluskaluston koko muuttuu symmetrisesti ja muut muuttujat pysyvät ennallaan, vuoden 2030 kuljetussuorite tarvitsisi 12,7 % nykyistä vähemmän aluskäyntejä (Ojala ym. 2020). Tällä on väistämättä vaikutuksia myös Suomen meriliikenteen CO₂-päästöille.

Kuvio 9. Arvio lastialusten keskimääräisen koon kasvusta Suomen alusliikenteessä vuoteen 2030 mennessä (Ojala ym.2020).



Aluskoon vaikutusta konetehoon ja täten polttoaineen kulutukseen on arvioitu Solakivi ym. (2017) käyttämällä menetelmällä, jossa arvioidaan aluksen pääkoneen ja apukoneen teho alustyyppin ja lastikapasiteetin perusteella. Tulosten perusteella voidaan todeta mittakaavaedun vaihtelevan eri alustyypeillä.

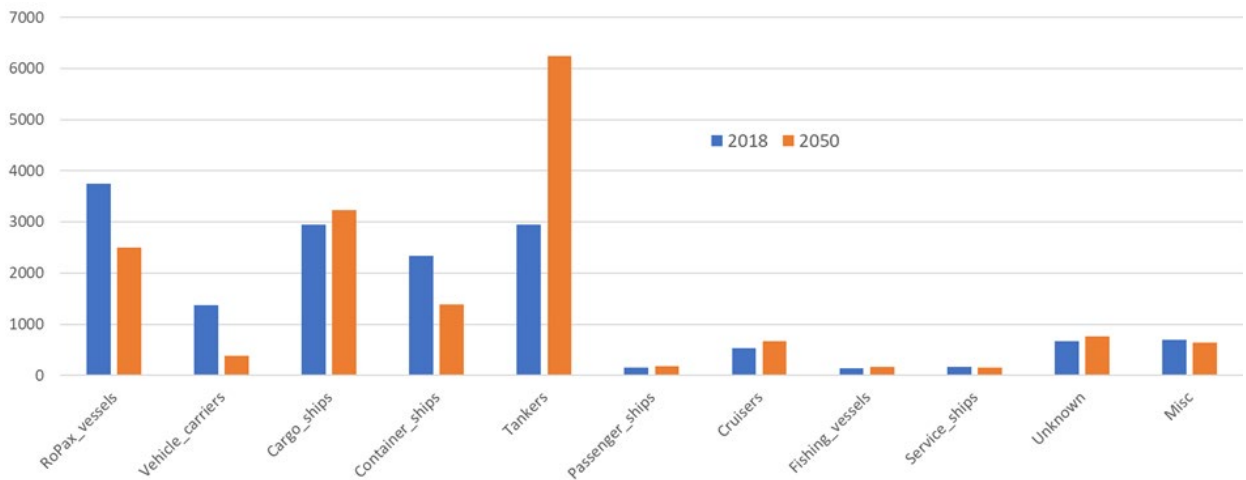
Taulukon 5 ensimmäisen sarakkeen luvut kuvaavat alusten konetehon kasvuvauhtia suhteessa alusten lastinkantokyvyn kasvuun. Itseisarvoltaan alle 1 olevat luvut tarkoittavat sitä, että koneteho ei kasva yhtä nopeasti kuin aluksen lastinkantokyky. Näin ollen aluskoon kasvu tarkoittaa alusten energiatehokkuuden paranemista lastiyksikköä kohti. Kuvion 10 perusteella voidaan olettaa lastialusten koon ja lastinkantokyvyn kasvavan keskimäärin noin 23 % vuoteen 2030 mennessä. Tämä tarkoittaisi sitä, että merikuljetusten energiatehokkuus kuljetettua lastiyksikköä kohti parani konttialuksilla 2,3 % ja bulk-aluksilla 9,4 %.

4.2 Itämeren alusliikenne ja sen CO₂- päästöt

Vuonna 2018 Itämeren alusliikenteen kuljetussuorite oli yhteensä 965 mrd. tonni-km. Vuonna 2050 kuljetussuorite arviolta kolminkertaistuu noin 2 950 mrd. tonnikilometriin.

Itämeren alusliikenteen CO₂-päästöt olivat vuonna 2018 noin 15,7 miljoonaa CO₂-tonnia ja vuonna 2050 arviolta 16,3 miljoonaa CO₂-tonnia.

Vaikka alusten energiatehokkuus paranee huomattavasti tulevaisuudessa, ja yksittäisen aluksen päästöt vähenevät, liikenteen kokonaispäästöt eivät vähene, koska liikenne kasvaa voimakkaasti nykyisen trendin mukaan (vrt. Kuvio 10 ja Kuvio 11).

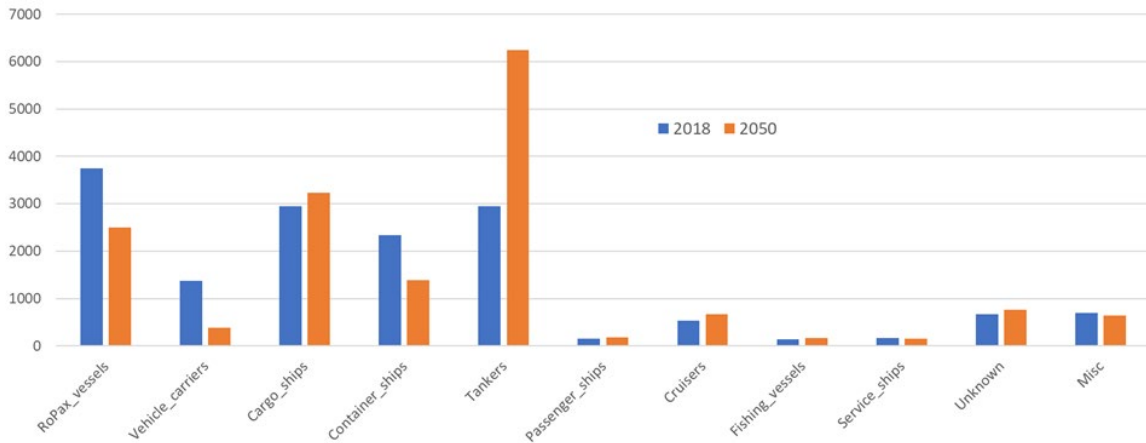


Taulukko 5. Alusten keskimääräisen koon kasvun vaikutus niiden konetehoon ja CO₂- päästöihin.

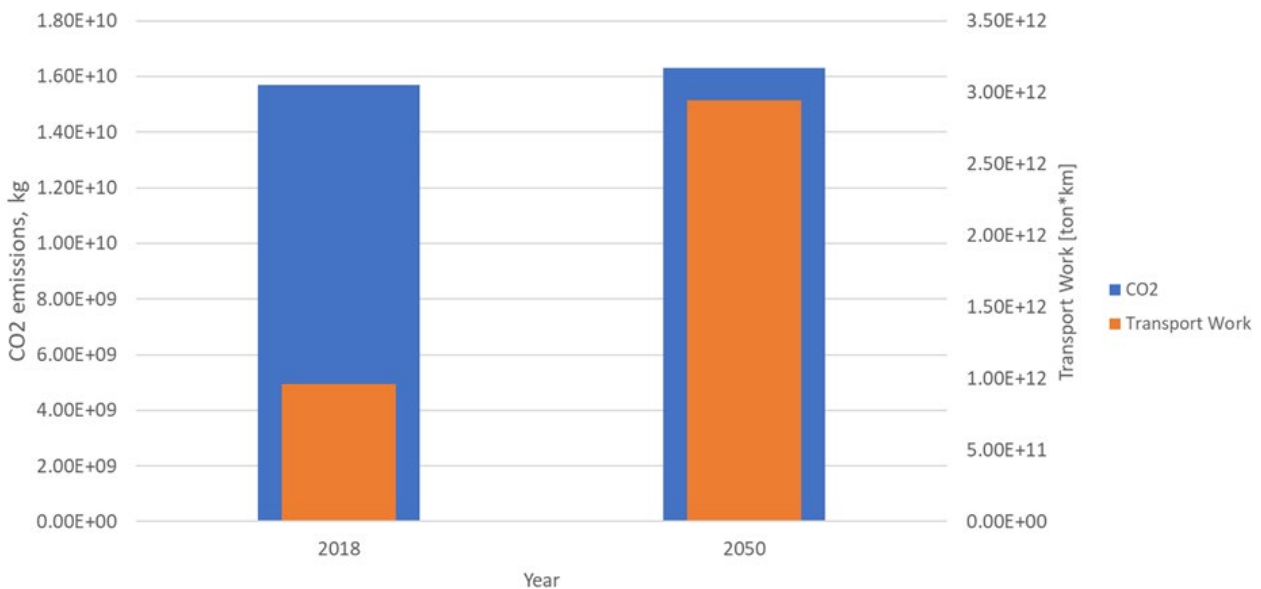
	Konetehon lisäys (%) koon kasvua (%) kohti	Päästövähennys % suhteessa koon kasvuun	Päästöjen vähennys oletetun aluskoon (keskimäärin 23%) kasvun perusteella
Konttialukset	0,902	0,098	2,3 %
Säiliöalukset	0,643	0,357	8,2 %
Bulk-alukset	0,593	0,407	9,4 %
Ro-Ro alukset	0,603	0,397	9,1 %
Muut kuivalastialukset	0,701	0,299	6,9 %

Itämerellä liikennöivien alusten keskimääräinen tehokkuusindeksi oli vuonna 2018 noin 16,3 g/tonni-km. Vuonna 2050 vastaava indeksi on arviolta 5,5 g/tonni-km. Koska kokonaispäästöt eivät laske vuoden 2018 tasosta, merkittävä osa alusten päästöistä jäisi mahdollisen päästökaupan piiriin. (Ks.Liitteet 5.-7.)

Kuvio 10. Vertailu vuoden 2018 ja 2050 meriliikenteen CO₂-päästöistä Itämerellä.



Kuvio 11. Itämeren meriliikenteen CO₂-päästöt ja kuljetussuorite vuosina 2018 ja ennuste vuodelle 2050 huomioiden EEDI-säännöt, alusten koon kasvu ja alusmäärissä tapahtuvat muutokset. Vuoden 2018 CO₂-päästö oli 15,7 miljoonaa tonnia ja ennuste vuoden 2050 laivaliikenteen CO₂-päästöiksi on 16,3 miljoonaa tonnia.



Yllä mainituissa laskelmissa on oletettu alusten energiatehokkuuden paranevan IMO:n EEDI-vaiheiden 0–3 mukaisesti. Energiatehokkuusvaatimukset on ulotettu koko Itämeren aluskantaan siten, että alusten saavuttaessa 30 vuoden iän, ne korvautuvat sillä hetkellä voimassa olevien tehokkuusvaatimusten mukaisella aluksella.

4.3 Aluspolttoaineiden hintakehitys

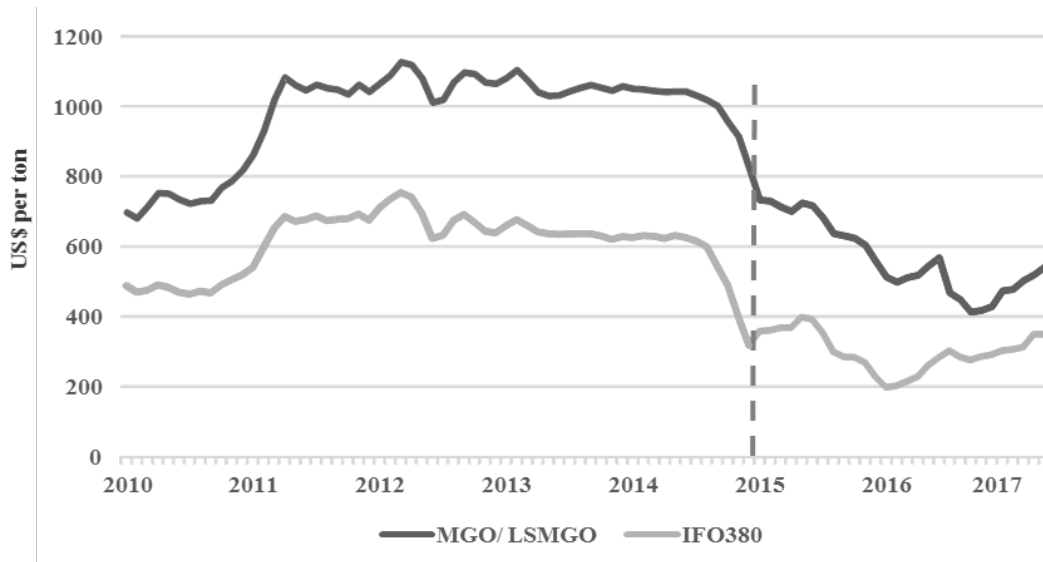
Tarkkoja arvioita päästökaupan tai markkinaehtoisten päästövähennyskeinojen vaikutuksia merenkulun hiilidioksidipäästöihin on lähes mahdoton esittää. Päästökauppa-mekanismi on käytännössä polttoaineen kulutukseen kohdistuva vero, ja sitä voidaan täten arvioida polttoaineen hinnan vaikutusten kautta.

Suoraviivaisin tarkasteltava vaikutus on alusten lyhyen aikavälin operoinnin muutokset, joka tarkoittaa käytännössä alusten kulkunopeuden muutoksia. Tästä on olemassa kattava empiirinen aineisto, joka kattaa laivapolttoaineiden hintakehityksen ja alusten kulkunopeuksissa tapahtuneet muutokset 2010-luvulla.

Laivapolttoaineiden hinnat (Kuvio 12) nousivat raakaöljyn hinnan mukana vuoden 2010 aikana ja pysyivät korkealla koko vuosikymmenen alun aina vuoteen 2015 saakka.

Laivapolttoaineiden hinnat vaihtelevat myös jonkin verran eri puolilla maailmaa, ja joissakin laaduissa päiväkohtaiset hintaerot voivat olla mm. jalostamo- ja varastointi-kapasiteetista sekä paikallisesta markkinatilanteesta johtuen varsin suuria.

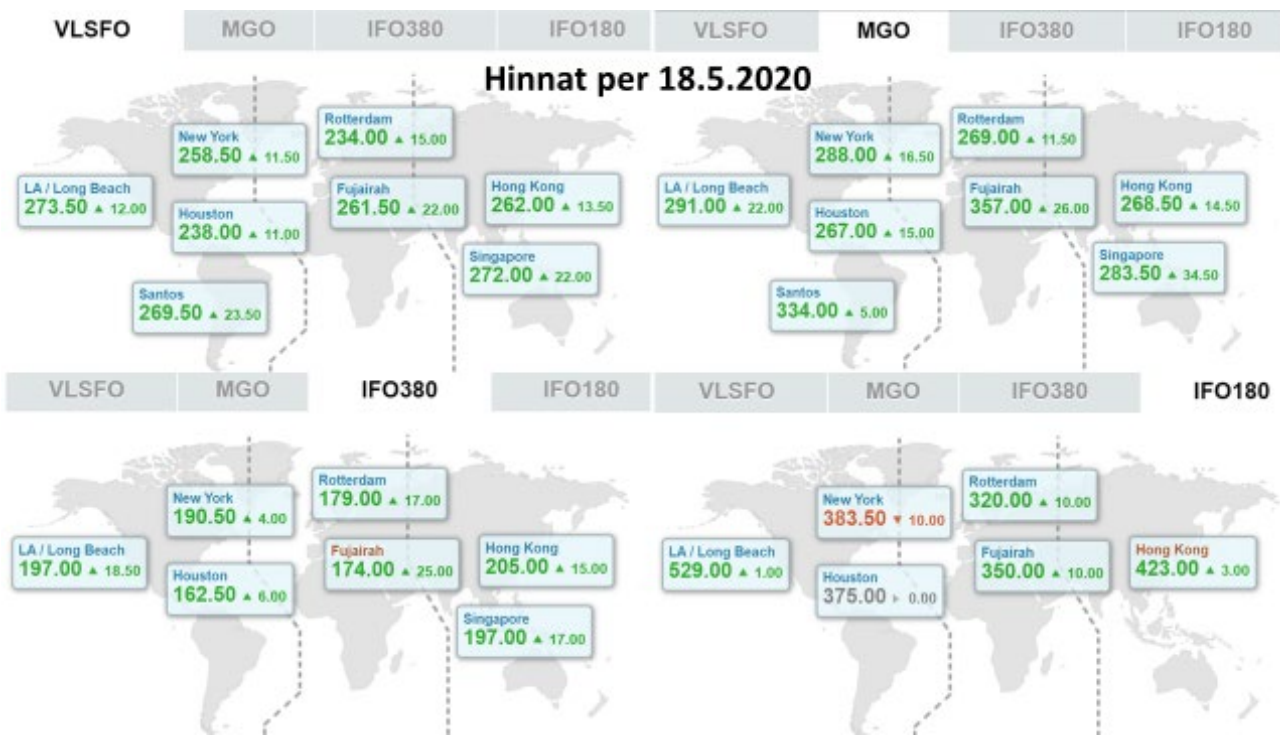
Kuvio 12. Eräiden laivapolttoainelaatujen hinnat vuosina 2010–2017 Euroopassa.



IFO180-laadun tonnihinta oli 18.5.2020 Yhdysvaltain länsirannikolla 529 USD, kun Rotterdamissa hinta oli samaan aikaan 320 USD, eli hinnanero oli yli 200 USD. Myös MGO-laadun päivähinnan ero halvimman (Hong Kong, 268,50 USD) ja kalleimman

(Arabiemiraattien Fujairah, 357 USD) välillä oli noin 90 USD. Sen sijaan erittäin vähärikkisen VLSFO:n ja IFO380:n päivähinnan ero halvimman ja kalleimman sataman välillä oli noin 40 USD. (Kuvio 13).

Kuvio 13 Eräiden laivapolttoainelaatujen alueellisia hintoja (USD/tonni) 18.5.2020. Lähde: Ship & Bunker.

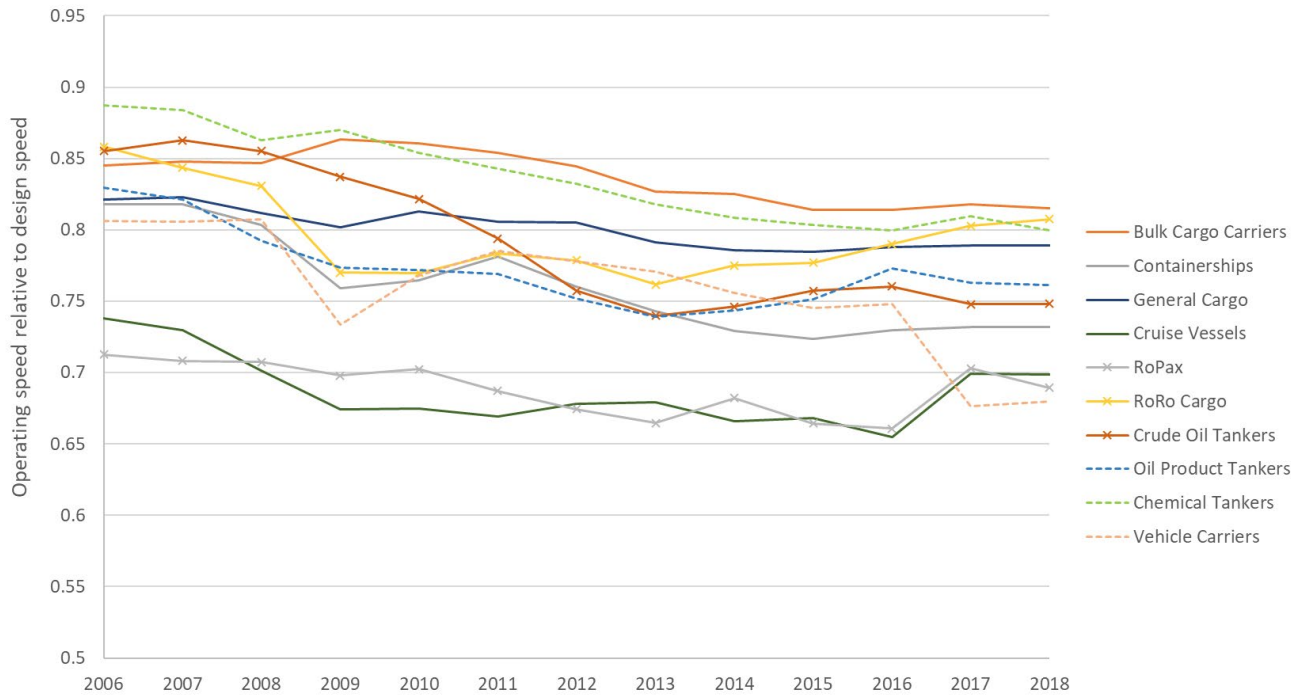


4.4 Alusten kulkunopeuden vaikutus päästöihin

Kuvio 14 puolestaan esittää Itämerellä liikkuvien alusten keskimääräiset operointinopeudet suhteessa alusten suunnittelunopeuteen. Alusten kulkunopeudet alenivat lähes alustyyppistä riippumatta vuosina 2010–2015. Tämän jälkeen keskimääräiset kulkunopeudet kasvoivat samalla, kun meripolttoaineiden hinnat kääntyivät jyrkkään laskuun.

Vaikka kulkunopeuden ja (hiilidioksidi)päästöjen sekä polttoaineen hinnan välillä on ilmeinen yhteys, on vaikutuksen suuruutta hankala arvioida, koska alusten ja satamien operointiin vaikuttavat myös monet muut tekijät.

Kuvio 14. Itämerellä purjehtivien alusten keskimääräiset operointinopeudet v. 2006–2018 (HELCOM Maritime 19, 2019) verrattuna alusten suunnittelunopeuteen.



Esimerkiksi alusten nopeuden alentaminen on laivanomistajille ja varustamoille yksi keino vähentää alan kapasiteettia. Merikuljetusmarkkinoille oli talouskriisiä edeltävinä vuosina kerääntynyt merkittävää ylikapasiteettia erityisesti konttiliikenteeseen. Näin ollen alusten nopeuden alentamisella on varsin todennäköisesti (Kou ja Luo 2016, Ferrari ym. 2015) ollut myös muita syitä kuin polttoaineen hintakehitys.

Joka tapauksessa voidaan olettaa, että päästökaupalla ja muilla polttoaineen kulutukseen perustuvilla taloudellisilla ohjauskeinoilla on vaikutuksia yritysten operatiiviseen toimintaan, ja täten hiilidioksidipäästöjen määrään.

4.5 Päästövähennyskeinojen kustannustehokkuus

Eide ym. (2011) arvioivat erilaisten keinojen päästövähennyspotentiaalin rajakustannusta¹⁰ globaalille kauppalaivastolle ja päätyvät tulokseen, jonka perusteella 20 dollarin rajakustannuksella päästövähennyspotentiaali olisi noin 35 % vuoden 2011 tasosta. 50 dollarin rajakustannuksella potentiaali olisi 44 % ja 100 dollarin rajakustannuksella 49 % vuonna 2030.

Kustannustehokkaista päästövähennyskeinoista suurimman vaikutuksen Eide ym. (2011) arvioivat olevan erilaisilla operatiivisilla keinoilla, kuten reittisuunnittelulla, nopeuden hidastamisella sekä satamatoimintojen tehostamisella (ks. myös Miola ym. 2011). Eide ym. (2011) tulokset ovat sensitiivisiä monelle tekijälle, mm. polttoaineen hinnalle, käytetylle diskonttokorolle ja alusten romutusiän kehittymiselle. Näiden tekijöiden seurauksena säästöpotentiaali 100 dollarin rajakustannuksella voi olla joko 50 % suurempi tai 26 % pienempi.

Suurin vaikutus mallissa on polttoaineen hinnalla, joka on oletettu olevan 350 USD per tonni. Helmikuussa 2020 MGO-polttoaineen hinta Rotterdamissa oli 498 USD/t, ja toukokuussa 2020 245\$ per tonni. Vastaavat hinnat IFO380-polttoaineelle olivat 304 ja 159 USD/t. Eide ym. (2011) eivät arvioineet polttoaineen vaikutusta alle mallin perusuran 350USD/t. Käytännössä em. polttoaineen hinnat tarkoittavat kuitenkin sitä, että päästövähennyspotentiaali 100 dollarin rajakustannuksella on merkittävästi Eide ym. (2011) arviota alhaisempi.

Taulukossa 6 on esitetty arvio merenkulun alueellisen päästökaupan vaikutuksista meriliikenteen päästöihin. Merenkulun päästöjen arvioidaan olevan globaalisti noin 940 miljoonaa tonnia. Tästä MRV:n vaikutusalueella muodostuu 140 milj. tonnia ja ETA-alueella 60 miljoonaa tonnia (Mellin ym. 2020).

Näin ollen MRV:n vaikutusalueella muodostuu globaaleista päästöistä noin 15 % ja ETA-alueella noin 6,5 %. Eri lähteissä on arvioitu, missä määrin merenkulusta olisi mahdollista vähentää päästöjä alhaisin kustannuksin. Tällaiset merenkulun suorien kustannusten kannalta tehokkaat päästövähennykset ovat arviolta 135–400 milj. tonnia vuodessa (IMO 2009; Yuan ym. 2016).

¹⁰ Rajakustannuksella viitataan tässä siihen, millainen on päästövähennyksen kustannus CO₂-tonnia kohti, ts. mikä päästöoikeuden hinnan pitää olla, jotta päästövähennyskeinoon käyttöönotto on taloudellisesti kannattavaa

Mikäli MRV- ja ETA-alueen päästövähennyspotentiaali oletetaan suhteessa saman suuruiseksi, olisi vuosittainen kustannustehokas päästövähennyspotentiaali noin 9–60 milj. tonnia.

Merkittävä osa Eide ym. (2011) tai Yuan ym. (2016) arvioimista päästövähennyskeinoista, kuten nopeuden hidastaminen, reittivalinnat jne. liittyvät yritysten operatiiviseen toimintaan. Operatiivinen toiminta taas on riippuvainen merenkulun markkinoista, esimerkiksi rahtihinnoista. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että Eiden (2011) ja Yuan ym. (2016) arvioimien päästövähennyskeinojen kannattavuuden arvioinnissa tulisi ottaa huomioon myös vallitseva markkinatilanne.

Toinen päästövähennyspotentiaalin arvioinnissa keskeisesti vaikuttava tekijä on, että alueellisena toteutetut rajoitukset johtavat todennäköisesti yritysten operatiivisessa toiminnassa tilanteeseen, jossa yritykset pyrkivät rajoitusalueiden sisäpuolella toteuttamaan rajoitteet, mutta vastaavasti kompensoivat toimintaansa rajoitusalueiden ulkopuolella.

Esimerkiksi Adland ym. (2017) tarkastelivat kauppaa-alusten nopeuksia ECA-rajoitusalueen sisä- ja ulkopuolella ja havaitsivat alusten kulkunopeuksien olevan korkeampia rajoitusalueen ulkopuolella. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että alueellinen rajoitus voi laskea alusten päästöjä rajoitusalueen sisäpuolella, mutta kasvattaa niiden päästöjä rajoitusalueen ulkopuolella. Samanlaiseen käyttäytymiseen viittaavat myös Fagerholt ym. (2015), Gu ja Wallace (2017) ja Gu ym. (2018).

Johtopäätös yllä mainituista tuloksista on, että alueelliset päästörajoitukset voivat pahimmillaan jopa lisätä merenkulun kokonaispäästöjä.

Gu ym. (2019) arvioivat merenkulun alueellisen päästökaupan vaikutuksia meriliikenteen päästöjen kehitykselle ja ottavat huomioon päästövähennysten suoran kustannusvaikutuksen lisäksi myös merenkulun markkinoiden keskeisten muuttujien, kuten laivapolttoaineiden hintojen ja rahtitasojen yhteisvaikutuksia päästökaupan kanssa. Sen keskeinen tulos on, että pääosin alueellinen päästökauppa johtaisi tilanteeseen, jossa kansainvälisessä liikenteessä olevan toimijan kokonaisedun mukainen toiminta johtaa jopa kokonaispäästöjen lisääntymiseen.

Suurimmassa osassa (17/24) Gu ym. (2019) tutkimia skenaarioita merenkulun oma päästökauppa ei takaa päästövähennyksiä. Sen sijaan muut tekijät, kuten rahtihintojen ja polttoaineen hintataso, osoittautuivat merkittävämmiksi operaattoreiden toimintaa ohjaaviksi tekijöiksi. Erityisen ongelmalliseksi päästöjen vähenemisen kannalta muodostuivat skenaariot, joissa merenkulun päästökauppa toteutetaan alueellisena.

Osassa tarkasteltuja skenaarioita (alhainen polttoaineen hinta, alhaiset rahtihinnat) merenkulun alueellisen päästökaupan arvioitiin jopa lisäävän meriliikenteen päästöjä lähes kymmenellä prosentilla. Edelleen, Gu ym. (2019) arvioivat merenkulun päästökaupan vähentävän meriliikenteen päästöjä vain siinä tapauksessa, että päästökauppa on globaali tai alueellisen päästöoikeuden niin korkea, että se johtaa niin mit-taviin päästövähennyksiin sen vaikutuspiirissä, että se riittää kompensoimaan päästö- jen kasvun vaikutuspiirin ulkopuolella.

Shi (2016) puolestaan huomauttaa, että merenkulun globaalin päästökaupan toteutta- minen on käytännössä mahdotonta keskeisten sidosryhmien, kuten laivanomistajien ja operaattoreiden, sekä kehittyvien maiden vastustuksen takia.

Gu et al. (2019) keskittyy erityisesti linjaliikenteeseen, mutta sen logiikka ja tulokset ovat sovellettavissa myös hakurahtiliikenteeseen siltä osin kuin siinä käytettävät aluk- set ovat käytössä myös muussa kuin EU:hun suuntautuvassa liikenteessä. Poikkeuk- sen muodostaa EU:n sisäinen lähimerenkulku, joka on kuitenkin Suomi ja eräät muut lähimerenkulusta riippuvaiset maat pois lukien vain rajallinen osa EU:n merenkulkua.

Taulukossa 6 on edellä esiteltyihin tutkimuksiin perustuen arvioitu, millainen vähen- nyspotentiaali MRV:n vaikutusalueella ja ETA-alueella voisi merenkulussa olla, ja mitä päästöille voisi olettaa tapahtuvan, kun huomioidaan päästöoikeuden hinnan lisäksi myös merenkulun markkinoiden keskeisten muuttujien, kuten polttoaineen hinnan ja rahtihintojen vaikutus.

Taulukko 6. Arvio merenkulun alueellisen päästökaupan vaikutuksista meriliikenteen päästöihin

		Osuus globaaleista meriliikenteen päästöistä	Kustannustehokas päästövähennyspotentiaali*		Alueellisen päästökaupan vaikutus**	
			Alaraja	Yläraja	Alaraja	Yläraja
Merenkulun päästöt globaalisti	940 milj. t.	100 %	135 milj. t.	400 milj. t.	+9,9 %	-2,5 %
MRV:n vaikutusalue, milj. tonnia	140	14,9 %	-20,1	-59,6	+12,6	-3,5
ETA-alue, milj. tonnia	60	6,4 %	-8,6	-25,5	+5,4	-1,5

* Alaraja IMO (2009), yläraja Yuan et al. (2016)

** Gu et al. (2019)

Merenkulun alueellisella päästökaupalla ei todennäköisesti ole vaikutusta merenkulun kokonaispäästöihin (Gu ym. 2019). Parhaimmillaan alueellisella päästökaupalla voidaan päästä 3,5 miljoonan tonnin vuosittaiseen päästövähennykseen. Tilanteessa, jossa polttoaineen hinta ja rahtitasot ovat alhaiset, voi alueellinen päästökauppa johtaa tilanteeseen, jossa päästöt kasvavat jopa 12,5 miljoonaa tonnia vuodessa.

5 EU ETS:n tai IMO:n markkinaehtoiset päästövähennyskeinot ja Itämeren lähimerenkulku¹¹

5.1 Päästökaupan vaikutuksia merenkulun kustannustasoon

Päästökaupan vaikutuksia merenkulun toimintaan ja kustannustasoon ovat aiemmin arvioineet mm. Bäuerle ym. (2010) ja Mellin ym. (2020). Bäuerle ym. (2010) arvioi merenkulun sisällyttämistä EU ETS:ään erityisesti konttiliikenteen näkökulmasta. Heidän arvionsa perustuvat kolmeen eri päästöoikeuksien hintatasoon 5, 30 ja 70 USD/t. Korkein 70 USD/ tonni päästöoikeuden hinta oli heidän tutkimuksessaan asetettu vastamaan Krewittin (2006) arvioimaa hiilidioksiditonnin sosiaalisen kustannuksen hintaa. Heidän arvionsa mukaan em. päästöoikeuksien hinnat nostavat merirahdin kustannuksia Euroopan ja Aasian välisessä konttiliikenteessä alimmassa skenaariossa 1–3 % ja korkeimmassa skenaariossa 15–35 %.

Näihin lukuihin perustuen Bäuerle ym. (2010) arvioivat, että mikäli päästöoikeuden hinta pysyttelee alle 30 dollarissa per tonni, jäävät markkinavaikutukset vähäisiksi. Edelleen, mikäli päästöoikeuden hinta kohoaa merkittävästi 30 dollarin yläpuolelle, Bäuerle ym. (2010) arvioivat merkittäviä vaikutuksia mm. kuljetuskysynnän vähenemisen muodossa.

Mellin ym. (2020) arvioivat kustannusvaikutuksia merenkulun sisällyttämisestä päästökauppaan kolmella eri päästöoikeuden hintatasolla 25 50 ja 70 euroa, ja saavat tällöin suoraksi kustannusvaikutukseksi 0,09–12,5 mrd. euroa riippuen siitä ulotetaanko päästökauppa koskemaan koko MRV:n vaikutuspiiriä vai Euroopan talousaluetta.

Mellin ym. (2020) arvioi, että päästökaupan ulottamiselle merenkulkuun ei ole juurikaan vaikutusta pitkän matkan merikuljetuksiin (deep sea shipping), pääosin siksi,

¹¹ Erityisesti aikataulusidonnaiseen meriliikenteeseen

että vaihtoehtoisia kuljetusmuotoja ei ole tarjolla. Lähimerenkulussa (short sea shipping) sitä vastoin siirtymät kuljetusmuotojen välillä ovat mahdollisia, jopa todennäköisiä (Mellin ym. 2020, Zis ym. 2017).

Esimerkiksi Notteboom (2011) on arvioinut lähimerenkulun kysynnän olevan yksikköjoustavaa¹² rahtihinnan suhteen. Tämä tarkoittaisi sitä, että kuljetuksia siirtyisi lähimerenkulusta muille kuljetusmuodoille kustannusten kohoamisen kanssa samaan tahtiin. Solakivi ym. (2020) arvioi tämän jouston Suomen ja Keski-Euroopan välisessä suuryksikköliikenteessä olevan Notteboomin (2011) arvioita pienempi, noin 0,5. Samanlaisia havaintoja ovat aiemmin tehneet myös mm. Panagakos ym. (2019) ja Zis ym. 2017.

Kågeson (2007) huomauttaa, että päästökaupan seuraukset merenkululle olisivat merenkulun markkinoiden volatiliteetin takia voimakkaammat kuin päästökaupassa mukana oleville maalla sijaitseville kiinteille päästölähteille. Mikäli muille kuljetusmuodoille ei kohdistettaisi vastaavia rajoitteita, päästökauppa aiheuttaisi yksittäiselle kuljetusmuodolle ylimääräisen rasitteen ja johtaisi siten kuljetusmarkkinoiden häiriintymiseen,

Koska päästöjen vähennys merenkululta on suurelta osin kalliimpaa kuin muilla EU ETS-päästökaupan kohteena olevilla sektoreilla, merkittävä osa päästövähennyksistä tapahtuisi Mellin ym. (2020) mukaan muilla sektoreilla, merenkulun toimijoiden maksaessa niistä päästöoikeuksien muodossa. Esimerkiksi energiantuotannossa arvioidaan olevan merkittävästi päästövähennyspotentiaalia, jonka rajakustannus on noin 50–70 USD/t.

5.2 Päästökaupan kustannusvaikutuksia Itämeren merenkulkuun

Itämeren lähimerenkulkuun ja aikataulusidonnaiseen liikenteeseen kohdistuvia kustannuksia arvioidaan Solakivi ym. 2017 ja 2019 menetelmän perusteella, jossa kustannusten katsotaan koostuvan alusten pääomakustannuksista, polttoainekustannuksista ja operointikustannuksista. Laskelmien perusteena ovat vuoden 2018 aluskäyntitilaston perusteella lasketut aluskohtaiset kustannukset kaikille niille aluksille, jotka ovat käyneet Suomen satamissa vuonna 2018.

Alusten tämänhetkiset pääomakustannukset arvioidaan vuoden 2018 aluskäyntitilastojen (Liikennevirasto 2019) ja Clarkson's World Fleet Register -tietokannasta (CRSL

¹² kysyntä laskee samassa suhteessa kuin hinta kohoaa

2019) saatavien alusten toteutuneiden hankintahintojen perusteella. Vuosittaisia pääomakustannuksia arvioidaan Wijnolstin ja Wergelandin (2009) suosituksen mukaisesti olettamalla aluksille 20 vuoden poisto-aika ja 25 prosentin jäännösarvo.

Viitekorkona laskelmissa käytetään Libor (London Interbank Offered Rate) -korkoa lisättynä 1,5 prosentin marginaalilla. Korkojen volatiliiteetin vaikutuksen minimoimiseksi käytetään viiden vuoden keskiarvoa 12 kuukauden Libor-korosta.

Niiltä osin kuin alusten tarkkoja hankintahintoja ei ole saatavilla, pääomakustannukset arvioidaan alustyypeittäin Solakivi ym. (2019) käyttämällä menetelmällä. Polttoaineen hintana on käytetty Rotterdamin sataman MGO-polttoaineen hintaa helmikuussa 2020.

Alusten operointikustannukset huomioidaan Drewryn vuoden 2012 Ship Operating Costs Annual Review and Forecast -raportin mukaan. Raportissa on esitetty keskimääräisiä kustannuksia alustyyppin ja kokoluokan (DWT) perusteella. Suomessa vuonna 2018 käyneet alukset on sijoitettu kokonsa ja alustyyppinsä perusteella sopivaan luokkaan.

Edellä selostetun laskelman perusteella muodostetaan arvio Suomessa vuonna 2018 käyneiden alusten kustannusrakenteesta ja päivittäisistä kustannuksista. Edelleen, polttoaineen kulutusta koskevan arvion perusteella lasketaan alusten vuodessa ja päivässä tuottamat hiilidioksidipäästöt IMO:n (2014) esittämien päästökertoimien perusteella (Taulukko 7).

Taulukko 7. Laivapolttoaineiden päästökertoimet (IMO 2014).

	Raskas polttoöljy (g/g polttoainetta)	Meridiesel (g/g polttoainetta)	LNG (g/g polttoainetta)
CO ₂	3,114	3,206	2,75
CH ₄	0,00006	0,00006	0,0512
N ₂ O	0,00016	0,00015	0,00011
NO _x	0,093	0,08725	0,00783
CO	0,00277	0,00277	0,00783
NM VOC	0,00308	0,00308	0,00301

Alusten polttoaineen kulutuksen, CO₂-päästöjen ja alusten päiväkustannusten pohjalta kustannuksia on arvioitu sekä euromääräisenä että osuutena alusten kokonaiskustannuksista. Alusten sisällyttämistä EU ETS:ään arvioidaan kolmella eri hiilidioksiditonnin hintatasolla:

1. Ensimmäinen arvio perustuu hiilidioksiditonnin hintaan (23,35 USD/CO₂e) päästökaupassa helmikuussa 2020 (Taulukko 8).
2. Muut arviot perustuvat Maailmanpankin (2019) esittämiin arvioihin (40–80 USD/CO₂e) niistä päästökaupan hintatasoista, joiden on arvioitu riittävän Pariisin sopimuksen ilmastotavoitteiden täyttämiseen.

Taulukko 8 esittää kustannusvaikutukset meriliikenteen sisällyttämisestä EU ETS -järjestelmään eri hiilidioksiditonnin hinnoilla. Nykyisellä päästöoikeuden hinnalla meriliikenteen sisällyttäminen EU ETS:ään aiheuttaisi alustyyppistä riippuen noin 6–11 % lisäkustannuksen merikuljetuksille.

Pienin kustannusvaikutus olisi hitaammilla ja suhteessa kuljetuskapasiteettiin vähemmän polttoainetta käyttävillä irtolastialuksilla sekä konventionaalisilla kuivalastialuksilla. Suurin kustannusvaikutus (10–11 %) kohdistuisi nopeampiin Ro-Ro-aluksiin ja konttialuksiin.

Taulukko 8. Arvio päästökaupan kustannusvaikutuksesta eri alustyypeille Suomen kansainvälisessä meriliikenteessä päästöoikeuksien vaihtoehtoisilla hinnoilla.

	n	Päästöoikeuden hinta USD/CO ₂ e		
		23,35*	40+	80+
Konttialus	119	11 %	19 %	37 %
Bulk-alus	131	8 %	13 %	26 %
Säiliöalus	355	8 %	14 %	28 %
Ro-Ro	69	10 %	17 %	34 %
Konventionaalinen	787	6 %	11 %	21 %
Muu alus	179	10 %	16 %	33 %

* Päästöoikeuden hinta tällä hetkellä

+ Maailmanpankin (2019) arvio päästöoikeuden hinnan vaihteluvälistä Pariisin sopimuksen tavoitteiden saavuttamiseksi

Mikäli päästöoikeuksien hintakehitys noudattaisi Maailmanpankin (2019) arvion ylärajaa 80 USD/CO₂e, olisi lisäkustannus Itämeren ja Suomen liikenteen merikuljetuksille 21–37 %. Taulukossa 9 on arvioitu mahdollisen päästökaupan vaikutuksia Suomessa vuoden 2018 aikana käyneiden alusten kustannuksiin.

Taulukko 9. Suomessa vuonna 2018 käyneiden alusten polttoaineenkulutus ja hiilidioksidipäästöt Itämeren alueella ja sen ulkopuolella vuonna 2018, sekä niiden perusteella arvioitu lisäkustannus eri päästökaupan skenaarioissa.

	Itämeren ulkopuolella	Itämeren alueella
Pääkoneiden polttoaineen kulutus, milj.t	4,8	1,7
Apukoneiden polttoaineen kulutus, milj.t	1,4	0,5
Hiilidioksidipäästöt, milj.t	18,8	6,9
Polttoainekustannukset*, milj. USD	2 900	1 000
Päästökaupan kustannuslisä, milj. USD (23,35 USD/CO ₂ e)	437	160
Päästökaupan kustannuslisä, milj. USD (40 USD/CO ₂ e)	750	270
Päästökaupan kustannuslisä, milj. USD (80 USD/CO ₂ e)	1 500	550

*VLSFO max 0,5 % Rotterdam 24.2.2020.

Vuonna 2018 Suomessa käyneet alukset kuluttivat polttoainetta Itämeren alueen ulkopuolella yhteensä noin 6,2 miljoonaa tonnia ja Itämeren alueella noin 2,2 miljoonaa tonnia. Näistä aiheutui yhteensä 18,8 miljoonan tonnin CO₂-päästöt tapahtuivat Itämeren alueen ulkopuolella ja noin 6,9 miljoonaa tonnia Itämeren alueella.

Nykyisillä päästöoikeushinnoilla merenkulun sisällyttäminen EU ETS:ään tarkoittaisi Suomeen liikennöiville aluksille kaikkiaan noin USD 440 miljoonan lisäkustannusta, josta noin USD 160 miljoonaa kohdistuisi Itämeren liikenteeseen.

Maailmanpankin (2019) esittämillä korkeammilla päästöoikeushinnoilla (40 – 80 USD/ CO₂e-tonni) päästökaupan kustannuslisäksi muodostuisi nykyliikenteellä yhteensä USD 750–1 500 miljoonaa vuodessa, josta USD 270–550 miljoonaa kohdistuisi Itämeren alueen liikenteeseen.

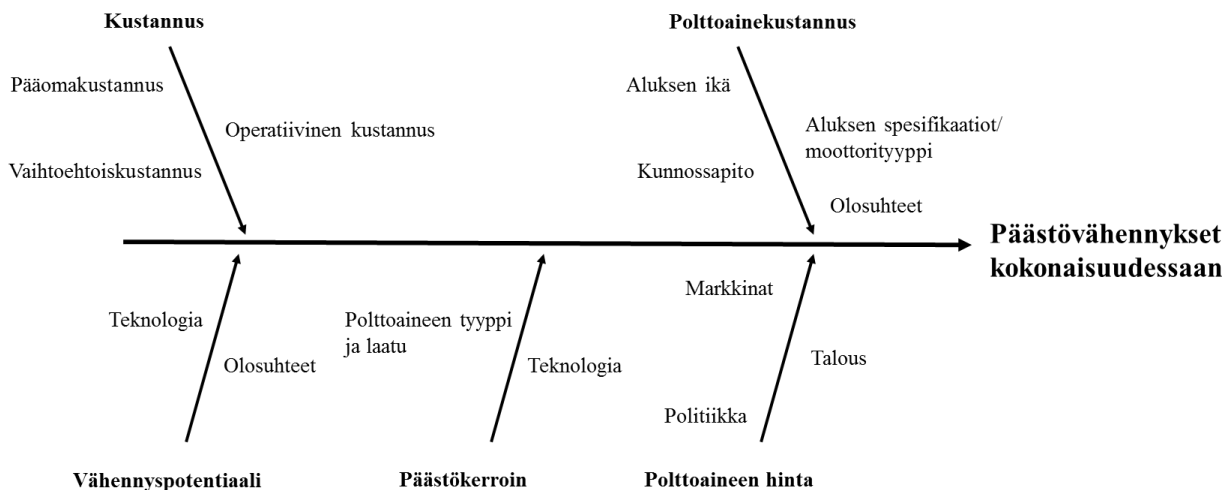
6 Päästövähennyskeinojen kustannus-hyötysuhde

Tarkasteltaessa EU ETS:n tai IMO:n markkinaehtoisien sääntelyn vaikutuksia erityisesti Suomessa toimivien yritysten toimintaan, toimitusketjuihin ja Suomen ulkomaankauppaan, on olennaista huomioida muutosten potentiaali eri alustyypeissä ja näiden suhteelliset osuudet liikenteestä.

Bouman ym. (2017) esittää yhteenvedon 60 tutkimukseen perustuvista päästövähennyskeinoista ja jakaa ne viiteen eri pääteemaan:

- rungon muotoon
- voimansiirtoon ja propulsioon
- vaihtoehtoisiin polttoaineisiin
- vaihtoehtoisiin energialähteisiin
- operatiivisiin keinoihin

Kuvio 15. Päästöjen vähentämiseen vaikuttavat tekijät (Yang ym. 2015).



Merkittävä osa Bouman ym. (2017) listaamista keinoista on lähinnä uudisrakennuksiin sopivia pidemmän aikavälin päästövähennyskeinoja, mutta osa keinoista on myös lyhyen tähtäimen päästövähennyksiin teoriassa soveltuvia. Eri keinojen yhteisvaikutuksella (Kuvio 15) voidaan saavuttaa varsin todennäköisesti jopa 40 % päästöjen vähennykset, mutta tätä suuremmat vähennykset ovat epätodennäköisiä (Yang ym.

2015). Esimerkiksi uusilla runkoratkaisuilla voidaan alentaa tarvittavaa konetehoa ja kulutusta nopeutta menettämättä. (Lindstad ja Bø 2018).

Päästövähennyspotentiaali ja vastaavasti päästöjen vähentämisestä johtuvat seuraukset merikuljetusten markkinoille ja toimivuudelle riippuvat useista tekijöistä (**Kuvio 15**).

Edellä mainituilla päästövähennyskeinoilla on kaikilla oma säästöpotentiaalinsa, kustannusvaikutuksensa sekä aikajänteensä. Laivanrakennukseen liittyvien innovaatioiden potentiaalia lyhyen tähtäimen päästövähennyskeinona rajoittaa niiden vaatima aika. Laivanrakennukseen liittyvien innovaatioiden toteuttaminen vaatii todennäköisesti aluksen telakointia. Tämä aiheuttaa toisaalta investointikustannuksia, mutta myös aikataulutukseen liittyviä ongelmia.

Lyhyen tähtäimen CO₂-päästöjen vähennystavoitteiden lisäksi merenkulkuun kohdistuu myös muita investointeja vaativia ympäristösäädöksiä (esimerkiksi rikkisääntely, painolastivesisääntely jne.), jotka osaltaan vaikuttavat alusten telakointitarpeeseen, ja siten telakointikapasiteetin saatavuuteen.

Periaatteessa olemassa olevien alusten energiatehokkuutta on mahdollista parantaa esimerkiksi aluksen keulan muotoa parantamalla, joko asentamalla keulabulbi alukseen, jossa sellaista ei ole, tai vaihtoehtoisesti parantamalla jo olemassaolevan keulabulbin muotoa. Mm. Liu ym. (2015) ovat arvioineet, että keulabulbilla voidaan saavuttaa maksimissaan noin 15 % säästö aluksen energian kulutuksessa.

Laivan designin parantamiseksi on useita eri vaihtoehtoja, joilla aluksen energiatehokkuutta voidaan parantaa. Näille on yhteistä se, että arviot niiden vaikutuksista vaihtelevat lähteestä toiseen. Bouman ym. (2017) esittää, että propulsioon tehokkuutta voidaan erilaisin teknisin keinoin (kääntösiipipotkurit, pre-swirl statorit jne.) parantaa 1–25 %. (Taulukko 10)

Myös aluksen vastusta vähentävien maalien vaikutuksista on toisistaan eroavia arvioita. Izaguirre-Alza ym. (2010) arvioivat niiden vaikutukseksi aluksen energiatehokkuudelle vain noin 1,6–3,2 %, kun taas Yang ym. (2014) ja Bouman ym. (2017) arvioivat, että niiden vaikutus aluksen energiatehokkuudelle olisi jopa 10 %.

Alusten päästöjä voidaan vähentää myös niiden kulkua optimoimalla esimerkiksi käytettyjen reittien suhteen, sekä erityisesti hakurahtiliikenteen osalta alusten operatiivisella suunnittelulla esimerkiksi tyhjänä kuljettuja osuuksia minimoimalla. Nämä liittyvät osittain myös alusten kulkunopeuden optimointiin. Erilaisten operatiivisten keinojen

vaikutuksesta alusten polttoaineen kulutukseen Bouman ym. (2017) esittää konsensusarvioksi noin 10 %. Näitä lukuja tarkasteltaessa pitää kuitenkin huomioida, että eri keinojen vaikuttavuus riippuu useasta ulkoisesta tekijästä.

Taulukko 10. Merenkulun päästövähennyskeinojen potentiaali. Bouman ym. (2017).

Keinon tyyppi	Arvioitu menetelmä	Lyhyt kuvaus	CO ₂ -vähennys-potentiaali	
Rungon design	Aluksen koko	Mittakaavaedut ja kapasiteetin käyttöasteen parantaminen	4–83 %	
	Rungon muoto	Mitat ja muodon optimointi	2–30 %	
	Kevyemmät materiaalit	Kestävämpi teräs, komposiittimateriaalit	0,1–22 %	
	Ilmavoitelu		1–15 %	
	Vastusta vähentävät laitteet	Muut asennettavat laitteet	2–15 %	
	Painolastin vähentäminen	Aluksen designin muuttaminen	0–10 %	
	Rungon pinnoittaminen	Eri tyyppiset pinnoitteet	1–10 %	
	Voimansiirto ja propulsio	Hybridi voimansiirto/ propulsio	Hybridiajoneuvoet ja -propulsio	2–45 %
Sähkö		Sähköinen energiantuotanto	1–35%	
Propulsion tehokkuutta parantavat laitteet			1–25%	
Hukkalämmön talteenotto			1–20 %	
Aluksella tarvittavan energian (mm. valaistus) tehostaminen			0,1–3 %	
Vaihtoehtoiset polttoaineet		Biopolttoaineet		25–84 %
		LNG		5–30 %
Vaihtoehtoiset energialähteet	Tuulivoima	Leijjat, purjeet	1–50 %	
	Polttokennot		2–20 %	
	maasähkö		3–10 %	
	Aurinkoenergia	Aurinkopaneelit katolla	0,2–12 %	
	Operatiiviset	Nopeuden optimointi, nopeuden vähentäminen		1–60 %
		Kapasiteetin käyttöasteen parantaminen		5–50 %
Reittioptimointi			0,1–48 %	
Muut operatiiviset keinot		trimmin/ syväyksen optimointi, energiaojohtaminen, huollon optimointi	1–10 %	

Esimerkiksi just-in-time -tyyppinen operointi ja nopeuden optimointi edellyttävät, että aluksella on hyvissä ajoin, ideaalitulanteessa jo lähtötilanteessa, tiedossa koska se pääsee määränpääsatamaan purkamaan tai hakemaan lastia jne. Käytännössä kuitenkin satamien ruuhkatilanne, tai esimerkiksi satamien aukioloajat tekevät tehokkaasta operoinnista haasteellista.

Uusien vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöönotto puolestaan on hidasta (Deniz ja Zincir, 2016), johtuen niiden saatavuudesta ja jakeluinfraktuurin puutteesta. Uusien polttoaineiden osalta pitää myös huomioida, että ne eivät välttämättä sellaisenaan sovellu olemassa olevan aluskannan käyttöön ja ovat siten rajallinen keino lyhyen tähtäimen päästövähennyskeinona. Esimerkiksi Suomeen vuonna 2018 liikenneineistä aluksista 95 % oli suunniteltu kulkemaan joko IFO-polttoaineella tai meridiieselillä. Denisin ja Zincirin (2016) mukaan vaihtoehtoisista polttoaineista metanoli ja etanoli laskevat huomattavasti konetehoa ja johtavat täten korkeampiin kustannuksiin verrattuna perinteisiin polttoaineisiin.

Vedyn ominaisuudet sopivat hyvin laivakäyttöön, koska sen energiatiheys on suuri ja vedyn käytöstä maalla on kokemusta. Käytännössä kuitenkin vetyä hyödyntäviä ratkaisuja (esim. polttokennoteknologia) ei toistaiseksi ole pääasiallisena voimanlähteenä. Samoin, vedyn tuottaminen kustannustehokkaasti on edelleen haaste. Yleisemmin käytössä olevista vaihtoehtoisista polttoaineista LNG on toimivin vaihtoehto varsinkin uusille aluksille. Olemassa olevasta aluskalustosta kuitenkin vain marginaalinen osuus pystyy hyödyntämään LNG:tä polttoaineena.

Nykyisen dieselmoottorin muunto LNG-käyttöön on puolestaan merkittävä investointi, ja sen kustannukset ovat huomattavan korkeat. Näin ollen LNG:tä ei voi myöskään pitää merkittävänä päästövähennyskeinona lyhyellä aikavälillä, eikä se vähennä CO₂-päästöjä kuin arviolta keskimäärin 5–30 %. Tämän lisäksi LNG:n haasteena ovat metaanipäästöt (ns. methane slip), joka vähentää osittain LNG:n käyttöönotolla saavutettavaa hyötyä päästövähennyksissä (Cullinane ja Bergqvist, 2014)

Vaihtoehtoisten polttoaineiden käytön mahdollistavat muuntokustannukset ovat myös huomattavat. Esimerkiksi M.V. Stena Germanican (33 678 nt) 23 000kW muutos metanolikäyttöön maksoi 350 Euro/kW (8,1 M€). Toinen esimerkki on tuotetankkeri BIT Vikingin (25 000 DWT, 2 * 5 700kW) muutos LNG-käyttöön, joka maksoi 1 000 Euro/kW (11,4 M€) (Srivastava ym. 2016., Elgohary ym. 2015).

Lindstad ym. (2015) ovat arvioineet potentiaalisten päästövähennyskeinojen investointikustannuksia eri tyyppisille aluksille (Taulukko 11). Taulukosta 11 voidaan todeta joidenkin päästövähennyskeinojen, kuten reittisuunnittelun, valaistuksen tehostamisen ja aurinkopaneelien olevan investointikustannuksiltaan melko pieniä, ja siten helpommin toteuttamiskelpoisia.

Taulukko 11. Eri päästövähennyskeinojen investointikustannus keskimääräiselle alukselle, euroa (Lindstad ym. 2015).

	Kuivabulk	Kuivalasti	Kontti (4000 TEU)	Reefer	Ro-Ro	Säiliöalus >80 000dwt	Säiliöalus <80 000dwt	Kemikaali- säiliöalus	LNG säiliöalus	RoPax
Reittisuunnittelun kehittäminen	100 000	50 000	100 000	50 000	50 000	100 000	50 000	50 000	50 000	n/a
Slow steaming	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Valaistuksen tehostaminen	100 000	50 000	200 000	100 000	100 000	200 000	50 000	100 000	100 000	200 000
Propulsion optimointi	575 000	205 000	1 137 500	250 000	290 000	937 500	217 500	350 000	445 000	380 750
Kapea runko	2 960 000	1 140 000	2 540 000	1 140 000	1 220 000	4 780 000	1 240 000	1 580 000	1 920 000	1 046 000
Painolastiveden vähentäminen	715 000	265 000	1 128 750	292 250	407 500	1 613 750	552 500	598 500	617 000	1 081 250
Hybriditeknologia	1 720 000	1 112 500	4 180 000	1 288 750	1 337 500	2 260 000	1 090 000	1 306 000	1 432 000	1 675 000
Hukkalämmön talteenotto	2 200 000	1 250 000	6 300 000	1 550 000	1 750 000	n/a	n/a	n/a	2 200 000	2 500 000
Aurinkopaneelit	96 000	n/a	n/a	n/a	60 000	168 000	20 000	68 000	96 000	n/a
Tuulivoima	1 694 800	n/a	n/a	n/a	1 595 351	2 190 816	1 139 738	n/a	n/a	n/a
LNG	6 600 000	3 750 000	18 900 000	4 650 000	5 250 000	9 300 000	3 750 000	5 550 000	6 600 000	7 500 000
Biopolttoaineet										
Polttokennot	13 200 000	2 750 000	58 300 000	12 100 000	8 250 000	23 100 000	2 750 000	9 350 000	13 200 000	16 500 000
Maasähkö	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000

Myös maasähkö on alukselle tehtävien investointien osalta kustannuksiltaan melko edullinen, mutta sen haasteet liittyvät sataman ja energiantuotannon infrastruktuurin riittävyyteen. Vastaavasti osa päästövähennyskeinoista on kalliita ja tai sellaisia, että ne ovat käytännössä mahdollista toteuttaa vain uusinvestointien osalta. Tällaisia ovat esimerkiksi kapea runko, LNG ja polttokennoteknologia.

Investointikustannuksen lisäksi myös kunkin potentiaalisen päästövähennyskeinojen potentiaali on olennainen osa tarkastelua. Mikäli taulukon 11 investointikustannukset suhteutetaan niiden mukanaan tuomaan potentiaaliin, voidaan arvioida, missä määrin eri teknologioihin investoiminen on kannattavaa. Taulukossa 12 Lindstad ym. (2015) esittämät investointikustannukset on suhteutettu niiden päästövähennyspotentiaaliin. Täten on saatu aikaan arvio siitä, mikä on kunkin päästövähennyskeinojen investointikustannus yhden prosentin päästövähennystä kohti.

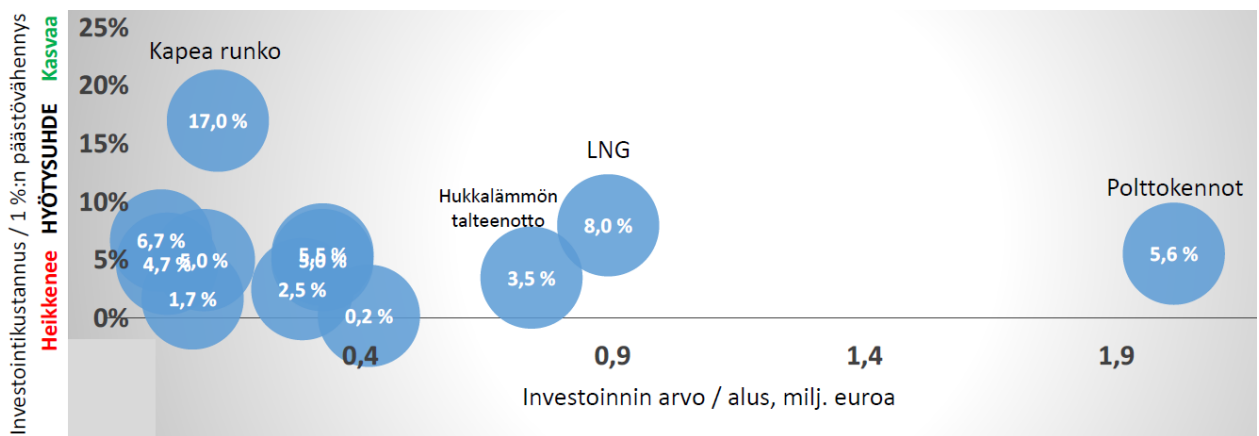
Taulukko 12. Eri päästövähennyskeinojen investointikustannus yhden prosentin päästövähennystä kohti.

	Päästövähennys- potentiaali keskimäärin	Investointikustannus euroa per 1 % päästövähennys		
		Keskiarvo	Minimi	Maksimi
Reittisuunnittelun kehittäminen	6,7 %	10 556	5 000	20 000
Maasähkö	4,7 %	22 762	14 286	33 333
Valaistuksen tehostaminen	1,7 %	73 333	33 333	133 333
Propulsion optimointi	5,0 %	95 765	41 000	227 500
Kapea runko	17,0 %	123 380	57 000	254 000
Painolastiveden vähentäminen	2,5 %	290 860	106 000	645 500
Tuulivoima	5,0 %	331 035	227 948	438 163
Hybriditeknologia	5,5 %	331 285	167 500	836 000
Aurinkopaneelit	0,2 %	423 333	100 000	840 000
Hukkalämmön talteenotto	3,5 %	745 714	357 143	1 800 000
LNG	8,0 %	898 125	468 750	2 362 500
Polttokennot	3,4–7,7 %	2 020 486	343 750	6 477 778

Edullisimpia päästövähennyskeinoja suhteessa alukseen kohdistuvaan investointikustannukseen näyttäisivät olevat reittisuunnittelun kehittäminen, maasähkö, valaistuksen tehostaminen sekä propulsion optimointi. Nämä ovat myös keinoja, joita voidaan hyödyntää myös olemassa olevassa aluskannassa. Esimerkiksi Suomeen liikennöivästä aluksista suuri osa on jo nykyisellään varustettu säätösiipipotkurilla, joka parantaa propulsion energiatehokkuutta.

Potentiaaliltaan suurimmat päästövähennyskeinot, kuten kapea runko ja LNG, soveltuvat teknisen toteutuksensa ja investoinnin kuoletusajan vuoksi käytännössä vain uudisrakennuksiin. Investointien kuoletusaikojen pituutta havainnollistaa roottoripurjeiden takaisinmaksuaika, jonka mediaani jopa päästöoikeuden 80 euron tasolla on lähes 20 vuotta.

Kuvio 16. Eri päästövähennyskeinojen investointien ääripäiden hyötysuhde havainnollistettuna ja koottuna Taulukko 11 ja Taulukko 12 pohjalta.



Noin puolelle aluskannasta takaisinmaksuaika on lyhyempi, osalle jopa merkittävästi lyhyempi, mutta **nykytonniston päästövähennyksiin ei löydy investointien takaisinmaksun kannalta kovin tehokkaita vaihtoehtoja.**

Erityisesti Suomen merenkulussa ja muussa lähimerenkulussa aluskanta on ns. deep sea shippingiä pienempää. Tällöin myös energiatehokkuutta parantavien investointien mittakaavaedut ovat pienempiä ja investointien takaisinmaksuajat pidempiä.

Tutkimuskirjallisuudessa on arvioitu myös siitä, millaisilla päästöoikeuden hinnoilla vaihtoehtoiset, vähemmän kasvihuonepäästöjä aiheuttavat polttoaineet olisivat taloudellisesti kannattavia. Esimerkiksi, Chryssakis ym. (2017) arvioivat uusiutuvien polttoaineiden ja biopolttoaineiden kannattavuuden alarajaksi 150–200 euroa per CO₂-tonni. Lloyd’sin ja UMAS:in (2017) arviot ovat vielä pessimistisempiä.

Sen mukaan biopolttoaineet ovat kannattavia vasta noin 230 €/ CO₂-tonnin ja ammoniakki- ja vetypohjaiset polttoaineet vasta yli 460 €/ CO₂-tonnin hinnalla.

7 EU ETS ja markkinaehtoiset päästövähennyskeinot: Suomen ja muiden EU-maiden kilpailukyky

IMO:ssa päätettävät markkinaehtoiset päästövähennyskeinot kohdistuvat lähtökohtaisesti kaikkiin lippuvaltioihin tasapuolisesti, ja täten niiden voisi olettaa olevan kilpailukykyneutraaleja. Tällä hetkellä IMO:n käsittelyssä on useita erilaisia päästövähennyskeinoja, jotka vaikuttavat eri tyypisiin aluksiin eri tavalla, ja vaikuttavat siten sekä erityyppisten alusten, että eri maiden kilpailukykyyn eri tavoin.

Osa käsittelyssä olevista päästövähennyskeinoista on rajattu tiettyihin alustyyppisiin, joiden osalta pyritään rajoittamaan joko konetehoa tai kulkunopeutta. Näiltä osin keinojen kilpailukykyneutraaliuteen vaikuttavat mm. seuraavat tekijät:

- kyseisten alusten osuus liikenteestä,
- millaisia vaihtoehtoisia alustyyppisiä tai kuljetusmuotoja näiden kuljettamille lasteille ja/tai liikennöimille reiteille on,
- millaiset tekniset ominaisuudet aluksilla on,
- kuinka suuri kyseisen alustyyppin tonnisto maailmassa on; kantokyky ja alusten lukumäärä, millä on vaikutusta sekä rahti- että 2nd hand-alusmarkkinoihin sekä
- miten muutokset vaikuttavat alusten tai tonniston jäissäkulkukykyyn, mikä on Suomen kannalta erityisen merkityksellistä.

Bulk-alusten nopeuden alentamiseen tähtäävä päästövähennyskeino vaikuttaisi Suomen liikenteessä kulkeviin aluksiin (ml. Suomen rekisterissä olevat alukset) keskimääräistä enemmän, sillä Suomen liikenteessä kulkevat alukset ovat nopeampia kuin maailman aluskannassa keskimäärin. Tämä on osittain seurausta Suomen erityisolosuhteista, siis käytännössä talvimerenkulun ja jääluokkavaatimusten edellyttämästä konetehosta, joka tyypillisesti johtaa avovesiolosuhteissa korkeampaan kulkunopeuteen.

Toinen syy on se, että Suomeen liikennöivät alukset ovat teknisesti kansainvälistä aluskantaa edistyksellisempiä. Lähes 60 % Suomeen vuonna 2017 liikennöineistä aluksista oli varustettu propulsioon tehokkuutta parantavalla säätösiipipotkurilla, kun vastaava osuus globaalissa kauppalaivastossa on vain noin 10 %.

Vastaavasti Suomeen liikennöivät alukset ovat yleensä teknisesti varsin edistyksellisiä ja myös talvimerenkulun vaatimusten takia kalliimpia. Nopeuden rajoittamiseen johtavat päästövähennyskeinot tarkoittaisivat siis käytännössä suomalaisten varustamojen investoimalla saavutetun kilpailuedun tasaamista teknisesti heikompileatuisten alusten hyväksi.

Alusten konetehon rajoittamiseen pätevät saman tyyppiset haasteet. Jäävahvistetut, ml. Suomen liikenteessä toimivat alukset ovat talvimerenkulun vaatimusten takia tehokkaampia. Näin ollen niiden konetehoa pitäisi laskea absoluuttisesti enemmän kuin avovesiolosuhteisiin tarkoitettujen laivojen, mikä vaikuttaisi todennäköisesti enemmän niiden operointiin.

Operatiiviseen indeksiin ja suunnitteluindeksiin perustuvat päästövähennyskeinot kohdistuisivat kaikkiin alustyyppisiin ja siten myös Suomen ulkomaankaupalle tärkeisiin Ro-Ro-aluksiin. Siten niiden vaikutus Suomen kilpailukykyyn olisi merkittävämpi, kuin pelkästään bulk-aluksiin tai bulk- ja konttialuksiin kohdistuvat päästövähennyskeinot. Näiltä osin on myös huomattava, että vaikka Suomeen liikennöivä aluskalusto onkin teknisesti globaalia laivastoa edistyneempää, on se myös iäkkäämpää, mikä tarkoittaa sitä, että se ei osin täytä esimerkiksi EEXI:n perustana olevia EEDI-määräyksiä. Näiltä osin voi olettaa operatiiviseen indeksiin ja suunnitteluindeksiin perustuvien päästövähennyskeinojen vaikuttavan Suomen ulkomaankaupan kilpailukykyyn.

Se, miten merenkulun sisällyttäminen EU ETS:ään vaikuttaa Suomen ja muiden EU-maiden alusten kilpailukykyyn riippuu siitä, miten merenkulku EU ETS:ään sisällytetään. Arvioita päästökaupan aiheuttamasta kustannuslisästä suhteessa alusten päiväkustannuksiin on esitetty tarkemmin taulukoissa 8 ja 9.

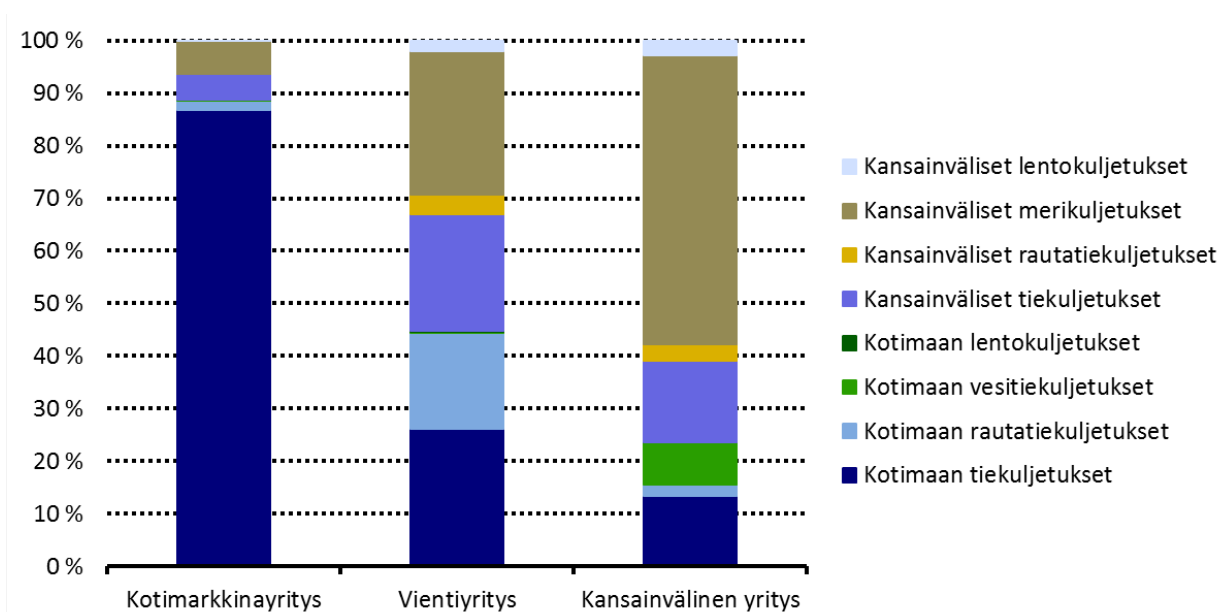
Alankomaiden Liikenneministeriön tilaamassa raportissa (Wortelboer-van Donselaar ym. 2013) tarkastellaan eri perusvaihtoehtojen vaikutukset Alankomaihin suuntaavalle meriliikenteelle. Tarkastellut vaihtoehdot ovat: (1) erillinen globaali meriliikenteen ETS, (2) polttoainemaksut + rahasto, (3) energiatehokkuuden kehittymiseen perustuvat maksut.

Tarkastelun ajanjakso on v.2050 asti, vuoden 2025 ollessa välitarkastelun kohteena. Raportissa päästöoikeuden hinta vaihtelee välillä USD 10–50 skenaariosta riippuen. Raportin mukaan ensimmäinen ja toinen vaihtoehto aiheuttavat arviolta 4.4 % (no. 1) tai 2.6 % (no. 2) lisäkustannuksen merenkulkusektorille, mikä johtaisi 0.5 % kysynnän vähentymiseen perusuraan verrattuna.

Merenkulun EU ETS- valinnoista ei tähän mennessä ole saatu kovinkaan paljon tietoa. Mikäli sääntely koskisi ainoastaan EU-maihin rekisteröityjä aluksia, heikkenisi niiden kilpailukyky käytännössä päästökaupan aiheuttaman kustannuslisän verran. Tällöin alusten päästöt eivät välttämättä vähenenisi, vaan aluksia todennäköisesti rekisteröitäisiin EU:n ulkopuolisiin maihin päästökaupan kustannusten välttämiseksi. Lopputulos olisi huono sekä ympäristön että eurooppalaisen merenkulun kannalta.

Mikäli sääntely koskisi kaikkia EU-maiden satamissa vierailevia aluksia, ei kilpailukykyvaikutus kohdistu ensisijaisesti aluksiin, vaan EU:n ulkomaankauppaan. Solakivi ym. 2016 ovat tutkineet merikuljetusten osuutta suomalaisten ja Suomessa toimivien yritysten kuljetuskustannuksista. (Kuvio 17).

Kuvio 17. Eri kuljetusmuotojen osuudet Suomessa toimivien yritysten kuljetuskustannuksista vuonna 2016 (Solakivi ym. 2016).



Merikuljetukset muodostavat yli 50 % erityisesti Suomessa toimivien kansainvälisten yritysten kuljetuskustannuksista (**Kuvio 17**). Solakivi ym. (2018) mukaan kuljetuskustannukset ovat keskimäärin noin 4 % Suomessa toimivien teollisuuden ja kaupan yritysten liikevaihdosta. Näin ollen merikuljetusten osuus on keskimäärin noin 2 % Suomessa toimivien kansainvälisten yritysten liikevaihdosta.

Tällöin päästökaupan kustannus olisi tässä raportissa tehtyjen olettamusten mukaan keskimäärin alle prosentin yritysten liikevaihdosta. Luonnollisesti niille yrityksille, joiden kuljetuskustannukset ja erityisesti merikuljetusten kustannukset ovat korkeam-

mat, myös kilpailukykyvaikutus olisi keskimääräistä suurempi. Taulukossa 13 on arvioitu toimialakohtaisten logistiikka- ja kuljetuskustannusten sekä kuljetuskustannusten toimialakohtaisiin jakaumiin perustuen, millainen merenkulun päästökaupan vaikutus kilpailukyvyllä olisi päästökaupan eri tasoilla.

Taulukko 13. Merenkulun päästökaupan kustannusvaikutus suhteessa kuljetuskustannuksiin ja liikevaihtoon eräillä teollisuuden toimialoilla. Solakivi ym. (2016 ja 2018).

	Kustannusvaikutus suhteessa kuljetuskustannuksiin			Kustannusvaikutus suhteessa liikevaihtoon		
	Päästöoikeuden hinta USD/CO ₂ e					
	23,35*	40+	80+	23,35*	40+	80+
Elintarviketeollisuus	2,3 %	3,8 %	7,5 %	0,2 %	0,3 %	0,7 %
Tekstiiliteollisuus	1,9 %	3,2 %	6,5 %	0,1 %	0,2 %	0,3 %
Sahateollisuus	4,0 %	6,7 %	13,4 %	0,3 %	0,5 %	0,9 %
Paperiteollisuus	1,8 %	3,0 %	5,9 %	0,2 %	0,3 %	0,7 %
Kemianteollisuus	3,6 %	6,0 %	12,1 %	0,2 %	0,3 %	0,5 %
Konepajateollisuus	2,4 %	3,9 %	7,9 %	0,1 %	0,2 %	0,3 %
Elektroniikkateollisuus	0,5 %	0,9 %	1,8 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Kulkuneuvojen valmistus	4,4 %	7,3 %	14,6 %	0,5 %	0,9 %	1,7 %

* Päästöoikeuden hinta tällä hetkellä

+ Maailmanpankin (2019) arvio päästöoikeuden vaihteluvälistä Pariisin sopimuksen tavoitteiden saavuttamiseksi

Nykyisellä päästöoikeuksien hintatasolla keskimääräiset vaikutukset suhteessa kuljetuskustannuksiin olisivat 0,5 % (elektroniikkateollisuus) – 4,4 % (kulkuneuvojen valmistus) ja suhteessa liikevaihtoon 0,1–0,5 %. Mikäli päästöoikeuden hinta olisi USD 80 CO₂e, se nostaisi yritysten kuljetuskustannuksia 1,8–14,6 %. Suhteutettuna yritysten liikevaihtoon tämän lisäkustannuksen vaikutus olisi 0,1–1,7 %.

Vaikka lähes 15 %:n kasvu kuljetuskustannuksissa on sinällään merkittävä, ovat mahdollisen päästökaupan vaikutukset yritysten kilpailukyvyllä rajalliset. Suurin vaikutus kuljetuskustannuksiin ja kilpailukykyyn kohdistuisi kulkuneuvojen valmistukseen ja kemianteollisuuteen, pienin puolestaan elektroniikkateollisuuteen.

On kuitenkin huomioitava, että yksittäisten yritysten ja tuotantolaitosten kilpailukyvyyn näkökulmasta myös keskimäärin pienet muutokset voivat olla toiminnan tuloksellisuuden ja kannattavuuden näkökulmasta merkittäviä. Samoin, mikäli yritys on voimakkaasti riippuvainen esimerkiksi sen tyyppisestä alusliikenteestä, johon päästökaupan

vaikutukset kohdistuvat keskimääräistä voimakkaammin (Ro-Ro-, Ro-Pax- ja konttialukset) voi päästökaupan vaikutus sekä suoraan kustannustason nousuna, että epäsuorasti palvelun mahdollisen häiriintymisen seurauksena olla arvioitua merkittävästikin suurempi.

8 Talvimerenkulku ja meriliikenteen päästöoikeudet tai markkinaehtoiset päästövähennyskeinot

Talvimerenkulun on arvioitu aiheuttavan lisäkustannuksia merenkululle niin alusten tarvitseman konetehon ja siitä johtuvan korkeamman polttoaineenkulutuksen kuin korkeamman hankintahinnan osalta. Solakivi ym. (2017) on aiemmin arvioinut IAS- ja IA-jääluokkiin kuuluvien konttialusten konetehon ja polttoaineen kulutuksen olevan noin 10 % korkeampi kuin alemmilla jääluokilla varustettujen alusten. Kaikilla alustyypeillä keskimäärin IAS-jääluokan alusten polttoaineen kulutus ja siten polttoainekustannukset ovat noin 12 % korkeammat kuin IA-luokan aluksilla ja noin 15 % korkeammat kuin IB-luokan aluksilla.

Mikäli vertailu suoritetaan Suomen liikenteessä tyypillisesti käytettävien IAS- ja IA-alusten ja avoveteen suunniteltujen alusten välillä, on ero konetehossa ja täten polttoaineen kulutuksessa vielä edellä arvioitua suurempi. Tätä tarkoitusta varten alustyyppin ja aluksen jääluokan vaikutusta konetehoon on arvioitu Solakivi ym. (2017) käyttämällä menetelmällä, jossa arvioidaan aluksen pääkoneen ja apukoneen teho alustyyppin ja lastikapasiteetin perusteella.

Laskelmaan on käytetty Clarkson's World Fleet Register -tietokannan (CRSL 2019) aluskohtaisia teknisiä tietoja alustyyppin, konetehon, jääluokan ja aluksen lastinkantokyvyn osalta. Taulukko 14 esittää IAS- ja IA-luokkien alusten lisäkonetehon suhteessa avovesilaivoihin globaalissa aluskannassa.

Kuten taulukosta voidaan todeta, IAS- ja IA-luokkien alusten konetehot ja sitä kautta polttoaineen kulutus ovat merkittävästi korkeampia kuin avovesialuksilla kaikissa alustyypeissä. Korkeampi polttoaineen kulutus tarkoittaa luonnollisesti myös sitä, että IAS-jääluokan alusten CO₂-päästöt ovat vastaavasti korkeammat. Tämä yhteys on merkittävä erityisesti jääolosuhteissa, joissa jäävahvistetut alukset joutuvat käyttämään merkittävän osan konetehostaan jäissä kulkemiseen. Karkeasti arvioiden jäänmurtajan saattamana tai itsenäisesti operoiden jäissä alukset käyttävät noin 80–85 % konetehostaan, mutta niiden kulkunopeus voi jäädä noin kuuteen solmuun.

Taulukko 14. IAS- ja IA-jäävahvistettujen alusten lisäkoneteho verrattuna kantavuudeltaan vastaavan kokoiseen avovesilaivaan.

IAS- ja IA-alusten lisäkoneteho verrattuna avovesilaivaan	
Bulk-alukset	29 %
Säiliöalukset	23 %
Ro-Ro	15 %
Muu kuivalastialus	30 %
Konttialus	10 %

Näin ollen talviolosuhteissa jäävahvistetut alukset kuluttavat merkittävästi enemmän polttoainetta ja aiheuttavat merkittävästi enemmän CO₂-päästöjä kuin avovedessä kulkevat alukset. Vastaavasti avovesiolosuhteissa käytettävä koneteho ja siten polttoaineen kulutus ja CO₂-päästöt ovat lähempänä avovesilaivojen tasoa. Alusten hankintahinnat ja siten pääomakustannukset ovat IAS- ja IA-jääluokkien aluksilla keskimäärin 8 % korkeammat kuin muilla aluksilla (Solakivi ym. 2017).

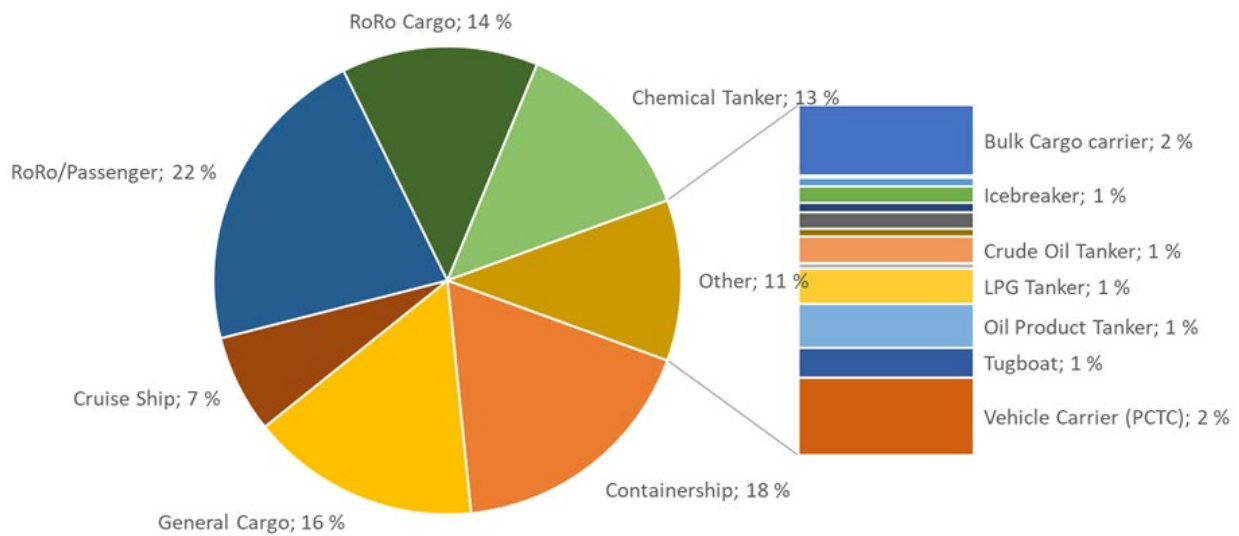
Liitteet

Liite 1. Suomen satamissa käyneet alukset, sekä satamakäyntien lukumäärät alusluokittain



Liite 2. Vuoden 2018 aikana Suomen satamissa käyneiden alusten CO2-päästöt Itämerellä alusluokittain. Kuusi suurinta alusluokkaa tuottaa yli 90 % kokonaispäästöistä.

%CO2 from ships visiting Finland during 2018, Baltic Sea data only



Liite 3. Maailman kauppalaivasto 31.12.2019 omistusmaittain ja lippuvaltioittain, milj. DWT; alukset > 1 000 GT; EU- ja ETA-maat korostettu. Tilastolähde: UNCTAD

World rank out of 153		FLAG OF REGISTRY, TOP 10 REGISTRIES BY											
		Total all flags	Panama	Marshall Isl.	Liberia	China, Hong Kong SAR	Singapore	Malta	China	Bahamas	Greece	Japan	All other
	Total all economies	1 963	333	246	243	199	129	111	91	78	69	36	428
1	Greece	349	26	71	76	1	2	66		18	61		28
2	Japan	225	135	12	15	3	7			9		36	8
3	China	206	21	2	3	75	5	3	91				6
4	Singapore	121	9	7	12	7	71	1		1			13
5	China, Hong Kong SAR	98	9	3	6	72	4						3
6	Germany	97	1	8	36	1	4	8		1			38
7	Korea, Rep. of	77	35	25	2	1							14
8	Norway	61	3	6	4	6	3	1		7			31
9	U.S.A.	58	1	27	7	3				4			16
10	Bermuda	58	3	17	4	7	1			15			11
11	France	56	5	16	11	4		3		1	4		12
12	China, Taiwan	51	20		10	4	8						8
13	United Kingdom	49	3	7	14	1	1	5		4			14
14	Denmark	43	1	2		3	13	1					22
15	Belgium	30	1	3	6	2	2	1			3		13
18	Switzerland, Liechtenstein	25	15	3	2			2					3
19	Russian Federation	23	1		11			1					10
21	Netherlands	18	2	1	2			1		2			10
25	Italy	18			1			2		1			13
27	Cyprus	11		2	1			1		1			4
34	Sweden	7											5
41	Spain	3,1	0,1					0,6		0,3			2,0
44	Poland	2,7			0,7			0,1		1,4			0,5
46	Ireland	2,7	0,2	1,2	0,4			0,3					0,6
49	Croatia	2,5		0,4				0,1		0,2			1,8
50	Finland	2,3								1,2			1,1
55	Luxembourg	1,6		0,6	0,3								0,7
56	Bulgaria	1,6	0,2					1,2					0,2
58	Malta	1,4	0,1					0,7					0,5
60	Portugal	1,2	0,3		0,3	0,2		0,3					0,1
64	Latvia	1,0		0,7									0,2
65	Romania	0,9	0,1	0,1	0,2			0,2					0,4
78	Estonia	0,4						0,1					0,2
83	Slovenia	0,3		0,1	0,1								0,1
88	Lithuania	0,2											0,2
	All other	260	41	29	16	6	7	10	0,2	12	1	0,4	137

Liite 4. Suomessa käyneiden alusten kantavuuden kehitys 2006–2018

DWT	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Vuosikasvu, %
Kuiva-bulk	47 935	46 337	45 852	44 872	46 914	50 129	51 804	53 015	52 718	52 402	53 572	56 491	54 504	1.11 %
Konttialus	30 812	33 391	3 1601	27 033	26 001	39 905	44 513	31 794	38 606	44 903	45 590	66 013	60 966	3.00 %
Kalastusalus	3 179	2 660	2 227	1 956	1 468	1 320	615	592	469	589	502	513	508	-5.00 %
Kappaletavara-alus	6 612	6 235	5 992	6 438	6 785	6 573	6 763	6 789	7 443	7 913	7 980	7 777	10 250	1.96 %
Risteilijä	4 404	3 978	4 339	4 425	4 507	4 497	4 683	4 853	4 775	5 109	5 007	5 055	5 317	1.29 %
RoPax	3 283	3 363	3 366	3 362	3 509	3 416	3 368	3 157	3 158	3 166	3 107	3 201	3 180	-0.20 %
Ro-Ro	8 759	8 502	8 757	9 212	9 553	9 705	9 391	9 609	9 742	9 883	10 405	10 968	10 775	1.67 %
Raakaöljytankkeri	103 271	101 060	100 247	116 734	107 912	104 270	108 395	114 156	112 204	111 974	116 732	118 066	112 755	1.03 %
LNG Tankkeri	67 194	8 0182	78 599	68 571	72 465	64 224	53 399	58 986	55 471	60 475	62 402	73 937	77 616	1.00 %
LPG Tankkeri	10 990	12 316	12 179	14 137	14 096	14 812	13 155	13 135	13 227	12 342	11 456	10 933	10 104	1.22 %
Tuotetankkeri	30 219	35 217	33 613	35 649	35 803	41 466	42 175	43 576	47 798	50 245	47 131	41 919	42 267	3.00 %
Kemikaalitankkeri	20 877	21 708	22 454	22 894	21 742	22 384	22 922	23 735	25 121	25 303	26 526	25 470	29 213	2.25 %
Tankkeri, keskiarvo	46 510	50 097	49 418	51 597	50 403	49 431	48 009	50 718	50 764	52 068	52 850	54 065	54 391	1.31 %
Autojenkuljetusalus	15 975	15 972	16 627	17 768	18 221	18 085	17 131	17 875	17 991	18 014	18 576	18 438	17 657	1.39 %

Liite 5. Alusten päästöt 2018

2018, types	NO _x , tonne	SO _x , tonne	PM2.5, tonne	CO, tonne	CO ₂ , 1 000 tonne	NMVOC, tonne	TRAVEL [million km]	Transport Work [10 ⁹ km*ton]
RoPax vessels	74 417	2 489	2 242	4 351	3 754	678	16	31
Vehicle carriers	28 142	871	730	1 688	1 378	239	8	55
Cargo ships	64 127	1 990	1 977	5 274	2 941	519	45	351
Container ships	53 411	1 572	1 625	3 712	2 337	421	12	166
Tankers	67 416	1 976	2 043	4 395	2 941	501	19	362
Passenger ships	3 145	101	91	232	150	26	5	0
Cruisers	9 796	333	298	669	526	105	1	0
Fishing vessels	2 469	91	83	229	134	22	7	0
Service ships	3 258	116	112	273	170	31	3	0
Unknown	10 591	456	401	1 436	662	104	16	0
Misc	13 078	475	457	1 257	696	131	11	0
Yhteensä	329 850	10 470	10 057	23 516	15 691	2 776	144	965

Liite 6. Alusten arvioidut päästöt vuonna 2050

2050, types	NO _x , tonne	SO _x , tonne	PM2.5, tonne	CO, tonne	CO ₂ , 1 000 tonne	NMVOC, tonne	TRAVEL [million km]	Transport Work [10 ⁹ km*ton]
RoPax vessels	9 891	1 629	1 508	2 954	2 503	462	15	29
Vehicle carriers	1 648	251	215	477	383	67	3	37
Cargo ships	15 157	2 176	2 186	5 824	3 227	573	72	875
Container ships	6 816	935	973	2 191	1 388	251	10	362
Tankers	30 719	4 212	4 368	9 308	6 247	1 065	57	1 643
Passenger ships	856	123	115	288	184	32	9	0
Cruisers	3 014	425	375	893	669	135	3	0
Fishing vessels	618	110	104	286	162	28	12	0
Service ships	582	103	102	252	152	28	4	0
Unknown	2 342	529	487	1 750	769	126	28	0
Misc	2 741	436	434	1 203	640	124	15	0
Yhteensä	74 383	10 929	10 867	25 426	16 323	2 891	229	2 946

LIITE 7 UNCTAD (2020) Decarbonizing Maritime Transport: Estimating Fleet Renewal Trends Based On Ship Scrapping Patterns

Table 1: Age distribution of world merchant fleet by vessel type, beginning of 2019

Vessel Types		0-4 years	5-9 years	10-14 years	15-19 years	20+ years	Average Age years
Bulk Carriers	Ships	22.84%	44.09%	14.64%	8.70%	9.74%	9.72
	DWT	25.12%	46.28%	14.15%	7.53%	6.92%	8.88
	Average Vessel Size (DWT)	81 482	77 757	71 592	64 156	52 622	
Container Ships	Ships	16.68%	21.77%	31.32%	13.95%	16.28%	12.34
	DWT	27.58%	28.52%	27.06%	10.52%	6.3%2	9.44
	Average Vessel Size (DWT)	83 362	66 050	43 565	38 031	19 579	
General Cargo	Ships	4.71%	14.60%	14.38%	7.11%	59.20%	26.39
	DWT	9.34%	25.85%	17.23%	9.57	38.01	18.95
	Average Vessel Size (DWT)	8 770	7 507	5 255	6 360	2 725	
Oil Tankers	Ships	14.67%	21.73%	18.22%	9.40%	35.98%	18.87
	DWT	22.54%	31.41%	24.97%	15.74%	5.35%	10.11
	Average Vessel Size (DWT)	82 577	78 314	73 092	90 578	8 241	
Others	Ships	12.62%	19.01%	13.45%	8.27%	46.65%	22.85
	DWT	22.00%	19.32%	19.57%	10.92%	28.19%	15.44
	Average Vessel Size (DWT)	10 461	6 548	8 839	8 136	4 214	
All Ships	Ships	12.72%	21.56%	15.29%	8.53%	41.91%	20.98
	DWT	23.76%	35.76%	19.73%	10.76%	9.99%	10.44
	Average Vessel Size (DWT)	44 370	39 985	30 696	30 946	6 342	

Source: UNCTAD, Review of Maritime Transport 2019, based on data provided by Clarksons Research.

Table 2: Average and median age of ships when scrapped in 2016, 2017, and 2018

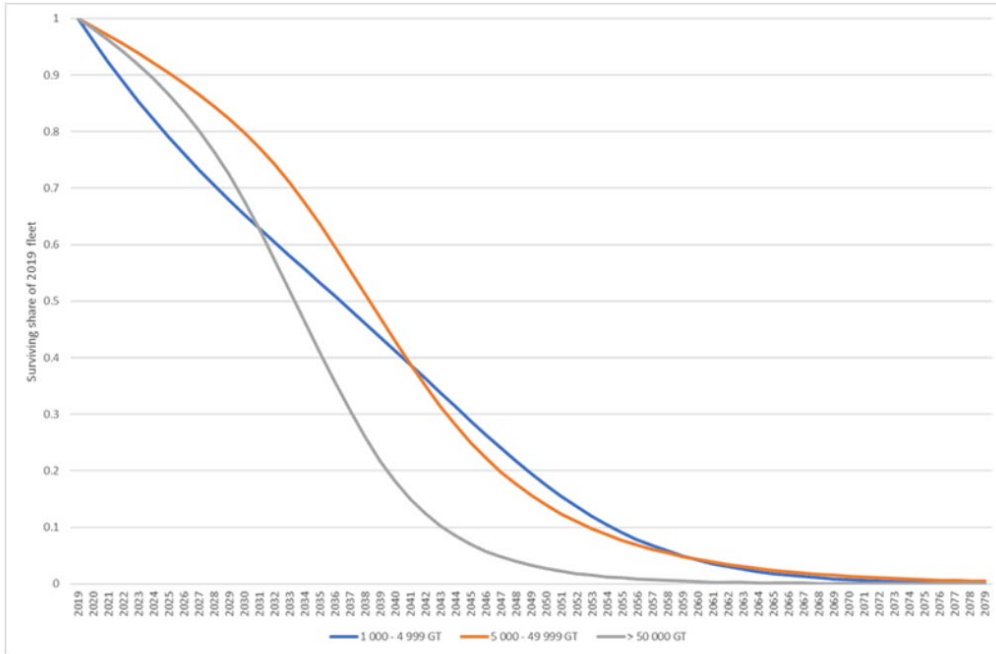
Category	Vessel age when scrapped (years)	
	Average	Median
Offshore supply	33.6	34.4
Bulk carriers	27.8	27.1
General cargo ships	35.4	35.3
Container ships	25.0	23.8
Oil tankers	25.1	23.5
Other/n.a.	32.1	30.2
Ferries and passenger ships	38.4	39.5
Chemical tankers	30.0	29.9
Liquefied gas carriers	30.3	27.9
1000 - 4999 GT, all types	35.1	35.2
5000 - 49999 GT, all types	29.3	28.6
Ships of 50000 GT and above, all types	23.7	22.1
All ships	30.4	29.9

Source: UNCTAD calculations, based on data provided by Clarksons Research. Commercial ships of 1000 GT and above.

We then apply the age-dependent scrapping probability to the currently existing fleet to estimate when the ships in service at the beginning of 2019 would be demolished, if this distribution remained the same as that of the previous three years (Figures 1 and 2). Today's older ships are – on average – smaller than the more recently built vessels, especially the latest large container and dry bulk vessels (Table 1).

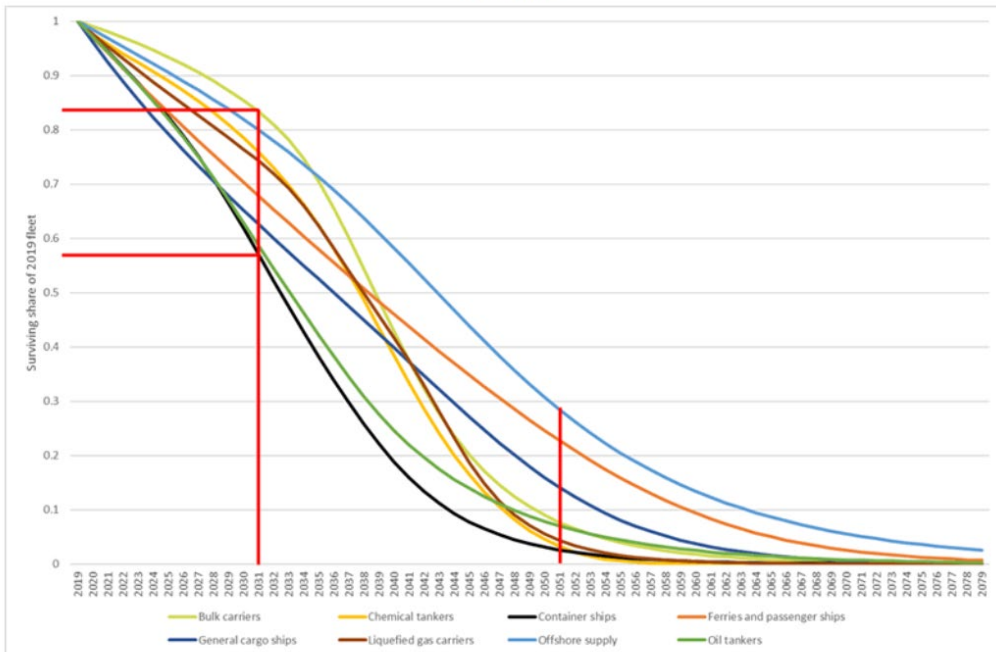
Thus, their demolition starts earlier (see the blue line in Figure 1). At the same time, smaller ships tend to have a higher live expectancy, so it can be expected that by 2050 there will be a higher share of the currently existing smaller ships still in service than of the currently existing larger ships (Figure 1).

Figure 1: Distribution of the projected remaining share of the currently existing fleet, beginning of year, by vessel size



Source: UNCTAD calculations, based on data provided by Clarksons Research. Commercial ships of 1000 GT and above.

Figure 2: Distribution of the expected remaining share of the currently existing fleet, beginning of year, by vessel type



Source: UNCTAD calculations, based on data provided by Clarksons Research. Commercial ships of 1000 GT and above.

If recent scrapping patterns persist, it can be expected that by the end of 2030 (i.e. beginning of 2031), 17 % of the current dry bulk carrier fleet will have been demolished, while 83 % will still be in service. For container ships, 43 % can be expected to be scrapped and only 57 % of the currently existing container fleet will still be in service end of 2030 (beginning of 2031 in the chart). The ships that will replace the withdrawn capacity during the next decade are likely to be still burning traditional fuels.

These figures highlight the urgency in developing new technologies as soon as possible, to avoid that the fleet renewal of the next years will include too many traditionally fuelled ships which will then still service global trade for decades to come.

Lähteet

Abbasov, F. (2019) *EU Shipping's Climate Record*. Saatavissa: https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/Study-EU_shippings_climate_record_20191209_final.pdf.

Abbasov, F. (2020) https://www.europarl.europa.eu/cmsdata/195333/Abbasov_MRV_Study_results_TE_EN_original.pdf

Adland, R., Fonnes, G., Jia, H., Lampe, O.D., S., Strandenes, S. (2017) The impact of regional environmental regulations on empirical vessel speeds, *Transportation Research Part D*, Vol. 53, pp. 37-49.

Balcombe, P.; Brierley, J.; Lewis, C.; Skatvedt, L.; Speirs, J.; Hawkes, A.; Staffell, I. How to decarbonize international shipping: Options for fuels, technologies and policies. *Energy Convers. Manag.* 2019, 182, 72–88, doi:10.1016/j.enconman.2018.12.080.

Bäuerle, Tim., Graichen, J., Kulesa, M., Meyer, K., Oschinski, M., Seum, S. (2010) *Integration of Marine Transport into the European Emissions Trading System - Environmental, economic and legal analysis of different options*, Öko-Institut e.V.

BHP Group Limited BW Group DNB DNV GL–Maritime. *Carbon Levy Evaluation- Could a Carbon Levy in Shipping be an Effective Way to Help*; Global Maritime Forum: Singapore, Republic of Singapore; 2019.

Bouman, E.A., Lindstad, E., Riialand, A.I., Strömman, A.H., (2017) State-of-the-art technologies, measures and potential for reducing GHG emissions from shipping – A review, *Transportation Research Part D*, Vol. 52, pp. 408-421.

Carbon Trust (web sivusto), <https://www.carbontrust.com/what-we-do/assurance-and-certification/product-footprint-certification?kw=%20product-%20footprint-Broad>, tarkistettu 17.04.2020

Cariou, P.; Cheaitou, A. (2012) The effectiveness of a European speed limit versus an international bunker levy to reduce CO₂ emissions from container shipping. *Transportation Research. Part D*, Vol.17, pp. 116–123.

Chai, K.-H.; Lee, X.N.; Gaudin, A. (2019) A Systems Perspective to Market–Based Mechanisms (MBM) Comparison for International Shipping. *Ssrn Electron. J.* 2019, doi:10.2139/ssrn.3347448.

CRSL (2019) *Clarkson's World Fleet Register 2019*.

Cullinane, K., Bergqvist, R. (2014) Emission control areas and their impact on maritime transport, *Transportation Research Part D*, Vol. 28, pp. 1-5.

Deniz, C., Zincir, B. (2015) Environmental and economical assessment of alternative marine fuels, *Journal of Cleaner Production*, Vol 113, pp. 438–449

Devanney, J.W. *The impact of EEDI on VLCC design and CO₂ emissions*. Center for Tankship Excellence, USA, 2010. Saatavissa: [www. c4tx.org](http://www.c4tx.org).

Dominioni, G., Heine, D., and Martinez Romera, B. (2019), *Regional Carbon Pricing for International Maritime Transport - Challenges and Opportunities for Global Geographical Coverage*, World Bank, Policy Research Working Paper 8319

Eide, M.S., Longva, T., Hoffmann, P., Endresen, Ø., Dalsøren, S.B. (2011) Future cost scenarios for reduction of ship CO₂ emissions, *Maritime Policy & Management*, Vol. 38 No. 1, pp. 11-37.

Elgohary, M., Seddiek, I., Salem, A., (2015) Overview of alternative fuels with emphasis on the potential of liquefied natural gas as future marine fuel, *Journal of engineering for maritime environment*, Vol 229 (4) pp. 365–375

Fagerholt, K., Gausel, N.T., Rakke, J.G., Psaraftis, H.N., 2015. Maritime routing and speed optimization with emission control areas. *Transportation Research Part C*, Vol. 52, pp. 57–73.

Ferrari, C., Parola, F., Tei, A. (2015) Determinants of slow steaming and implications on service patterns, *Maritime Policy & Management*, Vol. 42 No.7, pp. 636-652.

Gkonis, K.G.; Psaraftis, H.N. (2012) Modeling tankers' optimal speed and emissions. *Sname Trans.* 2012, 120, 90–115.

Gu, Y., Wallace, S.W., (2017). Scrubber: A potentially overestimated compliance method for the emission control areas: the importance of involving a ships sailing pattern in the evaluation. *Transportation Research Part D*, Vol. 55, pp. 51–66.

Gu, Y., Wallace, S.W., Wang, X. (2018), *Can an Emission Trading Scheme really reduce CO₂ emissions in the short term? Evidence from a maritime fleet composition and deployment model*, Norwegian Institute of Economics (NHH) report FOR 10 2018, Bergen, Norway

Gu, Y., Wallace, S.W., Wang, X. (2019) Can Emission Trading Scheme really reduce CO₂ emissions in the short term? Evidence from a maritime fleet composition and deployment model, *Transportation Research Part D*, Vol. 74, pp. 318-338.

Gu, Y., Wallace, S.W., Wang, X., (2018). The impact of bunker risk management on CO₂ emissions in maritime transportation under ECA regulation. In: Cinar, D., Gakis, K., Pardalos, P.M. (Eds.), *Sustainable Logistics and Transportation*. Springer International Publishing, Switzerland, pp. 199–224.

Gu, Y.; Wallace, S.W.; Wang, X. (2019) Can an Emission Trading Scheme really reduce CO₂ emissions in the short term? Evidence from a maritime fleet composition and deployment model. *Transportation Research Part D*, Vol. 74, 318–338.

Halim, R.A.; Smith, T.; Englert, D. (2019) *Understanding the Economic Impacts of Green-house Gas Mitigation Policies on Shipping-What Is the State of the Art of Current Modeling Approaches?* Saatavissa: <http://tiny.cc/econ-model-ship-exec-sum>.

Hermeling, C., Klement, J.H., Koesler, S., Köhler, J., Klement, D. (2015) Sailing into a dilemma: An economic and legal analysis of an EU trading scheme for maritime emissions, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 78, pp. 34-53.

IMF (2020) World Economic Outlook Update, June 2020; <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/06/24/WEOUpdateJune2020>

IMO (2014) *Third IMO Greenhouse Gas Study 2014*, International Maritime Organization, International Maritime Organization 2015.

IMO. 2009. *Second IMO GHG study: prevention of air pollution from ships*. London, UK.

Kågeson, P. (2007) *Linking CO₂ Emissions from International Shipping to the EU ETS*

Koesler, S.; Achtnicht, M.; Köhler, J. (2015) Course set for a cap? A case study among ship operators on a maritime ETS. *Transport Policy*, Vol. 37, pp. 20–30.

Kosmas, V., Acciaro, M. (2017) Bunker levy schemes for greenhouse gas (GHG) emission reduction in international shipping. *Transportation Research Part D*, Vol. 57, pp. 195–206.

Kou, Y., Luo, M. (2016) Strategic capacity competition and overcapacity in shipping, *Maritime Policy & Management*, Vol. 43 No.4, pp. 389-406.

Krewitt, W. (2006) *Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zur Energieerzeugung aus fossilen Energieträgern, Gutachten im Auftrag des BMU*

Lema, E., Karaganis, A., Papageorgiou, E. A. (2017) Fuzzy Logic Modeling of Measures Addressing Shipping CO₂ Emissions. *J. Intell. Syst.* Vol. 26, 439–455.

Lema, E.; Papaioanou, D. (2013) Policy instruments and recent advances of the greenhouse gas regulating framework in shipping. *Interdiscip. Environ. Rev.*, Vol. 14, pp. 238.

Liikennevirasto (2019) *Aluskäyntitilasto 2018*.

Lindstad, E., Bø, T., (2018) Potential power setups, fuels and hull designs capable of satisfying EEDI requirements, *Transportation research part D*, 63, pp. 276–290

Lindstad, H., Verbeek, R., Blok, M., van Zyl, S., Hübscher, A., Kramer, H., Purwanto, J., Ivanova, O., Boonman, H. (2015) *GHG emission reduction potential of EU-related maritime transport and on its impact*, TNO report.

Lloyd's Register and UMAS, (2017) Zero emissions vessels 2030 – How do we get there? <https://www.lr.org/en/insights/global-marine-trends-2030/zero-emission-vessels-2030/>

Maaailmanpankki (2019) *State and Trends of Carbon Pricing 2019*, World Bank Group, Washington D.C. June 2019.

Marcu, A., Alberola, E., Caneill, J.Y., Mazzoni, M., Schleicher, S., Vailles, C., Stoefs, W., Vangenechten, D., Cecchetti, D. (2019). *2019 State of the EU ETS Report*, ERCST/Wegener-Center/ICIS/I4CE/Ecoact, [https://www.i4ce.org/wp-core/wp-content/uploads/2019/05/2019-State-of-the-EU ETS-Report.pdf](https://www.i4ce.org/wp-core/wp-content/uploads/2019/05/2019-State-of-the-EU-ETS-Report.pdf)

Mellin, A., Elkerbout, M., Hansson, J., Zetterberg, L., Fridell, E., Christodoulou, A., Woxenius, J. (2020) *Including maritime transport in the EU Emission Trading System – addressing design and impacts*, Lighthouse Reports.

MEPC, *A Rebate Mechanism (RM) for a Market-Based Instrument for International Shipping* Proposal by IUCN; IMO doc. MEPC 60/4/55; IMO: London, UK; 2010.

Miola, A., Marra, M., Ciuffo, B. (2011) Designing a climate change policy for the international maritime transport sector: Market-based measures and technological options for global and regional policy actions, *Energy Policy*, Vol. 39 No. 9, pp. 5490-5498.

Ojala, L., Kujala, P., Solakivi, T., Kiiski, T., Lindeberg, M., Kilpi, V. (2020) *MERLOG 2030, Merikuljetusten Logistiikka ja ulkomaankaupan kilpailukyky*, Turun kauppakorkeakoulun julkaisu E-1:2020

Parry, I.; Heine, D.; Kizzier, K.; Smith, T. (2018) *Carbon Taxation for International Maritime Fuels: Assessing the Options*. Imf Work. Pap. 2018, DOI: <http://dx.doi.org/10.5089/9781484374559.001>

Psaraftis, H.N. (2019) Decarbonization of maritime transport: To be or not to be? *Maritime Economics and Logistics*, Vol. 21, pp. 353–371.

Shi, Y. (2016) Reducing greenhouse gas emissions from international shipping: Is it time to consider market-based measures, *Marine Policy*, Vol. 64, pp. 123-134.

Smith, T.; Raucci, C.; Haji Hosseinloo, S.; Rojon, I.; Calleya, J.; De La Fuente, S.; Wu, P.; Palmer, K. (2016) *CO₂ Emissions from International Shipping Possible Reduction Targets and Appendix and Operational Intervention Assumptions*. Saatavissa: <https://u-mas.co.uk/LinkClick.aspx?fileticket=na3ZeJ8Vp1Y%3D&portalid=0>

Solakivi T., Kiiski T., Ojala L. (2017) On the cost of ice: estimating the premium of Ice Class container vessels, *Maritime Economics & Logistics*, Vol. 21 No. 2, pp. 207–222.

Solakivi T., Kiiski T., Ojala L. (2018) The impact of ice class on the economics of wet and dry bulk shipping in the Arctic waters, *Maritime Policy & Management*, Vol. 45 No. 4, pp. 530–542.

Solakivi, T., Ojala, L., Laari, S., Lorentz, H., Kiiski, T., Töyli, J., Malmsten, J., Bask, A., Rintala, O., Paimander, A., Rintala, H. (2018b) *Logistiikkaselvitys 2018*, Turun Kauppakorkeakoulun julkaisu Sarja E-2:2018.

Solakivi, T., Panagakos, G. & Psaraftis, H. (2020, April 27-30). Backshift effects of Sulphur Emission Regulation in Baltic Sea Ro-Ro Traffic. *Transport Research Arena 2020*, Helsinki, Finland. (Conference canceled)

Srivastava, A. (2016) *Compliant strategy for shipowners towards sustainable maritime transport: a decision framework for air emission reduction measures*, World Maritime University dissertations.

Tanaka, H.; Okada, A. (2019) Effects of market-based measures on a shipping company: Using an optimal control approach for long-term modeling. *Res. Transp. Econ.* 2019, Vol. 73, 63–71.

University de Sevilla (web-page), Handbook on Marine Policy in the US and the EU: an Approach to Emerging Issues, http://ocwus.us.es/geografia-humana/handbook-on-marine-policy-in-the-us-and-the-eu-an-approach-to-emerging-issues/handbook_web/3.htm

Wang, K.; Fu, X.; Luo, M. (2015) Modeling the impacts of alternative emission trading schemes on international shipping. *Transportation Research Part A*, 77, 35–49.

Wang, X.; Norstad, I.; Fagerholt, K.; Christiansen, M. (2019) Green Tramp Shipping Routing and Scheduling: Effects of Market-Based Measures on CO₂ Reduction. *Sustainable Shipping*, 285–305.

Wortelboer-Van Donselaar, P., Kansen, M., Moorman, S., Faber, J., Koopman, M., Smit, M. (2013) *Gevolgen Market Based Measures CO₂-emissiereductie zeevaart voor Nederland*, Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, rapporti KiM-13-A06

WTO (2020) Release 22 June 2020, https://www.wto.org/english/news_e/pres20_e/pr858_e.htm

Yang, J.W., Park, H., Chun, H.H., Ceccio, S.L., Perlion M., Lee, I. (2014) Development and performance at high Reynolds number of a skin-friction reducing marine paint using polymer additives, *Ocean Engineering*, Vol. 84, pp. 183-193.

Zhu, M.; Yuen, K.F.; Ge, J.W.; Li, K.X. (2018) Impact of maritime emissions trading system on fleet deployment and mitigation of CO₂ emission. *Transportation Research Part D*, Vol. 62, 474–488.

Zis, T., Psaratis, H.N. (2017) The implications of the new sulphur limits on the European Ro-Ro sector, *Transportation Research Part D*, Vol. 52, pp. 185-201.