



**TURUN  
YLIOPISTO**  
Kauppakorkeakoulu

**Euroopan unionin päästökaupan  
kustannusvaikutus Suomen kautta liikennöiville  
ro-ro ja ro-pax-aluksille**

Toimitusketjujen johtamisen  
pro gradu -tutkielma

Laatija:  
Perttu Kovanen

Ohjaaja:  
KTT Tomi Solakivi

13.3.2022  
Turku

Turun yliopiston laatujajestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Pro gradu -tutkielma

**Oppiaine:** Toimitusketjujen johtaminen

**Tekijä:** Perttu Kovanen

**Otsikko:** Euroopan unionin päästökaupan kustannusvaikutus Suomen kautta liikennöiville ro-ro ja ro-pax-aluksille

**Ohjaaja:** KTT Tomi Solakivi

**Sivumäärä:** 103 sivua + liitteet 27 sivua

**Päivämäärä:** 13.3.2022

Merenkulku on maailman kaupan kannalta hyvin merkittävässä asemassa. Viime aikoina on keskusteltu merirahdin asettamisesta EU ETS:n alaiseksi, mikä aiheuttaisi suuria muutoksia merirahtiin ja aluksiin. Päästöoikeuksien aiheuttamien lisäkustannuksen minimoimiseksi varustamot voivat joko investoida päästövähennysteknologioihin tai ottaa käyttöön erilaisia operatiivisia keinoja päästöjen vähentämiseksi.

Olemassa olevan aluskaluston osalta tilanne on erityisen haastava. Erilaisten päästövähennysteknologioiden, kuten rungon kaventamisen tai vaihtoehtoisten polttoainejärjestelmien käyttöönotto, vaatii suuria investointeja, jotka ovat taloudellisesti kannattavia pääsääntöisesti uusien alusten rakentamisen yhteydessä. Olemassa olevien alusten ensisijaisena päästövähennyskeinona voidaan pitää erilaisia operatiivisia keinoja, kuten nopeuden laskemista ja reittisuunnittelun optimointia. Vaihtoehtoisesti päästöjä voidaan vähentää siirtymällä biopolttoaineiden käyttöön, joita voidaan hyödyntää aluksissa ilman jälkiasennus ja muutostarpeita. Niiden on kuitenkin oltava varastoinnissaan ja toiminnassaan samanlaisia kuin olemassa olevien öljypohjaisten polttoaineiden.

Tämän tutkielman keskiössä olevalle ro-ro ja ro-pax-liikenteelle päästövähennysmahdollisuudet ovat vielä tätäkin niukemmat. Niiden aikataulusidonnainen liikenne sulkee pois tärkeimmät operatiiviset päästövähennyskeinot, kuten nopeuden laskemisen ja matkasuunnittelun kehittämisen, mitkä aiheuttaisivat viivästyksiä aikatauluihin sekä reittimuutoksia. Näin ollen ainoaksi varteenotettavaksi päästövähennyskeinoksi tälle liikennemuodolle jää biopolttoaineiden käyttöönotto, joka olisi arvioiden mukaan kannattavaa vasta päästöoikeuden hinnan ollessa vähintään 150 euroa/EUA. Joulukuun 2021 alussa päästöoikeuden hinta oli vain 80 euroa/EUA, joten tästä hintatasosta ollaan vielä kaukana.

Tässä tutkielmassa on laskettu aluskohtaisesti päästöoikeuksien hankinnasta aiheutuvien lisäkustannusten suuruus, jonka jälkeen niistä on muodostettu keskiarvo Suomen ja kohdemaan välisen lisäkustannuksen suuruudesta. Tulosten perusteella voidaan sanoa, että päästöoikeudet aiheuttavat merkittäviä lisäkustannuksia ro-ro ja ro-pax-aluksille etenkin rahdin osalta. Alimmillaankin päästöoikeuden hinnan aiheuttama lisäkustannus rahdille on yli 10 prosenttia nykyiseen hintaan verrattuna ja ylimmillään lisäkustannus voi nousta jopa lähelle 70 prosenttia. Ro-pax-aluksilla kulkevien matkustajien osalta lisäkustannus ei ole yhtä merkittävä, sillä lisäkustannuksen suuruus on muutaman prosenttiyksikön luokkaa. Todellisuudessa lisäkustannuksen suuruus voi olla vieläkin suurempi, sillä tutkielmassa on oletettu alusten täyttöasteen olevan 100 prosenttia, jota ei aina todellisuudessa saavuteta. Tutkielman tulosten perusteella merenkulun asettaminen EU ETS:n alaiseksi tulee aiheuttamaan ro-ro ja ro-pax-liikenteelle merkittävät lisäkustannukset, mikä tulee heijastumaan suoraan näiden alusten rahtihintoihin.

**Avainsanat:** merenkulku, päästöoikeus, EU ETS, ro-ro, ro-pax, ympäristösäännöstely, päästökauppa

# Sisällys

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>9</b>
1.1	Tutkimuksen aihe ja merkitys	9
1.2	Tutkimusongelma, tutkimuskysymys ja rakenne	10
<b>2</b>	<b>Merenkulun markkinat ja kustannustekijät</b>	<b>12</b>
2.1	Merirahti	12
2.1.1	Merenkulun neljä markkinaa	12
2.1.2	Merenkulun markkinoiden sykli	15
2.1.3	Lyhyen matkan merenkulku (ro-ro ja ro-pax)	18
2.2	Merirahdin kustannukset ja tuotot	21
2.2.1	Yleisellä tasolla	21
2.2.2	Ro-ro ja ro-pax-alusten kustannusrakenne	23
2.2.3	Suomen ulkomaan ro-ro-liikenteen kustannusrakenne	26
2.3	Aluskaluston tunnusluvut ja rakenne	28
2.3.1	Maailman laivasto	28
2.3.2	Suomen laivasto	32
<b>3</b>	<b>Päästökauppa ja merirahdin päästöt</b>	<b>35</b>
3.1	Historia ja teoreettinen tausta	35
3.1.1	Historia	35
3.1.2	Teoreettinen tausta	36
3.1.3	Edut ja ongelmat	37
3.1.4	Cap-and-trade, credit-and-trade ja intensiteettitavoite	39
3.2	Euroopan unionin päästökauppajärjestelmä (EU ETS)	40
3.2.1	Historia	40
3.2.2	Alku ja tavoitteet	41
3.2.3	Kansallinen jakosuunnitelma (NAP)	41
3.2.4	Vaiheet ja kehitys	42
3.2.5	Neljäs vaihe ja Fit for 55 –paketti	45
3.2.6	Päästöoikeuksien huutokauppa ja jälkimarkkinat	47
3.2.7	Päästöoikeuden hintakehitys	48
3.2.8	Päästökaupan soveltuminen merirahdille	50
<b>4</b>	<b>Merenkulun päästöt ja päästövähennyskeinot</b>	<b>55</b>
4.1	Merenkulun päästöt	55
4.1.1	Merenkulun kasvihuonekaasut	55
4.1.2	Merenkulusta syntyneiden päästöjen määrä	56

<b>4.2 Merenkulun polttoaineet</b>	<b>59</b>
4.2.1 Käytössä olevat polttoaineet	59
4.2.2 Polttoaineiden hintakehitys	61
<b>4.3 Merenkulun päästöjen vähentäminen</b>	<b>62</b>
4.3.1 Olemassa olevat vähennysteknologiat ja keinot	62
4.3.2 Vaihtoehtoiset polttoaineet	66
4.3.3 Soveltuvuus olemassa oleville aluksille	68
<b>5 Metodologia</b>	<b>73</b>
<b>5.1 Tutkimusstrategia ja tutkielman positiointi</b>	<b>73</b>
<b>5.2 Alustiedot</b>	<b>75</b>
5.2.1 Alukset ja liikennöidyt satamat	75
<b>5.3 Polttoaineen kulutuksen määrittäminen</b>	<b>77</b>
5.3.1 SFOC-arvon määrittäminen	80
5.3.2 Hiilidioksidipäästöjen laskenta ja kohdistus	80
<b>6 Tulokset</b>	<b>83</b>
<b>6.1 Ro-ro-alukset</b>	<b>83</b>
<b>6.2 Ro-pax-alukset</b>	<b>86</b>
<b>7 Johtopäätökset ja keskustelu</b>	<b>91</b>
<b>7.1 Johtopäätökset</b>	<b>91</b>
<b>7.2 Jatkotutkimus ja rajoitukset</b>	<b>93</b>
<b>Lähteet</b>	<b>95</b>
<b>Liitteet</b>	<b>104</b>
<b>Liite 1. Ro-ro-alusten tekniset tiedot</b>	<b>104</b>
<b>Liite 2. Ro-pax-alusten tekniset tiedot</b>	<b>106</b>
<b>Liite 3. Ro-ro-alusten aluskohtaiset CO<sub>2</sub>-päästöt ja lisäkustannukset</b>	<b>108</b>
<b>Liite 4. Ro-pax-alusten aluskohtaiset CO<sub>2</sub>-päästöt ja lisäkustannukset</b>	<b>118</b>

## KUVIOLUETTELO

KUVIO 1 MERENKULUN NELJÄ MARKKINASEGMENTTIÄ, NIIDEN VÄLISET YHTEYDET JA RAHAVIRRAT (STOPFORD 2009, 179)	14
KUVIO 2 PITKÄ, LYHYT JA KAUSITTAINEN SYKLI (STOPFORD 2009, 95)	15
KUVIO 3 MERENKULUN MARKKINOIDEN KYSYNNÄN JA TARJONNAN MALLI (STOPFORD 2009, 137)	17
KUVIO 4 MERENKULUN KASSAVIRTAMALLI (STOPFORD 2009, 220)	23
KUVIO 5 KUSTANNUSERIEN SUHTEELLINEN OSUUS PÄIVITTÄISISTÄ KUSTANNUKSISTA ALUSTYYPEITTÄIN (DELHAYE YM 2010)	25
KUVIO 6 RO-RO JA RO-PAX-ALUSTEN YSIKKÖKUSTANNUSTEN SUHTEELLISET OSUUDET (KARVONEN JA JOUSILAHTI 2018)	27
KUVIO 7 MAAILMAN KAUPPALAIVASTON KANTAVUUDEN KEHITYS ALUSTYYPEITTÄIN VUOSIEN 1980– 2020 VÄLILLÄ (UNCTADSTAT 2021)	30
KUVIO 8 VARSINAISEN KAUPPALAIVASTON JA KAUPPA-ALUSLUETTELOON BRUTTOVETOISUUDET ALUSTYYPEITTÄIN SYYSKUUSSA 2021 (TILASTOKESKUS 2021A)	33
KUVIO 9 VARSINAISEN KAUPPALAIVASTON JA KAUPPA-ALUSLUETTELOON KANTAVUUDET ALUSTYYPEITTÄIN (TILASTOKESKUS 2021A)	33
KUVIO 10 PÄÄSTÖMÄÄRÄN, PÄÄSTÖOIKEUKSIEN, YLIJÄÄMÄN JA MSR:N KEHITYS VUOSIEN 2005–2020 VÄLILLÄ (EEA 2022; EUROOPAN KOMISSIO 2021F)	45
KUVIO 11 PÄÄSTÖOIKEUDEN HINTAKEHITYS (EUROA PER HIILIDIOKSIDITONNI) VUOSIEN 2005–2020 VÄLILLÄ (EEX 2021, BUSINESS INSIDER 2021, EEA 2021)	49
KUVIO 12 PÄÄSTÖOIKEUDEN KUUKAUSITTAINEN HINTAKEHITYS VUONNA 2021 (EEX 2021)	50
KUVIO 13 SECA-ALUEELLA KÄYTETTÄVIEN POLTTOAINEIDEN HINTAKEHITYS ELOKUUN 2019 JA JOULUKUUN 2021 VÄLILLÄ (SHIP & BUNKER 2021)	61
KUVIO 14 RO-RO-ALUSTEN CO <sub>2</sub> -PÄÄSTÖMÄÄRÄN KEHITYS MATKAN SUHTEEN	83
KUVIO 15 RO-RO-ALUSTEN KAISTAMETRIN KUSTANNUKSEN KEHITYS MATKAN SUHTEEN ERI PÄÄSTÖOIKEUDEN HINNOILLA	84
KUVIO 16 RO-PAX-ALUSTEN RAHDILLE KOHDISTETUN CO <sub>2</sub> -PÄÄSTÖMÄÄRÄN KEHITYS MATKAN SUHTEEN	87
KUVIO 17 RO-PAX-ALUSTEN MATKUSTAJILLE KOHDISTETUN CO <sub>2</sub> -PÄÄSTÖMÄÄRÄN KEHITYS MATKAN SUHTEEN	87
KUVIO 18 RO-PAX-ALUSTEN KAISTAMETRIN KUSTANNUKSEN KEHITYS MATKAN SUHTEEN ERI PÄÄSTÖOIKEUDEN HINNOILLA	88
KUVIO 19 RO-PAX-ALUSTEN HENKILÖKILOMETRIN KUSTANNUKSEN KEHITYS MATKAN SUHTEEN ERI PÄÄSTÖOIKEUDEN HINNOILLA	88

## TAULUKKOLUETTELO

TAULUKKO 1 ALUSTYYPEILLE VALITUT OMINAISUUDET (DELHAYE YM. 2010)	24
TAULUKKO 2 KUSTANNUSRAKENNE ALUSTYYPEITTÄIN (€/PÄIVÄ) (DELHAYE YM. 2010)	24
TAULUKKO 3 IA SUPER JA IA-JÄÄLUOKAN ALUSTEN TARVITSEMA LISÄKONETEHO VERRATTAESSA KANTAVUUDELTAAN SAMANLAISEEN AVOVESIALUKSEEN (SOLAKIVI YM. 2020)	26
TAULUKKO 4 MAAILMAN KAUPPALAIVASTON BRUTTOVETOISUUS ALUSTYYPEITTÄIN VUOSIEN 2015– 2020 VÄLILLÄ (UNCTADSTAT 2021)	29
TAULUKKO 5 MAAILMAN KAUPPALAIVASTON KANTAVUUS ALUSTYYPEITTÄIN VUOSINA 2019 JA 2020 (UNCTADSTAT 2021)	29
TAULUKKO 6 ALUSTEN OMISTAJUUS JA REKISTERÖINTI VUONNA 2020 ALUSTEN LUKUMÄÄRÄLLÄ VERTAILTUNA (UNCTAD 2020A)	31
TAULUKKO 7 ALUSTEN OMISTAJUUS JA REKISTERÖINTI VUONNA 2020 ALUSTEN KANTAVUUDELLA VERTAILTUNA (UNCTAD 2020A)	31
TAULUKKO 8 VARSINAISEN KAUPPALAIVASTON JA KAUPPA-ALUSLUETTELOIN ALUSMÄÄRÄT ALUSTYYPEITTÄIN (TILASTOKESKUS 2021A)	34
TAULUKKO 9 KANSAINVÄLISEN MERENKULUN CO <sub>2</sub> -PÄÄSTÖJEN KEHITYS VUOSIEN 2012–2018 VÄLILLÄ (IMO 2020)	56
TAULUKKO 10 ARVIO KANSAINVÄLISEN MERENKULUN HIILI-INTENSITEETIN KEHITYKSESTÄ (IMO 2020)	57
TAULUKKO 11 RO-RO JA RO-PAX-ALUSTEN PÄÄSTÖT JA OSUUDET KOKOLUOKITTAIN VUONNA 2018 (IMO 2020)	57
TAULUKKO 12 MERENKULUN ERI ALUSTYYPPIEN MRV:SSÄ RAPORTOIDUT PÄÄSTÖT (MELLIN YM. 2020)	58
TAULUKKO 13 MERENKULUN PÄÄSTÖVÄHENNYSKEINOT JA NIIDEN VÄHENNYSPOTENTIAALIEN VAIHTELUVÄLI (BOUMAN YM. 2017)	65
TAULUKKO 14 ERI PÄÄSTÖVÄHENNYSKEINOJEN INVESTOINTIKUSTANNUS ERIALUSTYYPPIEN KESKIMÄÄRÄISELLE ALUKSELLE (EUROA) (LINDSTAD YM. 2015)	71
TAULUKKO 15 PÄÄSTÖVÄHENNYSKEINOJEN INVESTOINTIKUSTANNUS PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEKSI YHDELLÄ PROSENTILLA (EUROA) (SOLAKIVI YM. 2020)	72
TAULUKKO 16 TUTKIMUSOTTEIDEN VIITEKEHYS (NEILIMO & NÄSI 1980; KASANEN YM. 1991)	73
TAULUKKO 17 RO-RO-ALUSTEN LIKENNÖINTISATAMAT	76
TAULUKKO 18 RO-PAX-ALUSTEN LIKENNÖINTISATAMAT	77
TAULUKKO 19 POLTTOAINEIDEN PÄÄSTÖKERTOIMET (IMO 2014)	80
TAULUKKO 20 SUOMEN JA KOHDEMAAN VÄLISEN RO-RO-LIIKENTEEN LISÄKUSTANNUKSET PÄÄSTÖOIKEUDEN HINNAN OLLESSA 33,50 €/CO <sub>2</sub> -T	84
TAULUKKO 21 SUOMEN JA KOHDEMAAN VÄLISEN RO-RO-LIIKENTEEN LISÄKUSTANNUKSET PÄÄSTÖOIKEUDEN HINNAN OLLESSA 44,18 €/CO <sub>2</sub> -T	85
TAULUKKO 22 SUOMEN JA KOHDEMAAN VÄLISEN RO-RO-LIIKENTEEN LISÄKUSTANNUKSET PÄÄSTÖOIKEUDEN HINNAN OLLESSA 88,36 €/CO <sub>2</sub> -T	85

TAULUKKO 23 SUOMEN JA KOHDEMAAN VÄLISEN RO-PAX-LIIKENTEEN RAHDIN LISÄKUSTANNUKSET PÄÄSTÖOIKEUDEN HINNAN OLLESSA 33,50 €/CO <sub>2</sub> -T	89
TAULUKKO 24 SUOMEN JA KOHDEMAAN VÄLISEN RO-PAX-LIIKENTEEN RAHDIN LISÄKUSTANNUKSET PÄÄSTÖOIKEUDEN HINNAN OLLESSA 44,18 €/CO <sub>2</sub> -T	89
TAULUKKO 25 SUOMEN JA KOHDEMAAN VÄLISEN RO-PAX-LIIKENTEEN RAHDIN LISÄKUSTANNUKSET PÄÄSTÖOIKEUDEN HINNAN OLLESSA 88,36 €/CO <sub>2</sub> -T	89
TAULUKKO 26 SUOMEN JA KOHDEMAAN VÄLISEN RO-PAX-LIIKENTEEN MATKUSTAJAN LISÄKUSTANNUS PÄÄSTÖOIKEUDEN HINNAN OLLESSA 33,50 €/CO <sub>2</sub> -T	90
TAULUKKO 27 SUOMEN JA KOHDEMAAN VÄLISEN RO-PAX-LIIKENTEEN MATKUSTAJAN LISÄKUSTANNUS PÄÄSTÖOIKEUDEN HINNAN OLLESSA 44,18 €/CO <sub>2</sub> -T	90
TAULUKKO 28 SUOMEN JA KOHDEMAAN VÄLISEN RO-PAX-LIIKENTEEN MATKUSTAJAN LISÄKUSTANNUS PÄÄSTÖOIKEUDEN HINNAN OLLESSA 88,36 €/CO <sub>2</sub> -T	90



# 1 Johdanto

## 1.1 Tutkimuksen aihe ja merkitys

Merenkulku on hyvin merkittävä tekijä maailmantalouden kannalta, sillä sen avulla kuljetetaan 80–90 prosenttia maailman kaupparahdista (Zis 2021). Kuitenkin kansainvälinen merenkulku aiheutti vain noin 2,2 prosenttia maailman ihmisperäisistä kasvihuonepäästöistä vuonna 2012. Tämän luvun odotetaan kuitenkin kasvavan 50–250 prosenttia vuoteen 2050 mennessä johtuen kansainvälisen merirahdin oletetusta kasvusta (IMO 2014). Vuonna 2018 IEA arvioi, että kuljetussektorin kokonaispäästömäärä olisi ollut noin 8000 miljoonaa hiilidioksiditonna, josta merikuljetusten osuus olisi ollut vain noin 693 miljoonaa eli noin 11,5 prosenttia. Merirahti on siis suhteellisen ympäristöystävällinen kuljetusmuoto verrattaessa muihin kuljetusmuotoihin, mutta sen tulee muiden kuljetus- ja liiketoimintamuotojen tapaan vähentää päästöjään, jotta tulevaisuuden päästövähennystavoitteet saavutetaan ja jotta ilmaston lämpeneminen saadaan pidettyä Pariisin sopimuksen mukaisesti alle 2°C (Euroopan komissio 2021e).

Merenkululle on jo nyt asetettu tiukkoja ympäristösäännöksiä ja tavoitteita. Vuonna 2018 kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO asetti merenkulkusektorin päästövähennystavoitteeksi 40 prosenttia vuoteen 2030 mennessä verrattaessa vuoteen 2008. Vuonna 2050 päästöjen pitäisi olla vähentynyt 70 prosenttia. Lisäksi merenkulun absoluuttista päästömäärää tulisi pienentää 50 prosenttia vuoteen 2050 mennessä, jonka jälkeen tavoitteena on hiilidioksidipäästöjen täydellinen poistaminen. IMO:n muodostama MARPOL 73/78 –yleissopimus liitteineen on kulmakivi merenkulun ympäristönsuojelua koskevassa lainsäädännössä. Siinä on säädetty hyvin monista eri asioista kuten sallituista rikkidioksidi- ja typpioksidipäästörajoista, kiinteistä jätteistä sekä irtolastina kuljetettavista vaarallisista nestemäisistä aineista. Sen lisäksi Suomen merenkulkua koskeva ympäristönlainsäädäntö muodostuu myös useista muista lähteistä kuten muista IMO:n säädöksistä, EU-direktiiveistä, HELCOM-suosituksista sekä kansallisesta lainsäädännöstä. Vuoden 2021 heinäkuussa Euroopan komissio julkaisi ehdotuksen vielä tiukemmista vähennystavoitteista. Sen mukaan EU:n päästöjä tulisi vähentää 55 prosenttia vuoteen 2030 mennessä verrattaessa vuoden 1990 tasoon. Tässä komission ehdotuksessa on paljon lukuisia erilaisia aloitteita, joista neljä koskettaa merenkulkua. Merkittävien näistä neljästä aloitteesta on merenkulun liittäminen Euroopan

unionin päästökauppaan. Jos ehdotus tullaan hyväksymään sellaisenaan kuin se tällä hetkellä on esitetty, joutuvat alukset maksamaan aiheuttamistaan hiilidioksidipäästöistä.

Ro-ro ja ro-pax-liikenne ovat Suomen ulkomaankaupan kannalta hyvin merkittävässä asemassa, vaikka kansainvälisesti niiden merkitys onkin huomattavasti vähäisempi. Bruttovetoisuudeltaan ne ovat Suomen liikenteen suurimmat alustyypit. Ro-pax-alusten osuus Suomen varsinaisen kauppalaivaston bruttovetoisuudesta on 34 prosenttia ja ro-ro-alusten 29 prosenttia (Tilastokeskus 2021a). Vaikka ro-ro ja ro-pax-alusten osuus kokonaispäästömäärästä on hyvin pieni, niiden kuluttama energia kuljetusyksikköä kohden on moninkertaisesti suurempi verrattaessa muihin merenkulun kuljetusmuotoihin. Tämän takia merenkulun siirtyessä päästökaupan alaisuuteen tulisi taloudellinen rasite olemaan huomattavasti suurempi näille kahdelle alustyyppille kuin muille alustyypeille. (Mellin ym. 2020.) Solakivi ym. (2020) ovat raportissaan arvioineet, että päästöoikeuden hinnan ollessa 80 yhdysvaltaindollaria/hiilidioksiditonni, tulisivat ro-ro-kuljetukset kallistumaan 34 prosenttia, mikä on varsin merkittävä kasvu.

Lisäksi ro-ro ja ro-pax-liikenteen on sen ominaisuuksien takia hyvin vaikea saavuttaa päästövähennyksiä kustannustehokkaasti. Olemassa oleville aluksille mahdollisia vaihtoehtoja ovat lähinnä erilaiset operatiiviset keinot, kuten nopeuden hidastaminen ja matkasuunnittelun kehittäminen sekä vaihtoehtoiset polttoaineet. (Lindstad ym. 2015; Bouman ym. 2017) Tiukassa aikataulussa operoivalle ro-ro-liikenteelle operatiiviset keinot tulisivat kuitenkin aiheuttamaan aikataulusta myöhästymisiä sekä aikataulumuutoksia. Vaihtoehtoisten polttoaineiden osalta ainoastaan biopolttoaineita voidaan pitää mahdollisina korvikkeina olemassa oleville aluksille (Eide ym. 2013; Balcome ym. 2019). Lisäksi Suomen kautta liikennöivien alusten tulee olla jääluokitukseltaan joko IAS tai IA-luokkaa, joten niiden konetehtojen ja sitä kautta polttoaineen kulutus voi talviolosuhteissa olla jopa 30 prosenttia korkeampi kuin muiden jääluokkien aluksilla. Koska merenkulun liittäminen Euroopan unionin päästökauppaan on suoraan aluksen polttoaineen kulutukseen kohdistuva kustannus, Suomen kautta liikennöivät alukset kärsivät vielä muita enemmän mahdollisen päästökaupan mukana tulevasta lisäkustannuksista. (Solakivi ym. 2017.)

## **1.2 Tutkimusongelma, tutkimuskysymys ja rakenne**

Tällä hetkellä tutkimuskirjallisuudessa on jo pohdittu laajasti päästökauppaa ja sen vaikutuksia merenkulkuun (Faber ym. 2010; Kågeson 2011; Miola ym. 2011; Heine ym.

2017; Dominioni ym. 2018; Gu ym. 2019; Mellin ym. 2020; Solakivi ym. 2020), mutta tutkimus on suuntautunut enemmänkin pohdintaan, miten merenkulun päästökauppa tulisi suunnitella ja miten erilaiset päästövähennysskenaariot tulisivat vaikuttamaan merenkulkuun. Erotten näistä tutkimuksista, tämä tutkielma pohjautuu konkreettiseen Euroopan komission ehdotukseen, miten merenkulku tulitaisiin sitomaan Euroopan unionin päästökauppaan. Ehdotuksen perusteella voidaan nyt tarkemmin määrittää merenkululle mahdollisesti syntyvät lisäkustannukset.

Tutkielmassa on tarkoitus määrittää syntyvät lisäkustannukset vakituisesti Suomen kautta liikennöiville olemassa oleville ro-ro ja ro-pax-aluksille. Näiden alustyyppien tarkasteluun on päädytty, koska ne ovat hyvin merkittävässä asemassa Suomen ulkomaankaupan kannalta eikä niiden ole mahdollista kustannustehokkaasti omaksua mahdollisia päästövähennyskeinoja. Tutkielman tutkimusongelma syntyy siis ro-ro-liikenteen hankaluudesta vähentää päästöjään, kun merenkulku asetetaan päästökaupan alaiseksi. Koska päästövähennyskeinojen implementointi ei tälle liikennemuodolle ole kovin varteenotettava vaihtoehto, alukset ovat tulevaisuudessa pakotettuja maksamaan lisäkustannuksia aiheuttamistaan päästöistään. Yllä kuvailtua tutkimusongelmaa on tarkoitus lähestyä seuraavan tutkimuskysymyksen avulla:

1. Kuinka suuret lisäkustannukset merenkulun asettaminen Euroopan unionin päästökaupan alaiseksi aiheuttaa vakituisesti Suomen kautta liikennöiville olemassa oleville ro-ro ja ro-pax-aluksille?

Toisessa luvussa esitellään ensin lyhyesti, millaisilla markkinoilla merenkulun alalla toimitaan, jonka jälkeen perehdytään tarkemmin alusten kustannusrakenteeseen etenkin ro-ro ja ro-pax-alusten kannalta. Lopuksi esitellään vielä maailman kauppalaivaston ja Suomen kauppalaivaston tunnuslukuja ja miten ne vertautuvat toisiinsa. Kolmannessa luvussa perehdytään Euroopan unionin päästökauppaan. Painopiste tulee olemaan sen kehityksessä, Euroopan komission aloitepaketissa sekä merenkulun soveltuvuudessa päästökauppaan. Neljännessä luvussa tutustutaan merenkulun päästöihin, polttoaineisiin sekä olemassa oleviin päästövähennyskeinoihin ja etenkin niiden soveltuvuuteen olemassa oleville aluksille. Näiden lukujen jälkeen luvussa viisi käydään läpi tutkielman metodologia, luvussa kuusi esitellään tulokset ja luvussa seitsemän luodaan johtopäätökset.

## 2 Merenkulun markkinat ja kustannustekijät

### 2.1 Merirahti

Merirahtia ryhdyttiin hyödyntämään tavaroiden liikkumisessa jo yli 5000 vuotta sitten ja sitä pidetään vielä nykyäänkin merkittävämpänä ja ensisijaisena kuljetusmuotona maailman kaupassa, sen kehittämisessä ja ylläpitämisessä. Viimeisen vuosisadan aikana koettu maailman kaupan nopea kasvu, teknologioiden kehittyminen sekä globalisaatio ovat kuitenkin merkittävästi muuttaneet merirahdin luonnetta noista ajoista. (Stopford 2009, 3; Song & Panayides 2015, 3.) Tässä luvussa ensimmäisenä esitellään merirahdin markkinoiden toiminta, jonka jälkeen tutustutaan tarkemmin lyhyen matkan merenkulkuun etenkin ro-ro ja ro-pax-liikenteeseen. Kolmanneksi esitellään ja vertaillaan maailman ja Suomen aluskaluston rakennetta.

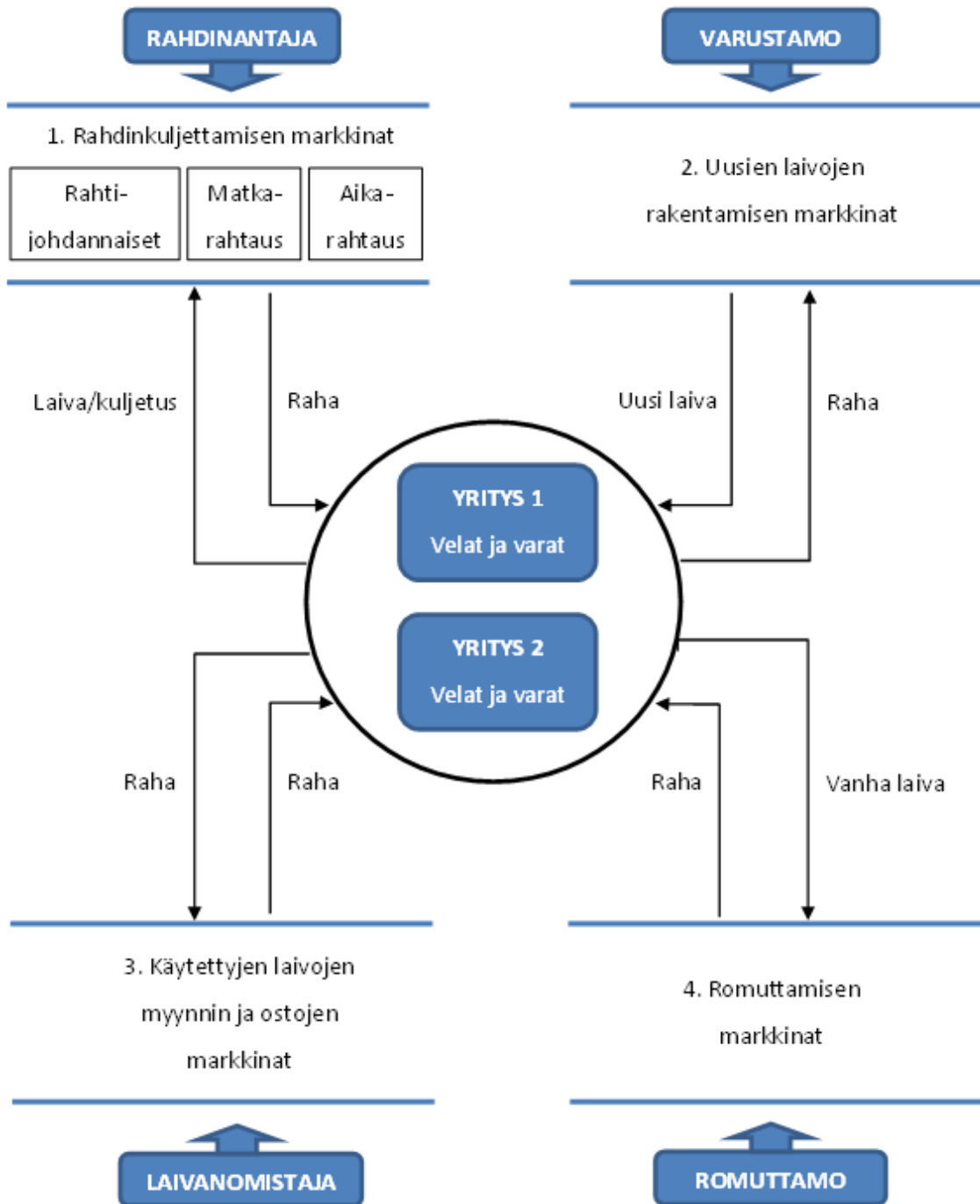
#### 2.1.1 Merenkulun neljä markkinaa

Stopfordin (2009, 176) mukaan merenkulun markkinat voidaan jakaa neljään markkinasegmenttiin:

1. Rahdinkuljettamisen markkinoihin
2. Uusien laivojen rakentamisen markkinoihin
3. Käytettyjen laivojen myynnin ja ostamisen markkinoihin
4. Romuttamisen markkinoihin

Nämä markkinat ovat tiiviisti sidoksissa toisiinsa, mutta markkinasegmentin sisällä liiketoiminnan kohteena ovat eri hyödykkeet. Koska laivanomistajat toimivat samanaikaisesti kaikilla neljällä markkinalla, heijastuvat muutokset ja toiminta yhdellä markkinalla suoraan muihin markkinoihin. Esimerkiksi rahtimaksujen noustessa tai laskiessa, rahdinkuljetusten markkinoilla muuttunut tilanne vaikuttaa käytettyjen alusten myynnin ja ostamisen markkinoille ja sieltä edelleen uusien laivojen rakentamisen markkinoille. Eri markkinoilla kauppaa käyvien yritysten taseet toimivat linkkinä näiden neljän markkinan välillä. Keskipisteenä on koko alan tase, joka koostuu kaikkien yksityisten yritysten taseista. Rahaa virtaa sisään ja ulos taseesta, kun varustamot käyvät kauppaa näillä markkinoilla, jotka ovat kaikki vahvasti sidoksissa taloudensuhdanteisiin. (Stopford 2009, 178.)

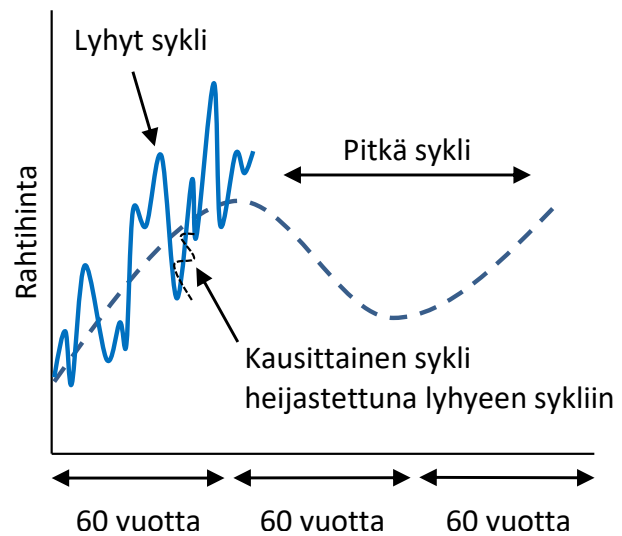
Rahdinkuljetusten markkinoilta saatava tuotto on varustamoiden ensisijainen rahan lähde. Tämä markkina voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen: matkarahtausmarkkinoihin, joissa käydään kauppaa yksittäisestä kuljetussuoritteesta; aikarahtausmarkkinoihin, joissa laiva varataan tietylle aikavälille; ja rahtijohdannaisten markkinoihin, jossa käydään kauppaa nimensä mukaisesti rahtijohdannaista. (Stopford 2009, 178.) Rahtijohdannaisten ovat rahoitusvälineitä, joiden arvo johdetaan rahtimaksujen tulevista tasoista, kuten kuivabulkin tai öljysäiliöalusten kuljetusmaksuista (Investopedia 2021). Näiltä markkinoilta saadut tuotot ovat merirahdin sijoittajien ensisijainen motivaattori. Toinen keino merenkulun rahan määrän kasvattamiseksi saadaan romuttamisen markkinoilta, kun vanhoja tai vanhentuneita aluksia myydään romutettaviksi. Käytettyjen laivojen myynti- ja ostomarkkinoilla on pienempi rooli rahavirtauksien osalta. Ostaja on usein jo valmiiksi laivanomistaja, joten raha vaihtaa ainoastaan omistajaa kokonaismarkkinoiden sisällä, mutta myyntitapahtuma ei vaikuta alalla olevan rahan kokonaismäärään. Käytettyjen laivojen osto- ja myyntimarkkinat ovat siis loppukädessä ns. nollasummapeli. Uusien laivojen rakentamisen markkinoilla tilanne on päinvastainen kuin rahdinkuljetusten ja romuttamisen markkinoilla eli raha virtaa ulos merikulun alalta. (Stopford 2009, 178.) Kuviossa 1 on kuvattu miten keskellä olevien yritysten taseiden kautta kulkeva rahavirta yhdistää mainitut neljä merenkulun markkinasegmenttiä.



Kuvio 1 Merenkulun neljä markkinasegmenttiä, niiden väliset yhteydet ja rahavirrat (Stopford 2009, 179)

## 2.1.2 Merenkulun markkinoiden sykli

Stopfordin (2009, 94–95) mukaan merenkulun markkinoilla on olemassa sykli, jota on havainnollistettu kuviossa 2. Jotta voidaan paremmin ymmärtää tuota kokonaissykliä, tulee se jakaa kolmeen osatekijään: pitkän aikavälin sykliin, lyhyen aikavälin sykliin sekä kausittaiseen sykliin. Pitkän aikavälin sykli on usein monien vuosikymmenten mittainen ja



Kuvio 2 Pitkä, lyhyt ja kausittainen sykli (Stopford 2009, 95)

siinä tärkeintä on sen muutoksen suunta. Liiketoiminnan kannalta on hyvä, että taustalla oleva muutos on kokonaisuudessaan menossa ylöspäin, vaikka lyhyellä aikavälillä mentäisiinkin alaspäin. Lyhyen aikavälin sykli on nimensä mukaisesti pitkän aikavälin sykliä lyhyempi, usein 5–10 vuotta kestävä kiertö. Lyhyen aikavälin sykli on vahvasti sitoutunut suhdannevaihteluihin, ja ne muokkaavat paljolti myös merenkulun markkinasykliä. Kolmas sykli eli kausittainen sykli liittyy säännölliseen vaihteluun vuoden sisällä.

Merenkulun markkinoihin vaikuttaa Stopfordin (2009, 136) mukaan kymmenen muuttujaa, joista viisi on kysynnän puolella ja viisi tarjonnan puolella. Kysynnän puolella olevat muuttujat ovat maailmantalous, merenkululle keskeisten hyödykkeiden kauppa, keskimääräisen kuljetuksen pituus, satunnaiset shokit ja kuljetuskustannukset. Tarjonnan puolella muuttujia ovat puolestaan maailman laivasto, laivaston tuottavuus, uusien laivojen rakentaminen, romuttaminen ja tappiot sekä rahtituotot. Stopford (2009, 137) on tiivistänyt markkinoiden mallin kuviossa 3. Malli on jaettu kolmeen pääosaan kysyntään (A), tarjontaan (B) ja rahtimarkkinoihin (C). Kysynnän puolella maailmantalous määrittää merirahdilla kuljetettavan hyödykemäärän liiketoimintasykleihin ja alueellisiin kasvutrendeihin perustuen. Muutokset tietyssä hyödykekaupassa ja keskimääräisen kuljetuksen pituudessa voivat vaikuttaa kasvutrendeihin. Merirahdin lopullinen kysyntä mitataan tonnakilometreinä eli lastin vetoisuus kerrottuna keskimääräisellä kuljetuksella.

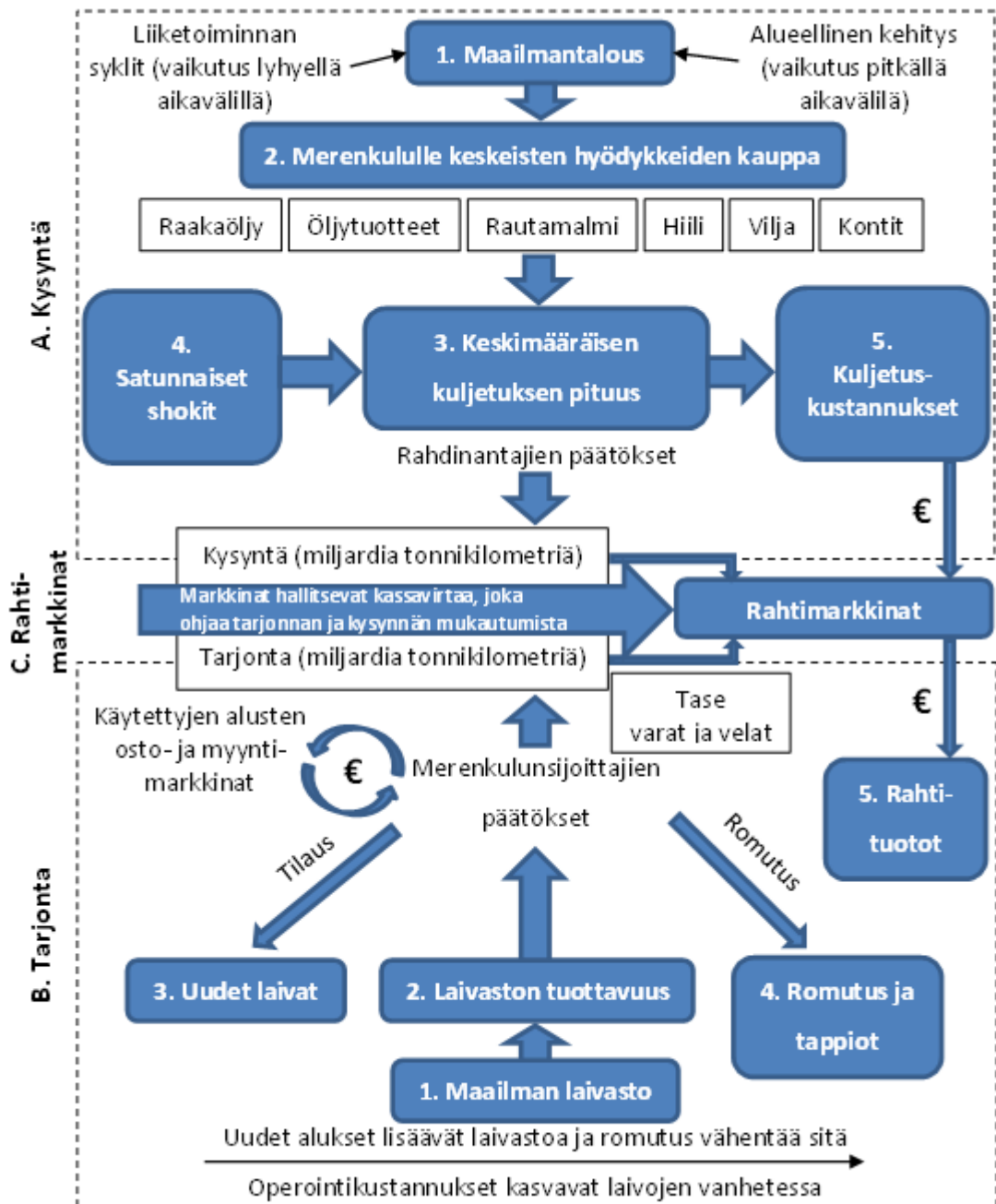
Se on kysynnän mittarina parempi kuin rahtialusten kantavuuden käyttäminen, koska siinä vältetään arvioimasta alusten tehokkuutta eli täyttöastetta. Kysynnän puolella keskeisessä asemassa ovat rahdinantajat.

Tarjonnan puolella maailman kauppalaivasto tarjoaa kiinteän määrän kuljetuskapasiteettia. Kysynnän ollessa alhaista, vain osa laivastosta on käytössä ja joitain aluksia saatetaan pitää paikallaan tai käyttää varastotilana. Laivastoa eli kuljetuskapasiteettia pystytään kasvattamaan pelkästään rakentamalla uusia laivoja tai vähentämällä romuttamista. Laivaston tarjoama kuljetusmäärä riippuu myös logistisesta tehokkuudesta ja vielä tarkemmin nopeudesta ja odotusajasta. Säiliöalus, joka kulkee hitaasti eikä kuljeta rahtia paluumatkalla, kuljettaa huomattavasti vähemmän rahtia vuodessa kuin bulkkialukset, jotka kulkevat nopeampaa ja joilla on rahtia joko koko paluumatkaksi tai sen osaksi. Tähän viitataan termillä laivaston tuottavuus ja se ilmaistaan vuosittaisina rahtitonnikilometreinä per kantavuus. Pankkien ja päätöstentekijöiden politiikka vaikuttaa siihen, miten markkinoiden tarjontapuoli kehittyy. Tällä puolella tärkeässä asemassa ovat merenkulunsijoittajat, joihin kuuluvat sekä riippumattomat laivanomistajat että varustamot, mutta myös muita tärkeitä toimijoita kuten säiliöaluksia omistavat öljykauppiat tai suuret öljy-yhtiöt, joilla on oma laivastonsa. (Stopford 2009, 138.)

Kysynnän ja tarjonnan välinen epätasapaino välittyy mallin kolmanteen osaan eli rahtimarkkinoihin, jossa rahtihinnat muuttuvat jatkuvasti kysynnän ja tarjonnan tasapainon muutosten vuoksi. Tämä on niin sanottu vaihdelaatikko, joka kontrolloi rahdinantajien laivanomistajille maksamia rahoja rahtin kuljettamisesta ja juuri tämä virta ohjaa merenkulun markkinoita. Kun laivoista on pulaa, rahtihinnat nousevat ja laivanomistajien tileille kulkeutunut raha vaikuttaa sekä rahdinantajien että merenkulunsijoittajien käyttäytymiseen. Tulojen noustessa sijoittajat ryntäävät ostamaan käytettyjä laivoja, joka johtaa niiden hintojen nousun ja lopulta uusien alusten tilaamiseen. Laivojen rakennus kestää usein puolestatoista vuodesta kolmeen vuoteen, joten tarjonnan kokonaiskapasiteetti nousee huomattavalla viiveellä. Rahtihintojen noustessa rahdinantajat pyrkivät minimoimaan kuljetuskustannuksena viivästyttämällä kuljetusta, hankkimalla tarvittavat materiaalit lähempää tai käyttämällä suurempia aluksia. Kun kapasiteettia on tarjolla liikaa, on tilanne päinvastainen. Rahtihinnat putoavat ja laivanomistajien pitää käyttää varantojaan kiinteiden kustannusten maksuun. Varantojen vähetessä joidenkin pitää myydä laivansa. Taantuman jatkuessa käytettyjen



laivojen hinnat putoavat, jolloin romuttamot tarjoavat parhaimman hinnan laivoista ja tarjonnan kokonaiskapasiteetti pienenee vähitellen. Muutokset hinnassa voivat myös johtaa muutoksiin laivaston suorituskyvyssä, joka esimerkiksi muuttaa nopeuttaan tai seisottaa laivoja paikoillaan. (Stopford 2009, 138–139.)



Kuvio 3 Merenkulun markkinoiden kysynnän ja tarjonnan malli (Stopford 2009, 137)

Edellä kuvailtu ja kuviossa 3 havainnollistettu malli antaa merenkulun syklille ominaisen epäsäännöllisten huippujen ja kuoppien luonteen. Kysyntä on epävakaa, arvaamatonta ja nopeasti muuttuvaa, kun taas tarjonta on kömpelöä ja hitaasti muuttuva ja

markkinoiden ollessa tasapainossa, rahtimekanismi korostaa pieniäkin epätasapainoja. Tämä johtaa siihen, että tarjonta pyrkii jatkuvasti vastaamaan kysyntään, mutta nämä kaksi tuskin koskaan ovat täysin tasapainossa.

### 2.1.3 Lyhyen matkan merenkulku (ro-ro ja ro-pax)

Lyhyen matkan merenkulun eli *short sea shippingin* (tästä eteenpäin SSS) määrittely on hankalaa, ja sen selittämiseksi voidaan kirjallisuudesta löytää monenlaisia lähestymistapoja (Paixão & Marlow 2002; Medda & Trujillo 2010; Zis ym. 2017). Bjornland (1993) kuvailee SSS:ää hyödykkeiden ja ihmisten kuljetuksena merellä rannikkoa pitkin ylittämättä valtamerta, kun Lombardon (2004) mukaan SSS:än pääominaisuus on sen asema yhtenä intermodaalisen toimitusketjun osana, mikä on yhteydessä maantie- ja rautatieliikenteeseen. Lombardon (2004) mukaan SSS toimii siis vaihtoehtona maantie- ja rautatiekuljetuksille. SSS:ään voidaan lukea kuuluvaksi linjaliikenteen ns. ”feederpalvelu”, irtolastit ja ro-ro-palvelut. Tässä tutkimuksessa tullaan keskittymään ro-ro-alustyyppien liikenteeseen, joten muut SSS:ään kuuluvat alustyytit ja kuljetusmuodot jätetään tässä kohtaa käsittelyn ulkopuolelle.

Ro-ro on lyhenne sanoista roll-on/roll-off eli se on alus, johon kuormaus tapahtuu rullaten, eikä sen lastaamiseen tarvita siis erillisiä nostureita. Ro-ro-alukset on suunniteltu kuljettamaan autoja, rekkoja, puoliperävaunuja, peräkärryjä, busseja ja junavaunuja. On olemassa useita erityyppisiä ro-ro-aluksia, kuten lauttoja, risteilyaluksia, rahtilaivoja ja proomuja. Ro-pax on yksi ro-ro-alusten variaatioista ja se on lyhenne sanoista roll-on/roll-off ja passenger eli edellä mainittujen lisäksi sillä kulkee myös matkustajia. Muita variaatioita ovat con-ro-alukset, joilla kuljetetaan ro-ro-rahdin lisäksi kontteja; LMSR-alukset, joita käytetään pääosin sota-aluksina sekä ro-lo-alukset, joissa on autoramppien lisäksi mahdollisuus nosturin käyttöön. (Marine insight 2021a.) Nämä kolme jälkimmäistä jätetään kuitenkin tässä tutkimuksessa käsittelemättä.

Ro-ro-alukset, joita käytetään yksinomaan autojen kuljettamiseen valtamerten yli, tunnetaan nimellä Pure Car Carrier (PCC) ja alus, joka kuljettaa autojen lisäksi myös rekkoja on nimeltään Pure Car & Truck Carrier (PCTC). Muista rahtityypeistä poiketen ro-ro-alusten rahtimäärä mitataan usein yksikkönä, jota kutsutaan kaistametriksi (lanes in meters LIM). Se lasketaan kertomalla lastin pituus metreinä kansien lukumäärällä ja sen leveydellä kaistojen mukaan. PCC-aluksilla kapasiteetti voidaan mitata myös yksikköinä, joista toinen on nimeltään RT (tai RT43) ja toinen CEU (car-equivalent unit). RT perustuu

vuoden 1966 Toyota Coronaan, joka oli ensimmäinen massatuotettu auto, jota kuljetettiin siihen erikoistuneissa aluksissa. 1 RT on noin 4 metriä kaistatilaa, joka tarvitaan 1,5 metriä leveän Toyota Coronan kuljettamiseen. Kaistan leveys vaihtelee aluksittain ja alalla on useita standardeja. Maailman suurin PCTC-alus on tällä hetkellä MV Tønsberg, jonka omistaa norjalainen merenkulkukonserni Wilh. Wilhelmsen Holding ASA. Sen bruttovetoisuus on 75 251 ja kantavuus 41 820. Suurin ro-pax-alus on MS Color Magic, jonka bruttovetoisuus on 75 100, mutta kantavuus vain 4 750. Siihen mahtuu 2 600 matkustajaa, 550 autoa ja 1 270 kaistametriä rahtia. Suurin autokantokykyinen ro-pax-alus on Ulysses, jonka bruttovetoisuus on 50 938. Siihen mahtuu 2 000 matkustajaa, 1 342 autoa ja 4 101 kaistametriä rahtia. (Marine insight 2021a.)

Ro-ro-alusten ja liikenteen suurin etu muihin rahtimuotoihin nähden on sen nopeus. Koska autot ja rekat voivat suoraan ajaa laivaan lastaus- ja purkuoperaatioissa ja ulos määräsatamassa eikä se näin ollen tarvitse toimiakseen nosturikalustoa, säästyy huomattavan paljon aikaa lastaus- ja purkuoperaatioissa. Toinen merkittävä etu liittyy myös lastauksen ja purun yksikertaisuuteen. Koska lastaus- ja purkutoimintoja ei käytännössä ole, on olemassa pienempi riski onnettomuuksille ja rahtivahingoille. (TransGlory 2021.) Lisäksi ro-ro-alukset ovat hyvin sopeutumiskykyisiä (Deyuan marine 2021). Ro-ro-liikenteen suurimpana heikkoutena on alusten vakausongelmat, jotka johtuvat yläkerroksista olevasta lastista sekä ja etenkin ro-pax-aluksilla vielä korkeammalla olevista majoitustiloista. Pienikin rahdinsiirtymä voi aiheuttaa laivan vakaudelle suuren uhan. Samoin tulvimiseen johtava rungon vika voi johtaa aluksen kaatumiseen hetkessä sekä tuulen ja huonon sään vaikutukset korkeisiin majoitustiloihin voivat häiritä aluksen vakautta. Lisäksi lastin kiinnitys on erittäin tärkeä toimenpide, sillä irtonainen lasti voi aiheuttaa ketjureaktion, joka johtaa merkittävään rahdin siirtymiseen. Myös lastatut rekat kuljettavat itsessään rahtia ja myös niiden sisällä olevan lastin siirtymä voi aiheuttaa ongelmia. (Marine insight 2021b.)

Itämeren merirahdista vuonna 2016 noin 14 prosenttia kulki ro-ro-aluksilla. (Alhosalo & Helminen 2019). Ro-ro rahdilla on suuri merkitys Itämeren alueella, esimerkiksi vuonna 2019 Ruotsin kokonaismerirahdista 27,6 prosenttia kulki ro-ro aluksilla ja Tanskan puolestaan 28,7 prosenttia (Eurostat 2020). Ro-ro on myös Suomen ulkomaankaupalle tärkeä merikuljetusmuoto (Panagakos ym. 2019a) ja se yhdessä ro-pax-kuljetusmuodon kanssa, ovat bruttovetoisuudeltaan myös Suomen liikenteen suurin alusluokka (Tilastokeskus 2021a).

SSS-liikenteellä on merkittäviä erityispiirteitä verrattaessa muihin merikuljetusmuotoihin. Vaikka SSS (etenkin ro-ro ja ro-pax-liikenne) on Suomen kannalta hyvin merkittävässä asemassa, on se saanut akateemisessa tutkimuksessa vain vähän huomiota verrattaessa kontti- tai bulkkikuljetuksiin. Zisin ym. (2019) mukaan tähän voi olla syynä sen suhteellisen pieni osuus maailman kokonaislaivastosta. Useimmat tutkimukset ovat keskittyneet ro-ro-liikenteen ympäristöhyötyihin verrattaessa maantiekuljetusvaihtoehtoihin tai optimoinnin ongelmiin, kuten operointikustannusten minimointiin, polttoaineen kulutukseen, viiveeseen tai käyttökapasiteetin maksimointiin. Optimaalisen matkustusnopeuden tutkiminen ja päättäminen ovat hyvin kriittisessä asemassa merirahdissa, mutta SSS-liikenteellä tilanne on toisenlainen. Anderson ym. (2015) mainitsevat, että suurin osa laivaston kehityksen tutkimuksesta perustuu konttialuksiin ja konttiliikenteeseen. He korostavat, että tilanne on haastavampi ro-ro-kuljetusten osalta alan ja sen palveluiden kasvaneen joustavuuden ja huomattavasti vähemmän samankaltaisen laivaston takia. Toisin kuin muiden kuljetusmuotojen aluksilla, ro-ro ja ro-pax-alusten matkustusnopeudet eivät ole historian saatossa muuttuneet merkittävästi ja niiden nopeudet ovat pysytelleet keskimäärin 15 ja 20 solmun välillä. Toinen merkittävä asia on polttoaineen hinnan vaikutus matkustusnopeuteen. Muissa kuljetusmuodoissa korkea polttoaineen hinta voi johtaa matkustusnopeuden laskemiseen, mutta SSS-liikenteessä tilanne on huomattavasti joustamattomampi. Tämä johtuu SSS-liikenteen hyvin tiukasta aikataulusidonnaisuudesta eli aikataulussa pysyäkseen alukset eivät pysty laskemaan matkustusnopeuttaan.

Lisäksi alalla vallitsee käsitys siitä, että SSS ja etenkin ro-ro-liikenne olisivat maantiekuljetusvaihtoehtoja ympäristöystävällisempi kuljetusmuoto. Mulligan ja Lombardo (2006) väittävät, että oletetusti ympäristöystävällisemmän SSS:n edistämiseksi, on tärkeää, että siinä toimiville toimijoille myönnettäisiin julkisia tukia. Hjelle ja Fridell (2012) pyrkivät tutkimuksessaan määrittämään, milloin SSS olisi ympäristöystävällisempi vaihtoehto verrattaessa maantiekuljetusvaihtoehtoihin. Heidän mukaansa hiilipäästöjen osalta ro-ro-alus olisi kuitenkin vain marginaalisesti parempi vaihtoehto kuin kuorma-auton ja perävaunun yhdistelmä, mutta huomattavasti huonompi vaihtoehto, kun asiaa mitataan typpi- ja rikkioksidipäästöjen avulla. Huomion arvoista kuitenkin on, että tutkimus tehtiin ennen kuin SECA-alueiden tiukempi rikkioksidipitoisuuden yläraja astui voimaan. Zisin ym. (2020) mukaan ro-ro-liikenne on kuitenkin hyvin merkittävässä asemassa, koska se kilpailee maakuljetusvaihtoehtojen

kanssa ja voi auttaa vapauttamaan teitä tavaraliikenteestä. Heidän mukaansa ro-ro-liikenteen edistäminen on EU:n ensisijainen keino siirtää rahtia maantieliikenteestä merelle ilmanlaadun parantamiseksi sekä rannikkoalueiden talouskasvun stimuloimiseksi.

## **2.2 Merirahdin kustannukset ja tuotot**

### **2.2.1 Yleisellä tasolla**

Jokainen yritys kohtaa luvussa 2.1.2 kuvatun merenkulun markkinoille ominaisen syklin ja pyrkii selviytymään siitä. Stopfordin (2008, 217) mukaan parempien ja vauraiden kausien aikana yrityksen on kyettävä sijoittamaan viisaasti tulevaan kasvuun ja oman pääoman tuottoasteeseen. Tulevaisuuden ongelmien alku kuitenkin luodaan usein syklin noususuhdanteen aikana, jolloin yrityksillä menee hyvin. Taantumien aikana haasteena on pitää liiketoiminta pystyssä kassavirtaa vähentämällä ja mahdollisuuksia hyödyntämällä, kun markkinat pyrkivät poistamaan ylimääräisen kapasiteetin markkinoilta. Hän kuvailee merirahdin markkinoita näiden ajanjaksojen aikana ”maratonkilpailuna, joka päättyy vasta, kun tietty määrä osallistujia lopettaa”. Kilpailulla ei siis ole kiinteää pituutta, vaan se kestää niin kauan, kunnes riittävä määrä kilpailijoita putoaa pois ja ylimääräinen kapasiteetti on saatu poistettua markkinoilta.

Taloudellinen suorituskyky on viime kädessä se, joka erottaa voittajat häviäjistä. Laivanomistajien on työskenneltävä kolmen avainmuuttujan parissa, jotka ovat:

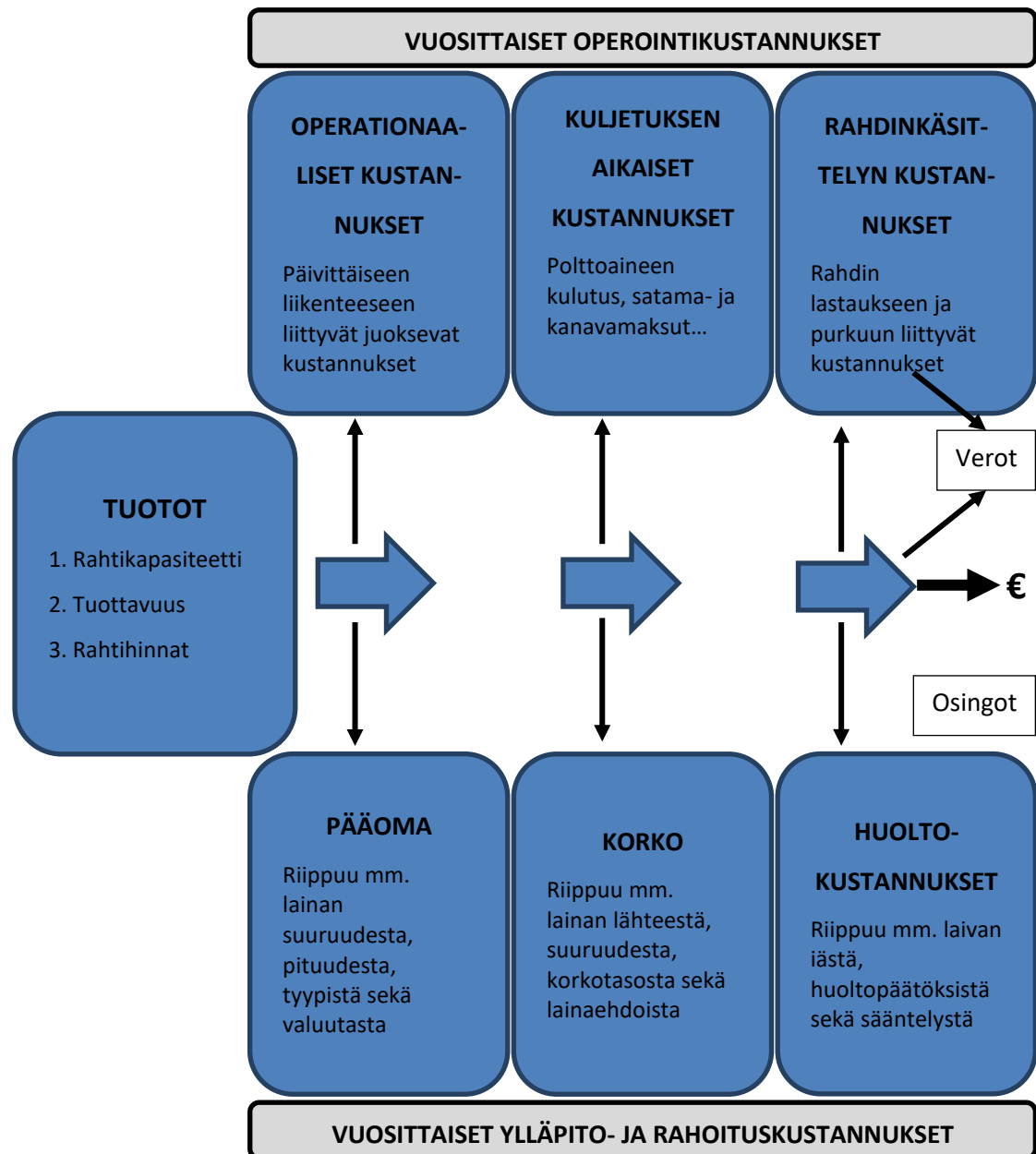
- Rahdinkuljetuksista saadut tuotot
- Laivan operoinnista aiheutuvat kustannukset
- Liiketoiminnan rahoittaminen

Rahdinkuljetuksesta saadut tuotot eivät usein riipu laivanomistajasta, mutta se voi vaikuttaa usealla tavalla niiden kerryttämiseen esimerkiksi rahtikapasiteetin kasvattamisen avulla saavutettavilla mittakaavaeduilla. Lisäksi tuottavuutta voidaan kasvattaa esimerkiksi operationaalisella suunnittelulla, vähentämällä ”backhaulien” eli tyhjiä palaamismatkojen määrää, minimoimalla kuljetuksetonta aikaa, parantamalla kantavuuden hyödyntämistä ja lyhentämällä rahdinkäsittelyyn kuluvaa aikaa. Tuotoista vähennetään laivaston vuosittaiset operointikustannukset sekä laivaston vuosittaiset

ylläpito- ja rahoituskustannukset. Näiden jälkeen tuotoista vähennetään vielä mahdolliset verot ja jaettavat osingot. (Stopford 2009, 217–219.) Tätä on havainnollistettu kuviossa 4.

Vuosittaiset operointikustannukset jaetaan kolmeen osa-alueeseen: operationaalisiin kustannuksiin, kuljetuksen aikaisiin kustannuksiin ja rahdinkäsittelyn kustannuksiin. Operationaaliset kustannukset ovat aluksen päivittäiseen liikenteeseen liittyviä juoksevia kuluja (lukuun ottamatta polttoainetta) sekä korvausta päivittäisistä korjauksista ja huollosta. Miehistykustannukset kattavat noin puolet operationaalisista kustannuksista ja lisäksi tähän kuuluvat kulutustarvikkeet, päivittäiset korjaukset ja huollot, vakuutukset sekä yleiskustannukset kuten lippuvaltioille maksettava rekisteröintimaksu. Kuljetuksen aikaisia kustannuksia hallitsevat polttoainekustannukset, jonka lisäksi niitä ovat satamiin liittyvät maksut, kanavamaksut sekä hinaajat ja luotsaus. Rahdinkäsittelyn kustannuksia ovat rahdin lastaukseen ja purkamiseen liittyvät kustannukset sekä rahtivaatimukset. (Stopford 2009, 226–236.)

Ylläpito- ja rahoituskustannukset jaetaan huoltokustannuksiin sekä pääoma- ja korkokustannuksiin. Huoltokustannukset käsittävät tässä kohtaa laivojen määräaikaishuollot, johon kuuluu mahdollinen kuivatelakointi ja erityystutkimusten kustannukset. Huoltokustannusten suuruuteen liittyy vahvasti laivan ikä ja kunto. Rahoituskustannukset eli pääoma- ja korkokustannukset eivät liity niinkään aluksen päivittäiseen toimintaan vaan niitä ovat alkuperäiseen ostoon liittyvä velvollisuus maksaa telakalle, määräajoin maksettavat maksut pankeille tai osakesijoittajille, jotka antoivat pääoman laivan ostamiseen ja laivan myynnistä saatava raha. Näihin liittyy tiiviisti laivanomistajan tekemät rahoitukselliset päätökset, joten ne voivat olla hyvin monimuotoiset. (Stopford 2009, 231; 237.)



Kuvio 4 Merenkulun kassavirtamalli (Stopford 2009, 220)

### 2.2.2 Ro-ro ja ro-pax-alusten kustannusrakenne

Delhaye ym. (2010) tutkivat SSS:n kilpailukykyä verrattaessa maantierahtiin ja rautatierahtiin. Koska alusten variaatio on hyvin laaja, he muodostivat kolme alusluokkaa, joiden on tarkoitus edustaa koko ro-ro ja ro-pax-kalustoa. Päätökset alusten ominaisuuksista tehtiin perustuen siihen, että niiden tuli heijastaa suurinta osaa rahtia kuljettavista aluksista. Alusluokat ja niille valitut ominaisuudet löytyvät taulukosta 1. Näihin päätöksiin perustuen, he laskivat ro-ro ja ro-pax-aluksille päivittäiset yksikkökustannukset, jotka ovat nähtävissä taulukossa 2.

Taulukko 1 Alustyypeille valitut ominaisuudet (Delhaye ym. 2010)

Ro-ro	Keskipitkän/pitkän matkan alus, joka liikennöi ro-ro-satamien välillä. Kantavuus noin 200 perävaunua ja 12 kuljettajaa.
Ro-pax (pieni)	Lyhyen matkan alus, joka palvelee matkustajakeskeisiä reittejä. Kantavuus noin 30 perävaunua ja 1 000 matkustajaa.
Ro-pax (iso)	Lyhyen/keskipitkän matkan alus, joka liikennöi ro-ro-satamien välisillä matkustajakeskeisillä reiteillä. Kantavuus noin 300 perävaunua ja 1 000 matkustajaa.

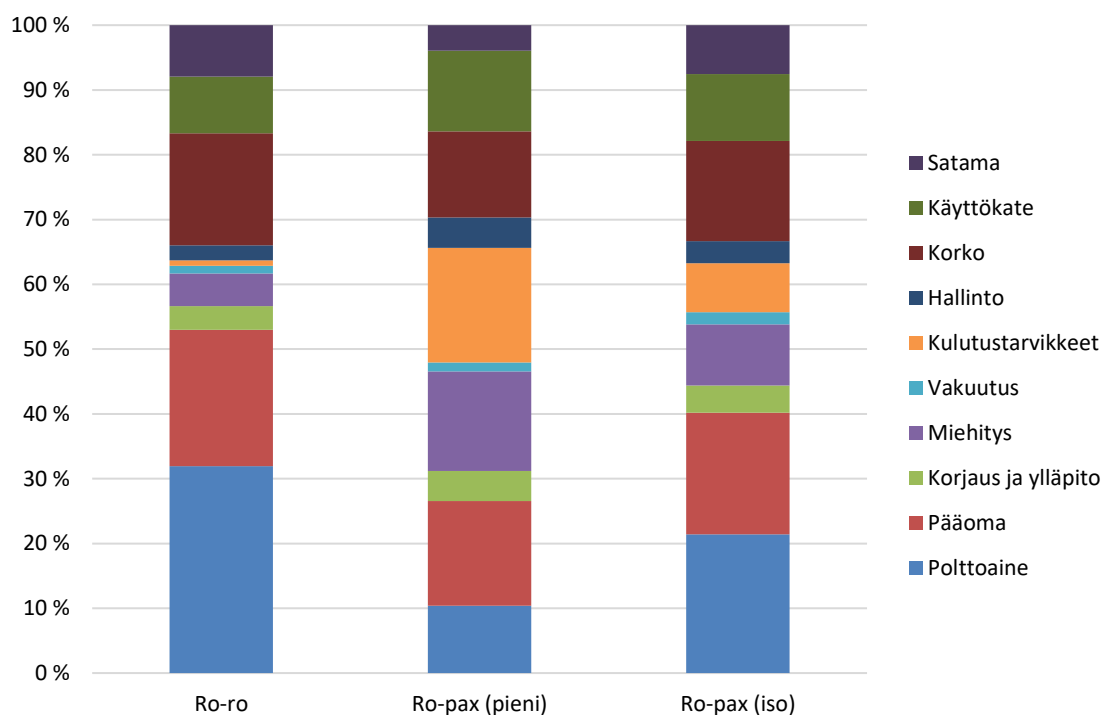
Taulukko 2 Kustannusrakenne alustyypeittäin (€/päivä) (Delhaye ym. 2010)

Alustyyppi	Ro-ro	Ro-pax (pieni)	Ro-pax (suuri)
<b>Koko</b>	200 perävaunua	40 perävaunua	290 perävaunua
<b>DWT</b>	10 000	3 000	12 000
<b>Nopeus</b>	17,5	8,0	22,0
<b>Lastinpaino (max) (tonnia)</b>	2 800	1 000	7 250
<b>Polttoaine</b>	12 079 €	2 231 €	16 987 €
<b>Polttoaineen kulutus (tonnia/pvä)</b>	37,9	7,0	53,3
<b>Pääoma</b>	7 960 €	3 476 €	14 945 €
<b>Korjaus ja ylläpito</b>	1 382 €	1 000 €	3 300 €
<b>Miehitys</b>	1 901 €	3 300 €	7 500 €
<b>Vakuutus</b>	443 €	300 €	1 500 €
<b>Kulutustarvikkeet</b>	328 €	3 800 €	6 000 €
<b>Hallinto</b>	870 €	1 000 €	2 700 €
<b>Korko</b>	6 543 €	2 857 €	12 286 €
<b>Käyttökate</b>	3 302 €	2 675 €	8 199 €
<b>Satama</b>	3 000 €	850 €	6 000 €
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>37 807 €</b>	<b>21 488 €</b>	<b>79 417 €</b>

Kuvioon 5 on merkitty kustannuserien suhteellinen osuus päivittäisistä kokonaiskustannuksista. Sen perusteella voidaan havaita, että ro-ro-aluksilla suurimmat kustannuserät ovat selvästi polttoaine-, pääoma- ja korkokustannukset. Isojen ro-pax-alusten kohdalla suurimmat kustannuserät ovat samat, mutta etenkin polttoainekustannusten suhteellinen osuus kokonaiskustannuksista on noin kolmasosan pienempi. Pienillä ro-pax-aluksilla suurimmat kustannuserät aiheuttavat



kulutustarvikkeet, miehitys ja pääoma. Miehityksen kohtuullisen suurta osuutta kustannuksista molemmilla ro-pax-aluksilla voidaan selittää matkustajapalveluissa tarvittavan henkilöstön avulla verrattaessa ro-ro-aluksiin, joissa matkustajapalveluiden henkilökuntaa ei ole. Pääoma- ja korkokustannusten suuruus johtuu puolestaan ro-ro ja ro-pax-alusten korkeista hankintahinnoista.



Kuvio 5 Kustannuserien suhteellinen osuus päivittäisistä kustannuksista alustyypeittäin (Delhaye ym 2010)

Delhayen ym. (2010) tutkimus tehtiin kuitenkin ennen kuin SECA-alueiden tiukempi polttoaineiden rikkipitoisuuden raja astui voimaan. Vuonna 2015 IMO teki päätöksen laskea SECA-alueiden polttoaineiden rikkipitoisuuden rajan 0,5 prosentista 0,1 prosenttiin. Tämän seurauksena näillä alueilla operoivien alusten piti, joko vaihtaa kalliimpiin vähärikkipitoisiin polttoaineisiin tai investoida päästövähennysteknologioihin kuten pakokaasujen putsausjärjestelmiin. Zisin ja Psaraftiksen (2018) mukaan tämän takia polttoaine- ja/tai pääomakustannusten merkitys on kasvanut ro-ro-alustyypeillä entisestään riippuen siitä kumpaa keinoa näillä alueilla liikennöivät alukset ryhtyivät käyttämään. Polttoaineista ja niiden merkityksestä tarkemmin luvussa 4.2.

Lisäksi Suomen alusliikenteessä tulee ottaa huomioon talvimerenkulku ja sen aiheuttamat vaatimukset. Alusten, jotka liikennöivät jäätyneillä alueilla, on täytettävä lisävaatimuksia,

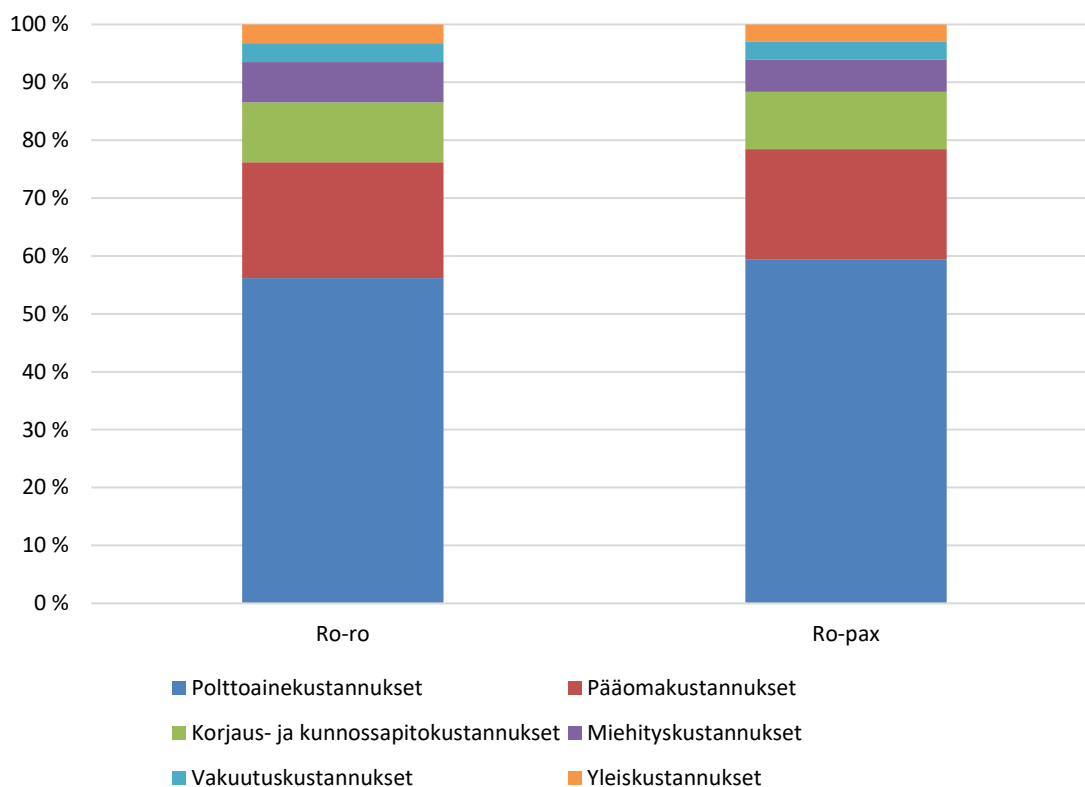
joita ovat mm. vahvistettu runko ja lisäkoneteho. Nämä lisävaatimukset nostavat sekä polttoaineenkulutusta että hankintahintaa. Solakivi ym. (2017) arvioivat, että vaatimukset täyttävien IA Super (IAS) ja IA –jääluokkiin kuuluvien konttialusten konetehon ja polttoaineenkulutuksen olevan noin 10 prosenttia korkeampi kuin alemmilla jääluokilla. Kaikilla IAS-jääluokan aluksilla polttoaineenkulutus on keskimäärin noin 12 prosenttia korkeampi kuin IA-jääluokan aluksilla ja 15 prosenttia korkeampi kuin IB-luokan aluksilla. Heidän mukaansa Itämerellä liikennöivät yritykset arvioivat, että polttoaineenkulutus jääolosuhteissa voi olla jopa 30 prosenttia korkeampi samalla, kun nopeus on 30 prosenttia pienempi kuin avovesiolosuhteissa. Talviolosuhteissa vaatimukset täyttävät alukset kuluttavat siis huomattavasti enemmän polttoainetta. He kuitenkin huomauttavat, että avovesiolosuhteissa koneteho ja polttoaineenkulutus ovat lähellä avovesilaivojen tasoa. Pääomakustannusten he arvoivat olevan IAS ja IA –aluksilla keskimäärin noin 8 prosenttia korkeammat kuin muilla aluksilla. Taulukossa 3 on esitetty IAS ja IA –jääluokan alusten tarvitsema lisäkoneteho verrattaessa vastaavaan avovesialukseen.

Taulukko 3 IA Super ja IA-jääluokan alusten tarvitsema lisäkoneteho verrattaessa kantavuudeltaan samanlaiseen avovesialukseen (Solakivi ym. 2020)

Alustyyppi	Vaadittu lisäkoneteho
Muut kuivalastialukset	30 %
Bulkialukset	29 %
Säiliöalukset	23 %
Ro-ro-alukset	15 %
Konttialukset	10 %

### 2.2.3 Suomen ulkomaan ro-ro-liikenteen kustannusrakenne

Karvonen ja Jousilahti (2018) tutkivat Suomen ulkomaanliikenteen yksikkökustannuksia. Heidän tutkimuksessaan kustannukset jaettiin pääomakustannuksiin, polttoainekustannuksiin, miehityskustannuksiin ja muihin aluskustannuksiin. Heidän raporttinsa tulokset ovat nähtävillä kuviossa 6.



Kuvio 6 Ro-ro ja ro-pax-alusten yksikkökustannusten suhteelliset osuudet (Karvonen ja Jousilahti 2018)

Kuviosta 6 voidaan havaita, että Karvosen ja Jousilahden (2018) mukaan polttoainekustannusten osuus Suomen ulkomaan kaupan ro-ro-liikenteen päivittäisistä yksikkökustannuksista olisi selvästi suurin kustannustekijä. Ro-ro-aluksilla osuus on noin 56 prosenttia ja ro-pax-aluksilla noin 59 prosenttia. Polttoaineen kulutus on näissä alustyypeissä siis huomattavan korkea. Heidän mukaansa näiden jälkeen toisena ovat pääomakustannukset ja kolmantena korjaus- ja kunnossapitokustannukset. Huomion arvoista kuitenkin on, että suhteelliset osuudet on laskettu syväysluokkien välisen keskiarvon mukaan. Todellisuudessa alusrakenne ei ole jakautunut tasaisesti näiden välillä, joten tuloksen voidaan sanoa olevan hieman harhaanjohtava. Lisäksi polttoainekustannukset on laskettu yleisestä mallista poikkeavalla tavalla. Konetehonkertoimena on käytetty 0,7, vaikka yleisesti hyväksyttävämpänä pidetään kerrointa 0,8 (Cullinane & Khanna 1999; Corbett ym. 2009; Solakivi ym. 2017). Lisäksi polttoaineen hintana käytetty MGO-polttoaineen keskiarvo 474 yhdysvaltaindollaria/tonni on hieman todellisuutta alhaisempi sekä SFOC-arvon 200 g/kWh asettaminen koskemaan kaikkia aluksia on karkea yleistys (SFOC-arvosta tarkemmin luvussa 5.3.1). Ro-pax-alusten kohdalla miehituskustannusten osuus ei kuvasta todellisuutta, sillä laskuissa ei ole otettu huomioon matkustajapalveluissa

toimivasta henkilöstöstä aiheutuvia kustannuksia. Pääomakustannusten osuus on myös jonkin verran harhaanjohtava, sillä laskuissa on käytetty 10 prosentin jäännösarvoa, vaikka todellisuudessa olisi parempi käyttää 25 prosenttia (Wijnolst & Wergeland 2009). Myöskään korkotasona käytetty 5 prosenttia ei kuvasta hyvin viime vuosien korkotilannetta. Todellisuudessa korko on ollut huomattavasti tätä alhaisempi esimerkiksi keskimääräinen 12 kuukauden LIBOR vuosien 2010 ja 2020 välillä on ollut alle yhden prosentin.

Vaikka Delhayen ym. (2010) sekä Karvosen ja Jousilahden (2018) tutkimukset eivät anna täysin realistista kuvaa ro-ro ja ro-pax-alusten kustannusrakenteesta, voidaan niiden perusteella kuitenkin sanoa, että polttoainekustannuksilla on huomattavan suuri rooli näissä alustyypeissä. Koska polttoaineen merkitys on näille aluksille suuri, tulee myös päästökaupasta aiheutuva lisäkustannus olemaan näille alustyypeille merkittävä.

## **2.3 Aluskaluston tunnusluvut ja rakenne**

### **2.3.1 Maailman laivasto**

Taulukossa 4 on nähtävillä, miten maailman kauppalaivaston bruttovetoisuus on kehittynyt ja jakautunut alustyyppien välillä vuosien 2015–2020 välillä. Vuoden 2020 alussa maailman kauppalaivaston kokonaisbruttovetoisuus oli 1 398 979 000, josta selvästi suurin osuus oli bulkkialuksia (34,8 %). Tämän jälkeen tulivat öljytankkerit (23,6 %) ja muut alukset (19,6 %). Huomion arvoista kuitenkin on, että muihin aluksiin lukeutuu huomattavan paljon eri alustyyppisiä kuten kaasusäiliöalukset, kemikaalialukset sekä ro-ro ja ro-pax-alukset, joten todellisuudessa kolmanneksi suurimpana alustyyppinä voidaan pitää konttialuksia (17,6 %). (UNCTADstat 2021.) Zisin ym. (2019) mukaan vuonna 2018 ro-ro-alustyyppien osuus olisi ollut lukumäärällisesti vain 7,67 prosenttia maailman kokonaislaivastosta, jos huomioon otetaan pelkästään alukset, joiden bruttovetoisuus on 10 000 tai yli.

Vuoden 2020 tammikuussa maailman kauppalaivaston kokonaiskantavuus oli noin 2,1 miljardia DWT:tä, joka tarkoittaa 81 miljoonan DWT:n kasvua verrattaessa vuoteen 2019. Kuviossa 7 on kuvattuna maailman kauppalaivaston kokonaiskantavuus ja sen kehitys vuosien 1980–2020 välillä. Kantavuus on kehittynyt merkittävästi melkein kaikilla osa-alueilla, mutta bulkkialusten kohdalla kasvu on ollut huomattavan nopeaa. Viimeisimmän vuosikymmenen aikana bulkkialusten osuus kokonaiskantavuudesta on

noussut 36 prosentista 43 prosenttiin. Kantavuus ei ole tuolla aikavälillä laskenut yhdelläkään osa-alueella, mutta yleisen rahdin alusten kohdalla se on pysytellyt suurin piirtein samalla tasolla. Lisäksi se on ainut alustyyppi, jonka kantavuus on laskenut verrattaessa vuoteen 1980. (UNCTAD 2020a.) Tarkempi tarkastelu kantavuuden jakautumisesta alustyypeittäin vuosina 2019 ja 2020 on tehty taulukossa 5.

Taulukko 4 Maailman kauppalaivaston bruttovetoisuus alustyypeittäin vuosien 2015–2020 välillä (UNCTADstat 2021)

Mukana alukset, joiden bruttovetoisuus on 100 tai yli. Arvot laskettu vuoden alussa. Luvut ilmaistu tuhansina (1 = 1 000)

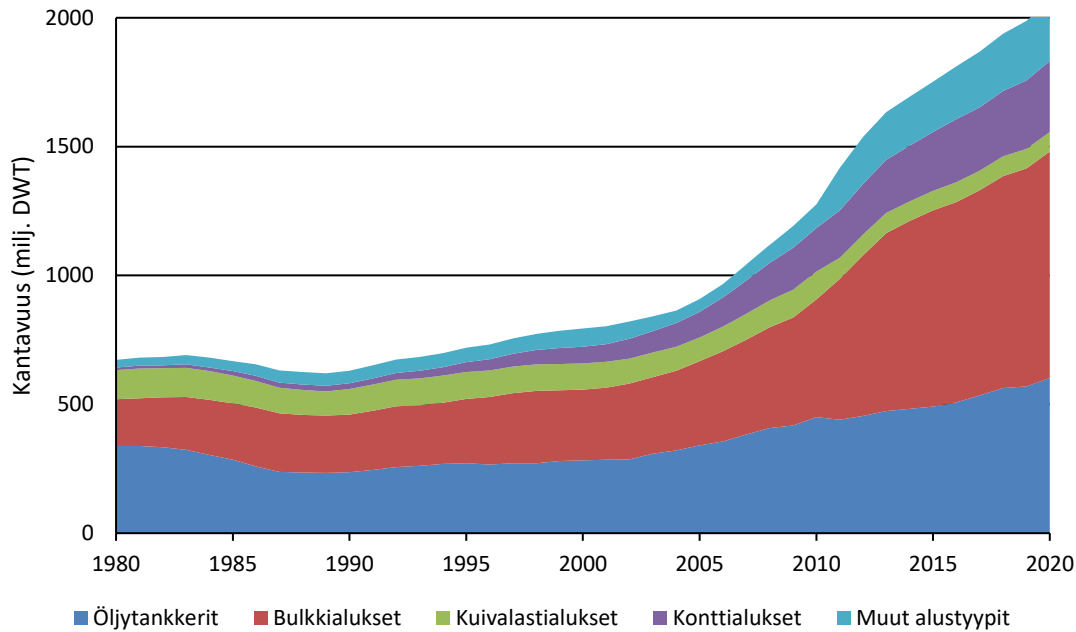
Alustyyppi	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Öljytankkerit</b>	270 007	278 249	294 300	309 683	312 318	330 216
<b>Bulkkialukset</b>	421 346	431 024	440 040	455 358	468 192	486 247
<b>Konttialukset</b>	200 031	215 203	217 119	224 986	237 100	245 950
<b>Muut alustyyppit</b>	221 937	232 933	246 140	254 726	266 617	274 694
<b>Kuivalastialukset</b>	61 789	62 406	60 248	60 588	61 202	61 871
<b>YHTEENSÄ</b>	1 175 110	1 219 817	1 257 847	1 305 340	1 345 428	1 398 979

Taulukko 5 Maailman kauppalaivaston kantavuus alustyypeittäin vuosina 2019 ja 2020 (UNCTADstat 2021)

Mukana alukset, joiden bruttovetoisuus on 100 tai yli. Arvot laskettu vuoden alussa, ylempi luku tuhat (1 = 1 000) DWT:tä ja alempi luku prosenttiosuus kokonaiskantavuudesta.

Alustyyppi	2019	2020	Prosentuaalinen muutos vuosien 2019–2020 välillä
<b>Bulkkialukset</b>	846 418 42,7 %	879 330 42,6 %	3,9
<b>Öljytankkerit</b>	568 244 28,7 %	601 163 29,2 %	5,8
<b>Konttialukset</b>	266 087 13,4 %	274 856 13,3 %	3,3
<b>Muut alustyyppit</b>	226 568 11,4 %	232 012 11,3 %	2,4
<b>Muut alukset</b>	80 262 4,1 %	79 862 3,9 %	-0,5
<b>Kaasusäiliöalukset</b>	69 081 3,5 %	73 586 3,6 %	6,5
<b>Kemikaalitankkerit</b>	46 157 2,3 %	47 474 2,3 %	2,9
<b>Ro-ro ja ro-pax-alukset</b>	7 096 0,4 %	7 289 0,4 %	2,7

Alustyyppi	2019	2020	Prosentuaalinen muutos vuosien 2019–2020 välillä
<b>Muut/ei saatavilla</b>	23 972 1,2 %	23 802 1,2 %	-0,7
<b>Kuivalastialukset</b>	74 192 3,7 %	74 583 3,6 %	0,5
<b>YHTEENSÄ</b>	1 981 510	2 061 944	4,1



Kuvio 7 Maailman kauppalaivaston kantavuuden kehitys alustyypeittäin vuosien 1980–2020 välillä (UNCTADstat 2021)

Vuoden 2020 alussa maailman itseliikkuvien merialusten laivasto käsitti 98 715 alusta, otettaessa huomioon alukset, joiden bruttovetoisuus oli 100 tai yli. Tässä määrässä on mukana myös alukset, joiden rekisteröintivaltiota ei pystytty määrittämään. Jos otetaan huomioon pelkästään alukset, joiden bruttovetoisuus on vähintään 1000, tipahtaa alusten lukumäärästä puolet pois eli aluksia on enää vain 52 961. IMO:n (2020) raportin mukaan vuonna 2018 ro-ro alusten osuus olisi lukumäärällisesti ollut 1,7 prosenttia kokonaislaivastosta, kun taas ro-pax alusten 2,6 prosenttia. Taulukossa 6 on havainnollistettu alusten omistajuuksia ja rekisteröintivaltiota lukumäärällä vertailtuna ja taulukossa 7 sama asia on esitettyä kantavuuden jakautumisena.

Taulukko 6 Alusten omistajuus ja rekisteröinti vuonna 2020 alusten lukumäärällä vertailtuna (UNCTAD 2020a)

Mukana alukset, joiden bruttovetoisuus on 1 000 tai yli.

Omistaja- valtio	Rekisteröinnin lippu							YHT.
	Panama	Kiina	Liberia	Marshallin- saaret	Singapore	Kiina, Hong Kong	Indonesia	
<b>Kiina</b>	617	4569	113	75	75	921	6	6869
<b>Kreikka</b>	469	0	1021	1023	29	22	2	4648
<b>Japani</b>	2024	0	210	210	155	56	8	3910
<b>Singapore</b>	288	1	235	139	1493	138	90	2861
<b>Saksa</b>	30	0	607	119	75	19	0	2504
<b>Indonesia</b>	18	0	7	2	2	1	2132	2208
<b>Norja</b>	43	0	90	129	86	46	4	2043
<b>Yhdysvallat</b>	70	0	93	347	8	43	0	1933
<b>Venäjä</b>	36	0	125	0	2	1	0	1742
<b>Kiina, Hong Kong</b>	297	20	44	65	48	883	3	1690
<b>YHT.</b>	6528	4603	3686	3592	2613	2425	2293	52961

Taulukko 7 Alusten omistajuus ja rekisteröinti vuonna 2020 alusten kantavuudella vertailtuna (UNCTAD 2020a)

Mukana alukset, joiden bruttovetoisuus on 1 000 tai yli

Omistaja- valtio	Rekisteröinnin lippu							YHT.
	Panama	Liberia	Marshallin- saaret	Kiina, Hong Kong	Singapore	Malta	Kiina	
<b>Kreikka</b>	26375	85396	77629	1372	1832	64332	0	363867
<b>Japani</b>	133322	19208	13148	2947	9715	573	0	233195
<b>Kiina</b>	22970	7472	4009	78238	7287	2614	100269	229247
<b>Singapore</b>	11302	16942	9689	7734	74773	2243	2	137396
<b>Kiina, Hong Kong</b>	11344	5403	3399	72505	4485	885	0	101035
<b>Saksa</b>	857	33876	6235	1304	3750	6723	0	89412
<b>Etelä-Korea</b>	35500	1468	26208	1123	10	356	0	80595
<b>Norja</b>	2061	5146	7840	7505	4570	1370	0	63985
<b>Bermuda</b>	1784	6744	18156	7492	1043	423	0	60414
<b>Yhdysvallat</b>	1240	6763	25884	3091	335	643	0	57688
<b>YHT.</b>	328566	274842	261919	201297	140145	115852	100467	2051019

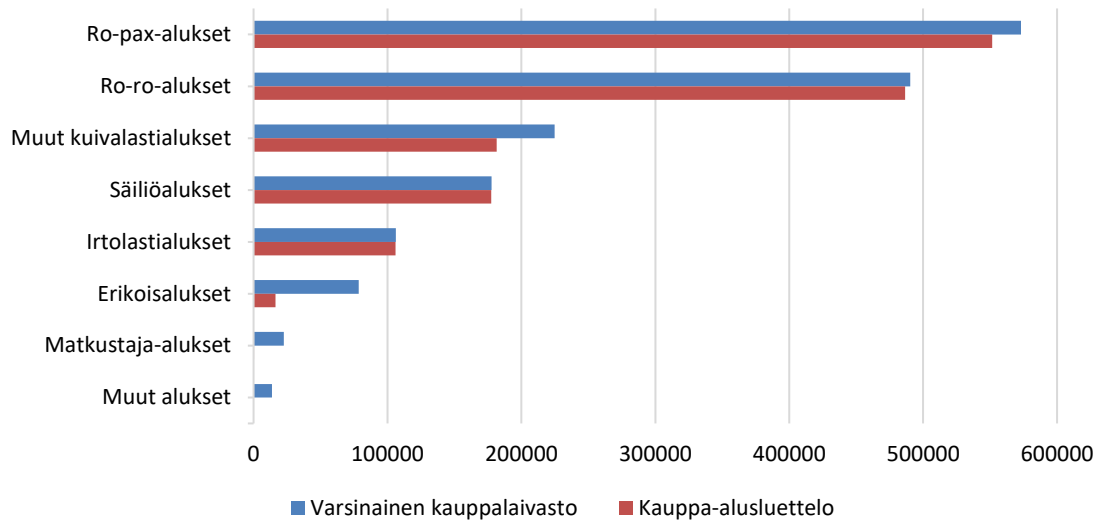
### 2.3.2 Suomen laivasto

Vuoden 2021 syyskuussa Suomen kauppalaivastoon kuului 1 241 alusta, joista 675 kuului varsinaiseen kauppalaivastoon. Näistä 106 alusta on merkittynä kauppalaivastoluetteloon, johon merkitään pääasiassa ulkomaan liikenteessä toimivia aluksia. Kokokauppalaivaston bruttovetoisuus oli 1 810 819, joista kauppalaivastoluetteloon merkittyjen alusten osuus oli 1 456 057. Varsinaisen kauppalaivaston kantavuus oli 712 972, josta kauppalaivastoluetteloon merkittyjen alusten osuus oli 664 325. Kuviossa 8 on havainnollistettu Suomen varsinaisen kauppalaivaston ja kauppalaivastoluettelon bruttovetoisuuksia alustyypeittäin, kuviossa 9 on havainnollistettu varsinaisen kauppalaivaston ja kauppalaivastoluettelon kantavuuksia alustyypeittäin ja taulukossa 8 on havainnollistettu varsinaisen kauppalaivaston ja kauppalaivastoluettelon lukumääriä alustyypeittäin. (Tilastokeskus 2021a.)

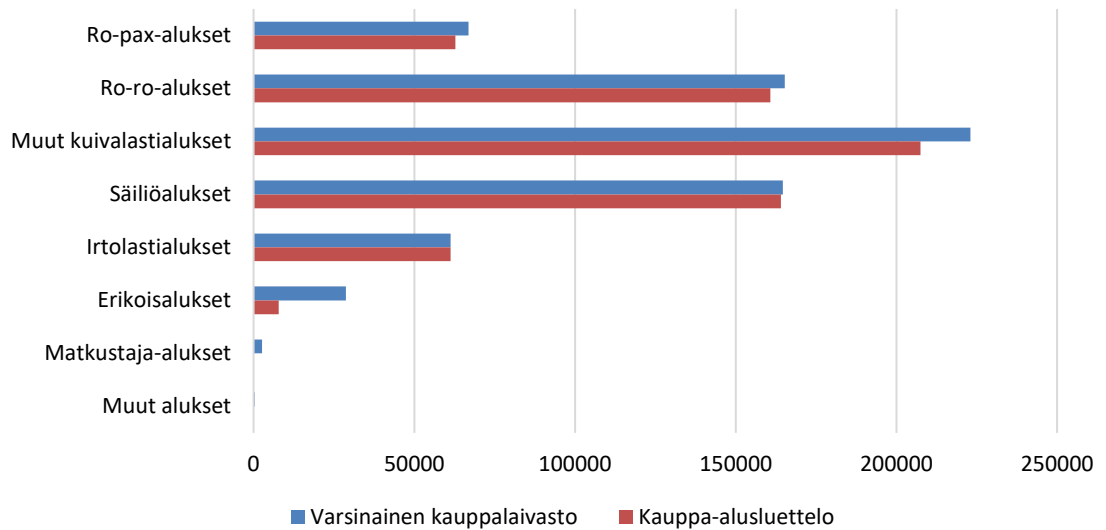
Varsinaisesta kauppalaivastosta lukumäärältään suurin osa on pelkkään matkustajaliikenteeseen tarkoitettuja aluksia, ja toisena tulevat erikoisalukset ja kolmantena muut alukset. Kauppalaivastoluetteloon merkityistä aluksista lukumäärältään suurin osa on puolestaan kuivalastialuksia, ro-ro-aluksia ja erikoisaluksia. Bruttovetoisuudeltaan suurimmat alustyyppit ovat ro-pax ja ro-ro-alukset, jotka kattavat noin kaksi kolmasosaa kauppalaivastoluettelon tilavuudesta. Kantavuuden puolesta suurimmat alustyyppit ovat muut kuivalastialukset, säiliöalukset ja ro-ro-alukset. (Tilastokeskus 2021a.)

Huomion arvioista on ro-ro ja ro-pax-alusten osuus Suomen kansainvälisen kaupan laivastosta. Verrattaessa Suomen kaluston portfolioa maailman laivastoon, jossa ro-ro-alustyyppien osuus on vain murto-osa lukumäärien tai bruttovetoisuuden avulla vertaillaessa kokonaiskalustosta, voidaan sanoa näillä kuljetusmuodoilla olevan suhteellisen suuri osuus Suomen kansainvälisen kaupan aluksista.





Kuvio 8 Varsinaisen kauppalaivaston ja kauppa-alusluettelon bruttovetoisuudet alustyypeittäin syyskuussa 2021 (Tilastokeskus 2021a)



Kuvio 9 Varsinaisen kauppalaivaston ja kauppa-alusluettelon kantavuudet alustyypeittäin (Tilastokeskus 2021a)

Taulukko 8 Varsinaisen kauppalaivaston ja kauppa-alusluettelon alusmäärät alustyypeittäin (Tilastokeskus 2021a)

<b>Alustyyppi</b>	<b>Varsinainen kauppalaivasto</b>	<b>Kauppa-alusluettelo</b>
<b>Ro-pax-alukset</b>	53	14
<b>Ro-ro-alukset</b>	43	28
<b>Muut kuivalastialukset</b>	89	36
<b>Säiliöalukset</b>	9	6
<b>Irtolastialukset</b>	10	5
<b>Erikoisalukset</b>	180	17
<b>Matkustaja-alukset</b>	192	1
<b>Muut alukset</b>	99	0

## 3 Päästökauppa ja merirahdin päästöt

### 3.1 Historia ja teoreettinen tausta

#### 3.1.1 Historia

Ensimmäiset keskustelut päästökaupasta ja sen harjoittamisesta tuotiin esiin Yhdysvalloissa. 1950-luvun loppuun mennessä sekä poliittiset päättäjät että taloustieteilijät olivat muodostaneet omat näkemyksensä, kuinka saasteiden torjuntapolitiikkaa olisi harjoitettava. Näiden kahden osapuolen näkemykset olivat kuitenkin täysin ristiriidassa toistensa kanssa. Poliittisten päättäjien mukaan saasteiden kontrolloinnissa olisi tukeuduttava määräyksiin ja lakeihin, kun taas taloustieteilijöiden mukaan paras tapa saasteiden vähentämiseksi olisi asettaa saastuttamiselle hinta. (Tietenberg 2010, 42.) Taloustieteilijöiden näkemys perustui haittaveroon eli ns. Pigou-veroon, joka on taloustieteilijä Arthur Pigoun kehittämä näkemys markkina- ja liiketoiminnan aiheuttaman ulkoishaitan vähentämiseksi. Pigoun (1932) mukaan ulkoisten olosuhteiden kuten ilmansaastumisen torjunnassa tehokkain keino olisi kohdistaa vero saastuttavasta toiminnasta syntyviin päästöihin. Tällöin yrityksen pyrkimys minimoida omat kustannuksena minimoisi samanaikaisesti koko yhteiskunnan kustannuksia. Tuolloin lakeihin ja määräyksiin perustuvat keinot voittivat eivätkä veroihin perustuneet menetelmät juurikaan edistyneet (Tietenberg 2010, 43).

Vuonna 1960 Ronald Coase julkaisi artikkelin, jossa hän pyrki tuomaan esille oman näkemyksensä ongelmaan. Hänen mukaansa Pigoun näkemys oli liian kapea katseinen ja hänen tavoitteenaan oli tuoda kokonaan uudenlainen näkemys sekä taloustieteilijöiden että poliittisten päättäjien tietoisuuteen. Coase (2013) väitti, että jos tehtaiden tuotantoa ajateltaisiin oikeutena, olisi helpompaa hahmottaa, että tällöin oikeus tehdä jotain mikä on haitallista, on myös yksi tuotannon osatekijä. Hänen mukaansa, jos nämä oikeudet olisivat siirrettävissä ja täsmällisiä, markkinoilla olisi merkittävä rooli sekä näiden oikeuksien arvostamisessa että niiden parhaimman mahdollisen hyödyntämistavan varmistamisessa. Poliittisille päättäjille Coase mainitsi, että sen aikaiset järjestelmät eivät kannustaneet oikeuksien siirtymistä niiden arvokkaimpaan ja tehokkaimpaan käyttöön. Erona Pigou-veroon oli markkinoiden rooli oikeuksien arvostamisessa eikä niinkään hallinnon, joka määritteli ennalta saastuttavalle toiminnalle veron. Tämä Coasen artikkeli ja näkemys jäivät vahvaksi vaikuttavaksi tekijäksi, kun saasteiden kontrollointia

ryhdyttiin suunnittelemaan käytännössä. Ensimmäisen kerran päästökaupan harjoittamista ehdotettiin Yhdysvalloissa vuonna 1968 J.H. Dales toimesta veden saastumiselle (Weishaar 2014, 2).

### 3.1.2 Teoreettinen tausta

Weishaarin (2014, 23–24) mukaan päästökaupan houkuttelevuus johtuu siitä, että muut keinot kuten määräyksiin ja lakeihin perustuvat lähestymistavat ovat joustamattomia ja kannustamattomia. Nämä ovat myös usein liian yleisiä luonteeltaan, jotta saastuttavien yritysten päästövähennyspotentiaalit voitaisiin erottaa toisistaan. Lisäksi tarkkaan hiottu säännöstely vaatii usein todella kallista ja työlästä byrokraattista työtä. Nämä negatiiviset tekijät voitaisiin välttää päästökauppajärjestelmällä, jossa saastuttajille myytäisiin päästöoikeuksia, joiden lukumäärä olisi poliittisten päättäjien ennalta määräämä. Hinta ja saastuttajan maksuvalmius määrittävät, mitkä toimijat saastuttavat ja mitkä tulevat investoimaan päästöjen vähennysteknologiaan. Saastuttamisoikeudet tulisi joko jakaa tai huutokaupata.

Tietenberg (2010) on Weishaarin kanssa samoilla linjoilla. Tietenbergin (2010, 43) mukaan päästökaupan houkuttelevuus syntyy sen kyvystä saavuttaa ennalta määritelty tavoite vähimmäiskustannuksilla, vaikka päättäjillä ei olisikaan ennakkotietoa kuinka kalliiksi päästöoikeus tulisi asettaa. Niin kauan kuin marginaaliset vähennyskustannukset vaihtelevat, löytyy kannustus kaupankäynnille. Oikeudet tulisi hänenkin mukaansa joko huutokaupata tai jakaa saastuttajien kesken jonkin ennalta määrätyn kriteerin mukaisesti. Yritykset, joilla on korkea marginaalinen vähennyskustannus ostavat oikeuksia yrityksiltä, joilla vähennyskustannus on puolestaan matala. Näin toimitaan, kunnes markkinat saadaan tasapainoon ja oikeuksien kysyntä vastaa kiinteää tarjontaa. Käytännössä tämä tarkoittaa samaa asiaa kuin mitä Weishaar tuo esiin omassa kirjassaan: ne yritykset saastuttavat ja ostavat oikeuksia, joilla kustannus päästöjen vähentämiseksi on suurempi ja ne puolestaan myyvät oikeuksia, joiden on halvempaa investoida päästöjen vähennysteknologiaan kuin ostaa oikeuksia.

Tietenbergin (2006, 25) mukaan päästökauppa tarvitsee kattavan sääntelykehyksen toimiakseen. Hänen mukaansa on hyvin kriittistä, että ilmansaasteiden sääntelyn prosessissa on mukana kaksi osapuolta eli viranomaiset ja saastuttajat. Viranomaisten tehtävänä on määrittää ja taata hyväksyttävä ilmanlaatu. Heidän tehtävänsä on luoda sääntelykehys, joka toimii ja jossa on selvät säännöt esimerkiksi tullaanko päästöoikeudet

huutokauppaamaan vai jakamaan. Sääntelykehys ei saa olla liian monimutkainen, jotta sen toimeenpaneminen sekä toteuttaminen olisivat mahdollisia ja jotta osallistujat pystyisivät seuraamaan säännöksiä. Saastuttajien tehtävänä on loppukädessä itse saasteiden vähentäminen asetettuihin tavoitteisiin pääsemiseksi. Onnistuneen säännöstelyn taustalla on pyrkimys yhdistää näiden kahden osapuolen ponnistelu.

### 3.1.3 Edut ja ongelmat

Weishaar (2014, 24–27) tuo esiin kirjassaan päästökauppaan liittyviä etuja ja haittoja. Hänen mukaansa päästökaupan edut ovat seuraavat:

- Päästökauppa mahdollistaa päätöstentekijöiden päättää päästöjen ylärajasta. Näin järjestelmän tehokkuus on suoraan sidottuna päätöksentekijöihin ja heidän asettamiinsa rajoihin.
- Päästökauppa mahdollistaa eri päästövähennyskustannukset omaaville toimijoille kyvyn käydä kauppaa päästöoikeuksista ja näin ollen antaa viimekädessä yrityksille päätöksen siitä, mitkä yritykset vähentävät päästöjä. Näin päästöjä vähennetään sieltä, missä sen kustannus on kaikkein alhaisin.
- Myytävät oikeudet voivat olla päätöstentekijöille hyväksyttävämpi vaihtoehto, sillä luvat, joihin päästöoikeuksia voidaan verrata, ovat heille entuudestaan tutut.
- Koska päästökaupassa hinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan mukaan, se ottaa automaattisesti huomioon inflaation. Lisäksi se estää taloutta ylikuumenemasta. Jos taloustilanne paranee ja päästöoikeuksien kysyntä kasvaa, nousee myös niiden hinta. Heikon taloustilanteen kohdalla tilanne on päin vastainen: kysynnän laskiessa hintakin laskee.
- Cap-and-trade -järjestelmä (ks. luku 3.1.4) on parempi yhteisten, mutta eriytettyjen vastuiden osalta kehittyvissä maissa. Päästökauppa on joustavampi vaihtoehto kuin hiilivero, koska se mahdollistaa päästöoikeuksien oikeudenmukaisemman jakamisen valtioiden välillä. Tällöin maat, joiden historiallinen vastuu ilmastonmuutoksesta on rajallinen tai joilla on rajalliset taloudelliset keinot päästöjen vähentämiseksi, voivat saastuttaa enemmän. (Cao 2011, 22, Weishaarin 2014, 25 mukaan.)

Vaikka päästökaupalla on paljon etuja, on jokaisella asialla myös ongelmansa.

Weishaarin (2014, 24–27) mukaan päästökaupan ongelmia ovat:

- Päästöoikeuksien hintojen epävakaisuus luo liiketoiminnalle epävarmuutta tulevasta hintakehityksestä. Tämä voi johtaa epäoptimaalisiin innovoinnin ja päästövähennysteknologioiden investointeihin tai rajoitettuihin investointeihin kestävään, etenkin uusiutuvaan, energiaan.
- Optimaalisen päästötason asettaminen vaatii yksityiskohtaista tietoa, jota ei aina ole saatavilla. Päätöstentekijöiden tulee siis tehdä käytännönläheinen päätös päästötavoitteista.
- Päästökauppa yhdistetään usein saastuttajien kustannukseksi. Saastuttajat voivat pyrkiä välttelemään näitä kustannuksia siirtämällä toimintaansa muille alueille, joilla päästöjen vähennystavoitteet ovat lievemmat tai joilla sitä ei ole laisinkaan. Tähän viitataan termillä hiilivuoto (carbon leakage).
- Päästökaupassa saastuttajat voivat hyötyä taloudellisesti, kun päästötasot pysyvät samana. Tällainen tilanne syntyy, kun saastuttajat saavat päästöoikeuksia ilmaiseksi tai jos ne voivat siirtää kustannuksia kuluttajille joustamattoman kysynnän vuoksi.
- Päästöoikeuksien hinta voi olla joustamaton. Pienikin muutos lukumäärässä voi johtaa suureen hinnan muutokseen. Tämä aiheuttaa päästöoikeuksien hinnan epävakautta, joka puolestaan johtaa aikaisemmin mainittuihin ongelmiin.
- Päästökauppa, jossa oikeudet jaetaan ilmaiseksi, ei tuo lisätuottoa hallinnolle. Huutokaupattavassa järjestelmässä tätä ongelmaa tosin ei ole.
- Päästökauppa yhdistetään usein transaktioiden ja valvonnan kustannuksiin. Suurille saastuttajille kustannussäästöjen hyöty on riittävän suuri kattamaan transaktiokustannukset, mutta pienemmille saastuttajille asia voi olla päinvastainen.
- Jos pieniin saastuttajiin sovelletaan jo muita onnistuneita järjestelmiä, voi tällä olla vaikutuksia päästökaupan päästöihin. Kotitalouksien vähemmän kuluttama energia voi viitata siihen, että päästöjä syntyy vähemmän päästökauppaan

kuuluviissa laitoksissa. Jos näin on, kyseiset onnistuneet päästövähennykset sallivat muiden tehdä enemmän päästöjä kuin odotettiin.

### 3.1.4 Cap-and-trade, credit-and-trade ja intensiteettitavoite

Yksi tärkeimmistä asioista päästökauppaa suunniteltaessa on päättää, millainen järjestelmä otetaan käyttöön. Cap-and-trade -järjestelmällä tarkoitetaan päästökauppaa, jossa hallinnon liikkeelle laskemien päästöoikeuksien kokonaismäärälle on asetettu yläraja eli *cap*. Vaikka päästöoikeuksien yläraja on määritelty, myönnetään tässä järjestelmässä kuitenkin tarvittaessa ylimääräisiä päästöoikeuksia ns. offsettien mukaisesti. Offsetit ovat aikaisemmilta ajanjaksoilta yli jääneitä päästöoikeuksia, joita voidaan tuoda mukaan, jos tarve vaatii. Jokaisen osallistuvan yrityksen on määräajan lopussa luovutettava yhtä paljon päästöoikeuksia kuin se on aiheuttanut ilmansaasteita. (Weishaar 2014, 55.) Sana *trade* viittaa siihen, että tässä järjestelmässä yritykset voivat käydä kauppaa päästöoikeuksista jälkimarkkinoilla eli päästöoikeuden hinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan mukaan (EDF 2021).

Credit-and-trade -järjestelmässä saastuttavat tahot saavat tuottaa vapaasti, mutta niiden on vertailtava aiheutuneita päästöjään per tuotantoyksikkö vasten hallinnon ennalta määräämää standardia. Päästöjä tuottavan tahon on otettava huomioon kaikki tämän standardin ylittävät päästötonnit ja maksettava sakko, jos se ei voi ostaa päästöoikeuksia järjestelmän kautta tai hyötyä aikaisemmista tai tulevista päästösäästöistä. Suurin ero verrattuna cap-and-trade -järjestelmään on se, että päästöoikeuksia ei luoda ja jaeta hallinnon puolesta vaan määräykset ja lait pakottavat saasteiden tuottajat pääsemään tiettyihin päästötavoitteisiin. Niihin pääseminen varmistetaan kolmannen osapuolen toimesta, joka raportoi tuloksista hallinnolle. Näissä järjestelmissä on usein kohtalaisen suuret transaktiokustannukset kolmannen osapuolen varmistusvaatimuksen vuoksi. (Weishaar 2014, 56.)

Intensiteettitavoitteella viitataan järjestelmään, jossa päästöjen vähennys on sidottu johonkin muuhun tekijään kuten esimerkiksi BKT:hen. Tavoitteena on siis päästöjen määrän laskeminen suhteessa johonkin muuhun tekijään. BKT:hen sidottuna pyrkimyksenä on siis itse BKT:n kasvattaminen, mutta siihen suhteutetun ilmansaasteiden määrän pienentäminen. Jos talous kukoistaa ja BKT kasvaa, voi teollisuus saastuttaa enemmän. Jos taas taloudella menee huonosti ja BKT laskee, teollisuuden tulee silti vähentää päästöjään, vaikka todellisuudessa BKT:n lasku ei

olekaan vaikuttanut hyödykkeiden ja palveluiden tuotantoon. Tämä tarkoittaa, että intensiteettitavoitteiden asettaminen vaatii perinpohjaista tuntemusta yleisesti taloustilanteesta sekä järjestelmän alaisista aloista. (Weishaar 2014, 56–57.)

## 3.2 Euroopan unionin päästökauppajärjestelmä (EU ETS)

### 3.2.1 Historia

Euroopan unionin päästökauppajärjestelmä (tästä eteenpäin EU ETS) luotiin Kioton pöytäkirjassa asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi. Kioton pöytäkirja julkaistiin vuonna 1997 ja siinä asetettiin täytäntöön vuonna 1994 julkaistun YK:n ilmastomuutosta koskeva puitesopimus (United Nations Framework Convention on Climate Change eli UNFCCC) sitouttamalla teollisuusmaat ja siirtymässä olevat taloudet rajoittamaan ja vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään sovittujen yksittäisten tavoitteiden mukaisesti. (UNFCCC 2021.) 8. maaliskuuta vuonna 2000 julkaistiin Euroopan komission toimesta *The Green Paper on greenhouse gas emissions trading within the European Union*, jonka tavoitteena oli aloittaa keskustelu kasvihuonekaasupäästöjen kaupasta EU:ssa sekä keinoista ympäristömuutoksen torjumiseksi. Tuolloin komission mukaan päästökauppa sekä EU:n sisäisesti että ulkoisesti muiden teollisuusmaiden kanssa helpottaisi sitoumusten noudattamisesta aiheutuvia yhteiskunnallisia kustannuksia. Yhdessä muiden säännösten ja keinojen kanssa, päästökauppa tulisi olemaan olennainen osa strategiaa ympäristömuutoksen torjumiseksi. Komissio näki, että hyvin koordinoitu ja johdonmukaisesti luotu viitekehys kaikkia jäsenvaltioita koskevan päästökaupan toteuttamiseksi, antaisi parhaat valmiudet EU:n sisäisen päästökaupan toiminnalle verrattuna joukkoon koordinoimattomia kansallisia päästökauppajärjestelmiä. Koko yhteisön kattava päästökauppa johtaisi järjestelmään, jossa päästöoikeudella olisi vain yksi hinta, kun taas toisiinsa liittymättömät kansalliset järjestelmät johtaisivat eri hintoihin kussakin kansallisessa järjestelmässä. (Euroopan komissio 2000.)

Lokakuussa vuonna 2003 asetettiin EU:n parlamentin toimesta direktiivi kasvihuonekaasujen päästöoikeuksien kaupasta *Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC*. Tuossa direktiivissä säädettiin, että vuoden 2005 tammikuun 1. päivän jälkeen,



jokaisen jäsenvaltion oli varmistettava, ettei yksikään direktiivin lisäyksessä 1 mainittu toiminta aiheuta tuosta kyseisestä toiminnasta aiheutuvia päästöjä, jos sillä ei ole toimivaltaisen viranomaisen myöntämää lupaa. (EU 2003.)

### 3.2.2 Alku ja tavoitteet

Avaintekijänä EU:n ilmasto- ja energiapolitiikassa vuodesta 2005 lähtien on ollut asettaa hinta kasvihuonekaasupäästöille ja hyödyntää markkinoita tarpeellisten vähennysten tekemisessä. (Meadows ym. 2016, 26.) EU ETS oli tuolloin yksi suurimmista päästökauppajärjestelmistä, ja alussa sen alaisuuteen kuuluivat kaikki 27 jäsenmaata ja niistä noin 12 000 tuotantolaitosta. (Zhang & Wei 2010, 1805.) Vuonna 2008 sen alaisuuteen ovat liittyneet myös Norja, Islanti ja Liechtenstein, mutta vuoden 2020 lopussa Iso-Britannia lähti järjestelmästä Brexitin vuoksi. Iso-Britannialle tarjottiin mahdollisuutta pysyä mukana järjestelmässä EU:sta eroamisesta huolimatta, mutta sen hallitus päätti kuitenkin perustaa kokonaan oman kansallisen päästökauppajärjestelmänsä. (Reland & Overton 2021.)

Alussa EU ETS:n lyhyen aikavälin tavoitteena oli päästöjen vähennys 8 prosenttia vuoteen 2012 mennessä Kioton pöytäkirjan mukaisesti ja riittävänä pitkän aikavälin tavoitteena pidettiin päästöjen vähentämistä 70 prosentilla verrattaessa vuoden 1990 tasoon. Kioton pöytäkirja sai virallisen vahvistuksen samana vuonna kuin EU ETS astui voimaan eli vuonna 2005. EU ETS voidaan tällä hetkellä jakaa neljään vaiheeseen, joista ensimmäinen vaihe sisältää vuodet 2005–2007, toinen vuodet 2008–2012 ja kolmas vuodet 2013–2020 ja neljäs vuodet 2021–2030.

### 3.2.3 Kansallinen jakosuunnitelma (NAP)

EU ETS:n alussa tärkeässä asemassa olivat kansalliset jakosuunnitelmat (national allocation plan eli NAP). Jokaisen jäsenvaltion tuli suunnitella etukäteen ennen jokaisen vaiheen alkua, kuinka he tulisivat jakamaan heille myönnettyt päästöoikeudet. NAP:n tuli sisältää tarkasti kuinka paljon päästöoikeuksia jäsenvaltiot suunnittelivat kokonaisuudessaan jakavansa ja kuinka eri tuotantolaitosten välinen jako tulisi tapahtumaan. Kun NAP oli valmisteltu, se lähetettiin Euroopan komission tarkistettavaksi ja hyväksyttäväksi. Komissio pystyi hyväksymään NAP:n kokonaisuudessaan tai osittain, jolloin jäsenvaltion tuli muokata NAP:tä komission asettamien vaatimusten mukaisesti. Yhtenä vaihtoehtona oli myös NAP:n hylkääminen, jolloin jäsenvaltion tuli tehdä se

kokonaan uudestaan. Kun NAP oli hyväksytty, ei siihen voinut enää tehdä muutoksia ja jäsenvaltio sai ryhtyä toteuttamaan sitä käytännössä. (EU 2003.)

NAP:n luontiin säädettiin tarkat kriteerit. Samaisessa direktiivissä, jossa säädettiin itse päästöoikeuksien kaupassa, on artikla 9, jonka mukaan NAP:n tuli olla suunniteltu objektiivisten ja läpinäkyvien kriteerien mukaisesti, jotka mainitaan direktiivin lisäyksessä 3. Tähän lisäykseen kuuluu lukuisia asioita esimerkiksi NAP:n päästöoikeuksien kokonaismäärän asettaminen Kioton pöytäkirjan tavoitteiden mukaisesti ja NAP:ssa tuli mainita kaikki tuotantolaitokset, jotka kuuluivat EU ETS:n alaisuuteen sekä niille myönnettävät päästöoikeus määrät. (EU 2003.)

### 3.2.4 Vaiheet ja kehitys

EU ETS:n ensimmäinen vaihe käsitti vuodet 2005–2007. Tätä vaihetta kutsutaan myös pilottivaiheeksi, jonka aikana tarkoituksena oli oppia, miten päästökauppa tulisi harjoittaa sekä muodostaa päästöoikeudelle hinta. Lisäksi tavoitteena oli selvittää miten Kioton pöytäkirjassa asetettuihin tavoitteisiin tultaisiin pääsemään (Euroopan komissio 2021a) sekä kerätä varmistettua tietoa vuosittaisista päästöistä, jotta toisessa vaiheessa pystyttäisiin tarkemmin määrittämään kansalliset päästöjen ylärajat (Euroopan komissio 2008). Uuden järjestelmän käyttöönotto tarkoitti myös kokonaisuudessaan uuden valvonta- ja kontrollointijärjestelmän (measurement, reporting and verification MRV) luomista ilmansaasteille. Tuolloin päästökauppa käsitti pelkästään CO<sub>2</sub>-päästöt energian ja lämmön tuotannosta sekä energiaintensiivisiltä teollisuuden aloilta esimerkiksi raudan ja öljynjalostuksesta (Climate policy info hub 2021). Yhden päästöoikeuden määräksi asetettiin oikeus päästää ilmakehään yksi tonni hiilidioksidiekvivalenttipäästöjä (CO<sub>2</sub>-eq) (EU 2003). Jos yritys ei pystynyt luovuttamaan viimeistään määräpäivään mennessä riittävää määrää päästöoikeuksia, rangaistusmaksuksi määrättiin 40 euroa per ylimenevä hiilidioksidiekvivalenttitonni. (EU 2003.) Taustatiedon puuttumisen vuoksi ensimmäisen vaiheen aikana päästöoikeuksien kokonaismäärä ylitti todellisuudessa aiheutuneet päästöt. Tämän seurauksena vuonna 2007 päästöoikeuksien hinta laski lähelle nolaa. Tähän hinnan laskuun oli osasyllisenä myös *pankitus* mahdollisuuden puuttuminen eli ensimmäisen vaiheen aikana hankittuja oikeuksia ei voinut siirtää toiseen vaiheeseen. (Euroopan komissio 2021a.)

EU ETS:n toinen vaihe kesti viisi vuotta (2008–2012) eli se päättyi samana vuonna kuin Kioton pöytäkirjassa merkityt tavoitteet oli saavutettava. Koska ensimmäisen vaiheen

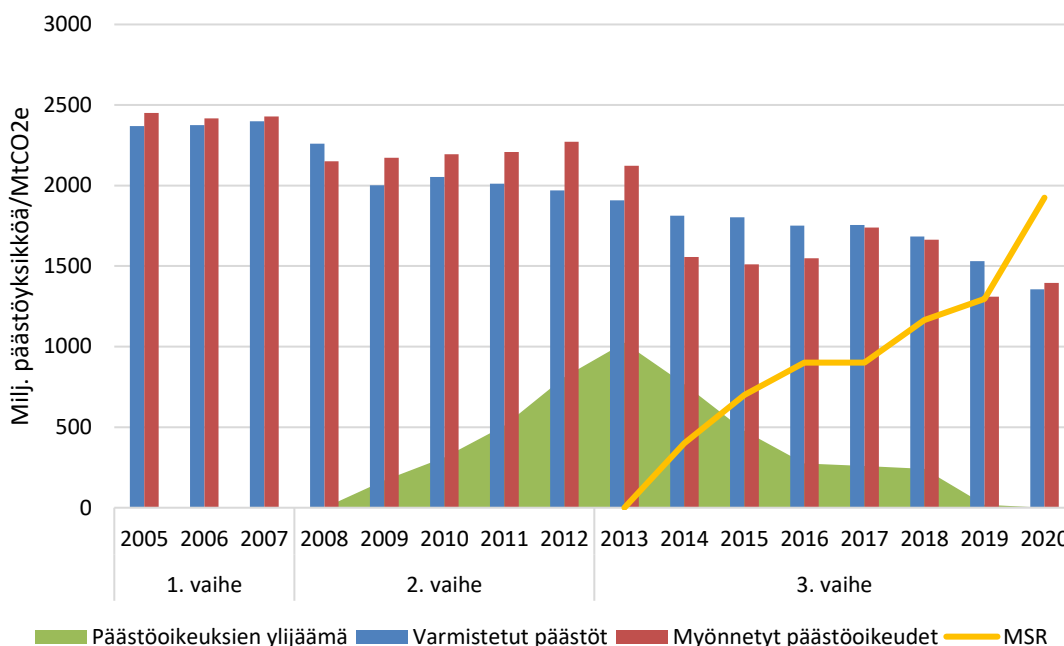
aikana oli vihdoin saatu kerättyä tietoa todellisista päästömääristä, toisen vaiheen päästöoikeuksien jaosta pystyttiin tekemään huomattavasti tiukemmat Kioton pöytäkirjan tavoitteiden saavuttamiseksi. Nyt kerätyn tiedon avulla pystyttiin oikeasti vähentämään todellisia päästömääriä ja Euroopan komissio päätti, että myönnettävien päästöoikeuksien kokonaismäärää laskettaisiin toisessa vaiheessa 6,5 prosenttia vuoden 2005 tasoon verrattuna. (Euroopan komissio 2008.) Nyt päästökauppaan kytkettiin hiilidioksidipäästöjen lisäksi myös dityppioksidipäästöt (N<sub>2</sub>O) typpihapon tuotannosta useissa maissa sekä vuoden 2012 alusta lähtien myös ilmailuala tuotiin EU ETS:n alaiseksi (lukuun ottamatta lentoja, jotka tulivat EU-alueen ulkopuolelta tai menivät EU-alueen ulkopuolelle). Ilmaiseksi jaettavien päästöoikeuksien määrä tippui noin 90 prosenttiin kokonaismäärästä ja rangaistusmaksu nostettiin 100 euroon per ylimenevä hiilidioksidiekvivalenttonni. (Euroopan komissio 2021a.) Toisen vaiheen aikana hyödynnettiin myös NAP:iden käyttöä päästöoikeuksien jakamisen suunnittelussa. Useat jäsenvaltiot olivat kuitenkin liian anteliaita ilmaisten päästöoikeuksien jakamisessa, mikä johti suuren ylijäämän muodostumiseen. Lisäksi *pankitus* mahdollisuus astui voimaan toisessa vaiheessa eli yritykset pystyivät siirtämään hankittuja päästöoikeuksia vaiheesta toiseen.

Kolmannessa vaiheessa (2013–2020) EU ETS:n koko viitekehystä muutettiin huomattavasti ensimmäiseen ja toiseen vaiheeseen verrattuna. Aiemmissä vaiheissa jäsenmaat loivat itsenäisesti NAP:t ja niiden perusteella muodostettiin EU:n kokonaispäästökatto. (Euroopan komissio 2021a.) Toisessa vaiheessa NAP:t ja niiden hyväksyminen aiheuttivat suuren epävarmuuden ja työmäärän (Euroopan komissio 2021b), joten päätöksenä oli ottaa käyttöön yksi koko EU:n laajuinen päästökatto, jonka pääasiallisena tavoitteena oli vuoden 2020 päästövähennystavoitteiden saavuttaminen. Päästöoikeuksien ylärajaa tulitaisiin vähentämään 1,74 prosenttia vuosittain, mikä johtaisi lopulta kokonaispäästöjen vähenemiseen 21 prosenttia vuonna 2020 verrattaessa vuoteen 2005. Toinen hyvin merkittävä muutos edellisiin vaiheisiin verrattuna oli päästöoikeuksien huutokauppaaminen. Aikaisemmin jäsenmaat muodostivat NAP:t ja jakoivat päästöoikeudet yrityksille ilmaiseksi, mutta vuodesta 2013 lähtien alkaisi päästöoikeuksien huutokauppa. Huutokauppa loisi vahvemman kannustimen yritykselle ryhtyä päästövähennystoimiin ennakoivasti, noudattaisi paremmin saastuttaja maksaa –periaatetta sekä lisäisi EU ETS:n tehokkuutta, läpinäkyvyyttä ja yksinkertaisuutta. Vuonna 2013 20 prosenttia päästöoikeuksista huutokaupattiin ja tavoitteena oli nostaa

määrä 70 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä. Tavoitteena on saavuttaa päästöoikeuksien 100 prosenttinen huutokauppa vuoteen 2027 mennessä. Euroopan komissio arvioi, että kolmannen vaiheen aikana noin 57 prosenttia päästöoikeuksien kokonaismäärästä huutokaupattiin ja se tuotti noin 57 miljardin euron tulot. Noin 78 prosenttia vuosien 2013–2019 välisenä aikana kerätyistä tuloista käytettiin ilmastoon ja energiaan liittyviin tarkoituksiin. (Euroopan komissio 2021c.) Kolmannessa vaiheessa hiilidioksidipäästöjen lisäksi EU ETS:n alaisuuteen otettiin kaksi uutta kasvihuonekaasua: dityppioksidi ( $N_2O$ , aikaisemmin vain typpihapon tuotannosta) ja perfluorihilivedyt (PFC). Lisäksi sen alaisuuteen tuotiin petrokemikaalien, ammoniakkin ja metallien tuotannot. (Aleluia 2018.)

Kokonaisuutena jo EU ETS:n alusta alkaen päästöt ovat siihen kuuluneilla sektoreilla laskeneet ylärajaa nopeammin. Vuosien 2005–2018 välissä päästöt laskivat 29 prosenttia vuoden 2005 tasosta, kun tavoite oli asetettu 21 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä. Ei voida kuitenkaan suoraan väittää, että päästöjen vähentyminen olisi johtunut päästökaupasta ja päästöoikeuden hinnasta. Muut päätökset uusiutuvien energialähteiden ja energiatehokkuuden käyttöönotosta sekä hiilivoiman käyttämisen lopettaminen ovat todennäköisesti edistäneet päästöjen vähenemistä. (Mellin ym. 2020.)

Jatkuvaan ylijäämään päätettiin puuttua ja tämän seurauksena syntyivät *back-loading* vuonna 2012 ja markkinoiden vakausreservi (market stability reserve MSR) vuonna 2015. Tarkoituksena oli puuttua päästöoikeuksien tarjontaan ja muuttaa huutokaupattavien oikeuksien määrää. *Back-loading* oli Euroopan komission päätös 900 miljoonan päästöoikeuden huutokaupan viivästyttämisestä vuosina 2014–2016. Lopulta ne kuitenkin päätettiin jättää kokonaan huutokauppaamatta ja siirtää MSR:n alle. MSR:n tarkoituksena on automaattisesti pidättää 12 prosenttia liikkeellä olevista päästöoikeuksista joka vuosi niin kauan kuin markkinoiden liikkeellä oleva päästöoikeuksien määrä on positiivinen eli jos päästöoikeuksien kokonaistarjonta ylittää kokonaiskysynnän vuoden 2008 jälkeen. Vuosien 2019–2023 välillä tarjonnan ylittäessä kysynnän, siirretään MSR:n alle 24 prosenttia liikkeellä olevista päästöoikeuksista. Pidätys tehdään huutokaupattavien päästöoikeuksien määrästä. Vuoden 2023 jälkeen se määrä MSR:ssä olevia päästöoikeuksia, joka ylittää edellisen vuoden huutokauppamäärän, poistetaan kokonaan järjestelmästä. Kuviossa 10 on nähtävillä vuosittain myönnettyt päästöoikeudet, vuosittaiset vahvistetut päästömäärät, muodostunut päästöoikeuksien ylijäämä sekä MSR:n alainen päästömäärä.



Kuvio 10 Päästömäärän, päästöoikeuksien, ylijäämän ja MSR:n kehitys vuosien 2005–2020 välillä (EEA 2022; Euroopan komissio 2021f)

Todellisuudessa ensimmäisen kerran päästöoikeuksia siirrettiin MSR:n alaiseksi vasta vuonna 2019, mutta kuviossa on tarkoitus havainnollistaa, miten se on kertynyt vuosien aikana jo ennen todellista siirtoa MSR:n alle.

### 3.2.5 Neljäs vaihe ja Fit for 55 –paketti

Vuoden 2021 heinäkuussa Euroopan komissio antoi ehdotuksensa vielä tiukemmista päästövähennystavoitteista. Sen mukaan päästöjenvähennys 40 prosenttia vuoteen 2030 mennessä verrattaessa vuoteen 1990 ei ole enää riittävä tavoite. Uudeksi tavoitteeksi on sen mukaan asetettava vähintään 55 prosentin vähennys vuoteen 2030 mennessä sekä saavuttaa ensimmäisenä maanosana täysi hiilineutraalius vuoteen 2050 mennessä. Tästä aloitepaketista komissio käyttää nimeä *Fit for 55*. (Euroopan komissio 2021d.) Tämä tavoite on komission mukaan linjassa Pariisin sopimuksen kanssa, jossa tavoitteeksi on asetettu ilmastonlämpenemisen pitäminen alle 2°C ja pyrkiä pitämään se 1.5°C (Euroopan komissio 2021e).

*Fit for 55* –paketti sisältää uudenlaisia ehdotuksia ja keinoja, minkä avulla asetetut tavoitteet pyritään saavuttamaan reilulla ja kilpailullisella tavalla (Euroopan komissio 2021d). *Fit for 55* sisältää seuraavat lainsäädännölliset ja poliittiset aloitteet (Euroopan komissio 2021e):

- EU ETS:n vahvistaminen ja kiristäminen, jotta tavoite 55 prosentin päästöjenvähentämisestä vuoteen 1990 verrattuna saavutetaan. Tämä tarkoittaa päästöoikeuskaton pienentämistä 2,2 prosenttia vuosittain vuodesta 2021 lähtien (Euroopan komissio 2021f).
- Varmistaa tehokas suoja aloille, joilla hiilivuodon riski on merkittävä ja samalla kannustaa vähähiilisten teknologioiden käyttöönottoon.
- Käsitellä tämän siirtymän aiheuttamia sosiaalisia vaikutuksia tarkistamalla huutokauppatulojen käyttökohteet sekä vähähiilisten rahoitusmekanismien koko ja toiminta.
- Varmistaa, että tällä hetkellä EU ETS:n alaisuuteen kuulumattomat alat osallistuvat kustannustehokkaasti vähennystavoitteiden saavuttamiseen. Tämä saavutetaan ottamalla mukaan päästöt merenkulusta, rakennuksista ja tieliikenteen kuljetuksista.
- Merenkulun CO<sub>2</sub> päästöjen MRV:n tarkistaminen, jotta se voidaan sitoa EU ETS:n alaiseksi.
- Tarkistaa, että MSR on linjassa lakisääteisten velvoitteiden mukaisesti ja tutkia mahdollisia muutoksia sen rakenteeseen.

*Fit for 55* –paketti on merirahdin kannalta merkittävä, koska siinä on neljä merenkulkua koskevaa aloitetta: merenkulun sitominen suoraan EU ETS:n alaisuuteen; FuelEU Maritime –aloite, jonka tavoite on vaihtoehtoisten ja uusiutuvien polttoaineiden käytön lisääminen; energiaverodirektiivin uudistus; ja vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluinfradirektiivi. Näistä selvästi merkittävin ehdotus, joka on myös tämän tutkielman keskiössä, on merirahdin liittäminen suoraan EU ETS:n alaisuuteen. Tämä tulisi koskemaan aluksia, joiden bruttovetoisuus on yli 5 000, riippumatta siitä minkä lipun alla ne kulkevat. Aluksi tulisi ottaa huomioon pelkästään alusten CO<sub>2</sub>-päästöt seuraavalla tavalla:

- 100 prosenttia päästöistä tulisi ottaa huomioon kuljetuksista, joissa lähtö- ja määräsatama ovat EU:n sisäpuolella.

- 50 prosenttia päästöistä otettaisiin huomioon kuljetuksista, joissa lähtö- tai määräsatama ovat EU:n ulkopuolella sekä päästöt, jotka aiheutuvat alusten ollessa satamassa EU:n sisäpuolella olevissa satamissa.

Näin EU ETS:n alaisuuteen tuotaisiin komission arvioin mukaan noin 2/3 Euroopan merenkulun päästöistä, mikä vastaa noin 90 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-päästöjä. Tavoitteena on kannustaa energiatehokkuuden ja vähähiilisten ratkaisuiden parantamiseen sekä vähentää kustannuksia vaihtoehtoisten polttoaineiden sekä perinteisten meripolttoaineiden välillä. Ehdotus perustuu muuta EU ETS:n aloja koskeviin säännöksiin sekä nykyiseen EU:n laivarahti MRV:hen, jonka mukaan laivanomistajien ja operoijien on määritettävä, raportoitava ja vahvistettava aluksistaan aiheutuvat CO<sub>2</sub>-päästöt vuosittain. MRV astui voimaan vuonna 2015 ja se koskee kaikki bruttovetoisuudeltaan yli 5 000 olevia aluksia, jotka käyvät EEA-alueen satamissa, joitain poikkeuksia lukuun ottamatta. CO<sub>2</sub>-päästöt tulee kirjata kaikilta matkoilta, joissa molemmat tai lähtö-/määräsatama ovat EEA-alueella, mukaan lukien satamassa aiheutuvat päästöt. Raportointi kattaa aluskohtaiset tiedot CO<sub>2</sub>-päästömääristä, polttoaineenkulutuksesta sekä muista parametreista kuten matkan pituudesta, kuljetetusta lastista ja merellä vietetystä ajasta. Käytännössä merenkulun asettaminen EU ETS:n alaisuuteen tarkoittaa sitä, että varustamojen tulisi ostaa ja luovuttaa päästöoikeuksia jokaista CO<sub>2</sub>-päästötonnia kohden. Sujuvan siirtymisen turvaamiseksi merirahdin yritysten tulisi aluksi luovuttaa päästöoikeuksia vain osasta päästöistään, mutta kolmen vuoden jälkeen määrän tulisi olla 100 prosenttia. Päätökseen sisällytetään raportointi- ja tarkastuslauseke merenkulkualan sääntöjen täytäntöönpanon seurantaan ja Kansainvälisen merenkulujärjestö IMO:n päätösten huomioon ottamiseen. Toinen merenkulun kannalta merkittävä *Fit for 55* -paketin ehdotus on FuelEU Maritime -aloite, jossa komissio ehdottaa vaihtoehtoisten vähähiilisten polttoaineiden käytön lisäämistä merenkulussa, jotta päästöt saataisiin vähenemään nopeammin. (Euroopan komissio 2021g.)

### 3.2.6 Päästöoikeuksien huutokauppa ja jälkimarkkinat

Kolmannessa vaiheessa lanseerattu päästöoikeuksien huutokauppa on yksi tärkeimmistä EU ETS:n toiminnoista. Se mahdollistaa päästöoikeuksien läpinäkyvän jakamisen sekä vahvistaa saastuttaja maksaa -periaatetta. EU:n jäsenmaiden sekä Islannin, Liechtensteinin sekä Norjan tulee huutokaupata päästöoikeutensa ETS direktiivin ja huutokauppasäännösten mukaisesti. Vuodesta 2021 lähtien Iso-Britannia ei ole enää osa

EU:ta, mutta EU ETS soveltuu vielä Pohjois-Irlannissa olevaan sähköntuotantoon. Siksi Iso-Britannian tulee vielä jatkossakin huutokaupata pieni määrä päästöoikeuksia.

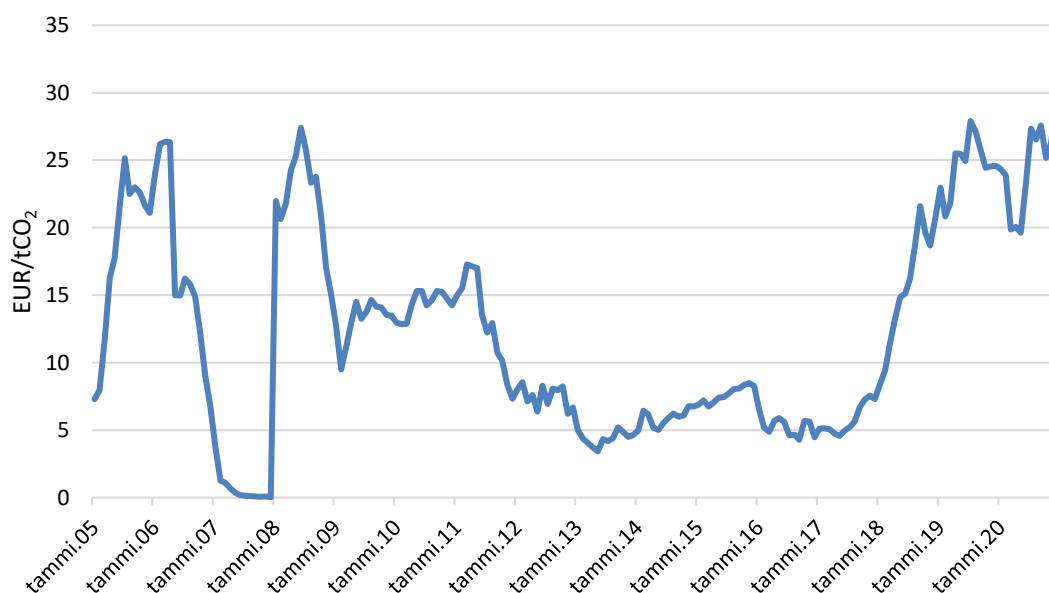
Päästöoikeuksien huutokauppa tapahtuu yhteisellä alustalla, joka on tällä hetkellä Leipzigissä sijaitseva European Energy Exchange (EEX). (Euroopan komissio 2021h.) Huutokaupan kohteita ovat EU general allowance eli EUA ja EU aviation allowance eli EUAA. Nimensä mukaisesti EUA:t ovat yleisiä päästöoikeuksia ja EUAA:t ovat ilmailualalle huutokaupattavia päästöoikeuksia. Yksi EUA (ja yksi EUAA) tarkoittaa oikeutta päästää ilmakehään yksi tonni CO<sub>2</sub>-eq-kaasuja. (EEX 2021.) Päästöoikeudet huutokaupataan joko kahden päivän spotteina (T3PA = 1 EUA ja SEME = 1 000 EUA) tai viiden päivän futuureina (FEUA = 1 000 EUA). Kahden päivän spotti tarkoittaa, että päästöoikeudet toimitetaan sovittuna päivänä, joka on viimeistään huutokauppapäivää seuraava päivä. Viiden päivän futuuri puolestaan tarkoittaa, että toimituksen tulee tapahtua viimeistään viidentenä kaupankäyntipäivänä huutokauppapäivästä. (Euroopan komissio 2021i.) Päästöoikeuksien huutokauppa pidetään joka viikko maanantaisin, tiistaisin ja torstaisin 25 jäsenmaalle sekä kolmelle EEA EFTA maalle. Päivittäin huutokaupattava volyyymi on ennalta määritelty ja jokaiselta valtiolta siihen osallistuu aina tietty prosenttimäärä päästöoikeuksia. (EEX 2021.) Huomion arvoista on, että Puola ja Saksa ovat erottaneet omat huutokauppansa yhteisestä alustasta ja niiden päästöoikeudet kaupataan siis erikseen. Saksa on jo vuodesta 2019 asti listannut EEX:n sen opt-out huutokauppapaikaksi eli Saksan päästöoikeudet kaupataan samalla alustalla joka perjantai, mutta erotettuina muista päästöoikeuksista. Myös Puola on tehnyt päätöksen erottaa päästöoikeuksiansa huutokauppa, mutta se ei ole maininnut korvaavaa huutokauppa-alustaa. Tästä syystä myös Puolan päästöoikeudet huutokaupataan erikseen samalla alustalla ja näiden huutokauppa käydään joka keskiviikko. (Euroopan komissio 2021c.) Huutokauppa on siis liikkeelle laskettavien päästöoikeuksien markkina, mutta päästökauppajärjestelmän onnistumisen kannalta tärkeässä asemassa on myös päästöoikeuksien jälkimarkkina. Näillä markkinoilla ne yritykset, jotka ovat ostaneet ylimääräisiä päästöoikeuksia, voivat myydä oikeutensa yrityksille, joilla niistä on pulaa.

### 3.2.7 Päästöoikeuden hintakehitys

Päästöoikeuden hinta on heitellyt rajusti sen historian aikana. Kuviossa 11 on havainnollistettu päästöoikeuden hintakehitystä vuosien 2005–2020 välillä. Kuviosta 11 voidaan selvästi havaita, miten päästöoikeuden hinta nousi vuoden 2005 aikana nopeasti,



mutta putosi räjähdysmäisesti melkein nolleen euroon vuoden 2007 loppuun mennessä. Suurin hintaan vaikuttanut tekijä oli se, että yrityksillä ei vielä tuolloin ollut oikeutta siirtää hankittuja päästöoikeuksia vaiheesta toiseen. Toisen vaiheen eli vuoden 2008 alussa päästöoikeus arvostettiin lähestulkoon samalle tasolle kuin ensimmäisen vaiheen huipussa, jonka jälkeen se laski koko vaiheen ajan lukuun ottamatta vuotta 2010 ja vuoden 2011 ensimmäistä puoliskoa, jolloin hinnassa tapahtui maltillista kasvua. Kolmannen vaiheen eli vuoden 2013 alussa hinta pysytteli tasaisena noin 5–10 euron välissä, kunnes tammikuun 2017 jälkeen trendissä on havaittavissa selvä muutos. Päästöoikeuden hinta kääntyi aluksi maltilliseen nousuun ja vuoden 2018 alun jälkeen kasvu on ollut äärimmäisen nopeaa.

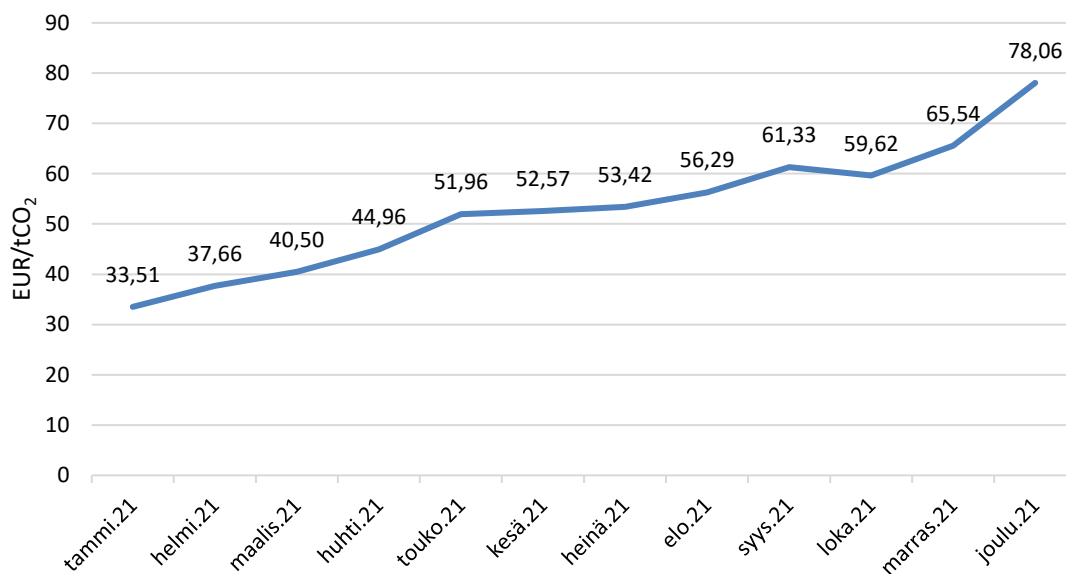


Kuvio 11 Päästöoikeuden hintakehitys (euroa per hiilidioksiditonni) vuosien 2005–2020 välillä (EEX 2021, Business insider 2021, EEA 2021)

Vuosien 2005–2012 välillä päästöoikeuden hinta perustuu jälkimarkkinoiden hintoihin kuukausittaisina keskiarvoina (lukuun ottamatta vuosia 2011 ja 2012, jolloin hinnaksi merkitty tiedon puuttumisen vuoksi kuukauden ensimmäisen päivän hinta). Vuodesta 2013 eteenpäin päästöoikeuden hinta laskettu T3PA-spottihinnan (T3PA = 1 EUA = 1 tCO<sub>2</sub>-eq) kuukausittaisena keskiarvona.

Kasvu ei ole pysähtynyt vuoden 2020 jälkeen. Kuviossa 12 on nähtävillä päästöoikeuden kuukausittainen hintakehitys vuoden 2021 aikana. Päästöoikeuden hinta on noussut melkein joka kuukausi ja etenkin loppuvuodesta kasvu on ollut todella rajua. Päästöoikeuden hinta 6.12.2021 järjestettävässä huutokaupassa oli tasan 80 euroa, mikä on noin kolmekertaa suurempi kuin vuosien 2006 ja 2008 aikana saavutetut huippuhinnat. Viimeaikainen hintakehitys on yllättänyt todella monet esimerkiksi huhtikuussa 2021

analytiikot arvioivat vuoden 2021 päästöhinnan keskiarvon olevan 46,28 euroa, vuonna 2022 55,67 euroa ja vuonna 2023 56,20 euroa (Reuters 2021a). Lokakuussa samaiset analytiikot arvioivat, että vuonna 2021 päästöhinnan keskiarvon olevan 55,88 euroa, vuonna 2022 69,87 euroa ja vuonna 2023 olevan 72,04 euroa. He uskovat hinnan nousun johtuvan Euroopan kaasun vertailuhinnan 140 prosenttisesta noususta vuoden 2021 heinä–syyskuun aikana. Tästä syystä joidenkin tuottajien on ollut taloudellisempaa polttaa hiiltä, joka tuottaa noin kaksinkertaisen määrän hiilidioksidipäästöjä kaasulaitoksiin verrattuna. Analytiikkojen mukaan päästöoikeuden hinta voi laskea, jos kaasun hinta laskee ja hiilen käyttö vähenee, mutta pidemmällä aikavälillä Euroopan komission ehdotus päästövähennystavoitteen kiristämisestä 55 prosenttiin aikaisemmasta 40 prosentista tulee rajoittamaan hinnan laskua. (Reuters 2021b.) Ennen kuin lopullinen päätös vähennystavoitteiden kiristämisestä tehdään, on vaikea sanoa, mille tasolle päästöoikeuden hinta tulevaisuudessa asettuu.



Kuvio 12 Päästöoikeuden kuukausittainen hintakehitys vuonna 2021 (EEX 2021)

Päästöoikeuden hinta laskettu T3PA-spottihinnan perusteella (T3PA = 1 EUA = 1 tCO<sub>2</sub>-eq) kuukausittaisena keskiarvona.

### 3.2.8 Päästökaupan soveltuminen merirahdille

Gu ym. (2019) tutkivat miten hyvin merenkulun omalla päästökauppajärjestelmällä voitaisiin vähentää merirahdista peräisin olevia päästöjä etenkin lyhyellä aikavälillä. Heidän tutkimuksessaan meren kulunpäästökauppa olisi toteutettu avoimen cap-and-trade -järjestelmän avulla, jossa päästöoikeudet hankittaisiin vapailta markkinoilta ja niitä

pitäisi luovuttaa vain tietyn alueen sisällä aiheutetuista päästöistä. Heidän mukaansa päästökauppajärjestelmällä on kahdenlaisia päästövähennystavoitteita: lyhyen ja pitkän aikavälin. Pidemmällä aikavälillä päästökaupalla, jossa on kohtuulliset päästökustannukset ja rajoitukset, on mahdollisuus tarjota varustamoille vahvoja kannustimia investoida teknologiseen muutokseen ja innovointiin, mikä voi auttaa niitä vähentämään merkittävästi alustensa CO<sub>2</sub>-päästöjä ja näin ollen säästää rahaa. Tällaiset päästövähennykset eivät kuitenkaan tapahdu hetkessä teknologisten läpimurtojen ja matalan kustannustehokkuuden takia verrattuna perinteisiin fossiilisten polttoaineiden järjestelmiin. Aluksen CO<sub>2</sub>-päästöjen määrä on suoraan verrannollinen sen polttoaineen kulutukseen, joka puolestaan on verrannollinen aluksen kulkunopeuteen. Lyhyellä aikavälillä varustamot voivat siis hidastaa alustensa kulkunopeutta vähentääkseen polttoaineen kulutusta, joka puolestaan vähentää päästö määrää ja näin ollen myös varustamon tarvitsemia päästöoikeuksia. Polttoaineen kulutus ja CO<sub>2</sub>-päästöjen määrä riippuu kuitenkin kulkunopeuden lisäksi myös reitistä. On myös muistettava, että päästöoikeuden hinta on vain yksi monista kulkunopeuteen ja reittiin liittyvistä tekijöistä. Näihin operationaalisiin päätöksiin vaikuttavat myös polttoaineen sekä rahdinkuljetuksen hinta. Näistä syistä on heidän mukaansa epävarmaa, voidaanko merenkulun omalla päästökaupalla saavuttaa päästövähennyksiä etenkin lyhyellä aikavälillä.

Gu ym. (2019) tekemän tutkimuksen keskeisimpänä tuloksena on, että merenkulun oma pääosin alueellinen päästökauppa ei itsestään takaa päästövähennyksiä lyhyellä aikavälillä. Heidän mukaansa se voisi mahdollisesti johtaa jopa tilanteeseen, jossa kansainvälisessä liikenteessä toimivan varustamon etujen mukaista olisi lisätä CO<sub>2</sub>-päästöjään. Näin voi tapahtua tilanteessa, jossa polttoaineen sekä rahdinkuljetuksen hinnat ovat alhaalla ja päästöoikeuden hinta on korkealla. Toisena havaintona on että, jos päästökaupalla on merkittävä vaikutus laivaston toimintaan, esimerkiksi normaalissa markkinatilanteessa, niin päästöoikeuden korkealla kustannuksella tai globaalilla kattavuudella on paras mahdollisuus päästöjen vähentämiseen. Kolmanneksi päästökaupan vaikutus CO<sub>2</sub>-päästöihin on vahvempi tilanteessa, jossa polttoaineen hinta on alhainen. Huomion arvoista on kuitenkin se, että heidän tutkimuksessaan on keskitytty kansainväliseen liikenteeseen, jossa alukset liikkuvat EU:n ulkopuolelle. Lisäksi he käsittelevät merenkulun omaa päästökauppaa. Tuloksia ei näin ollen siis voida suoraan verrata EU:n sisäiseen lähimerenkulkuun, joka on esimerkiksi Suomelle hyvin merkittävä osa-alue eikä *Fit for 55* -aloitepakettiin.

Miola ym. (2011) tutkivat puolestaan merenkulun sitomista EU ETS:n alaisuuteen. Heidän tutkimuksessaan tuodaan esiin esimerkiksi vähentämiskustannusten ongelmallisuus. IMO (2009) arvioi, että vähentämiskustannukset vaihtelevat negatiivista summista alhaisen arvion mukaan 80 yhdysvaltaindollariin (56 euroon) ja korkean arvion mukaan 140 yhdysvaltaindollariin (98 euroon) per vähennetty CO<sub>2</sub>-tonni. Keskimääräiset vähennyksen rajakustannukset kaikkien EU ETS:ään osallistuvien toimijoiden kesken arvioitiin tuolloin olevan 20 euroa. Päästöoikeuden hinta todellisuudessa myös pyöri tuolloin noin 20 eurossa. Näin ollen merenkulun suhteellisten korkeiden päästöjen vähentämiskustannusten vuoksi sen odotetaan tulevan päästöoikeuksien netto-ostajaksi. Kuitenkin kohtuullinen määrä päästövähennyksiä voidaan tälläkin päästöoikeuden hinnalla saavuttaa kustannustehokkaasti. Lisäksi IMO (2009) havaitsi, että joillain olemassa olevilla keinoilla on jopa negatiivinen kustannustehokkuus eli ne ovat kannattavia, vaikka päästöoikeuden hinta olisi nolla.

Miolan ym. (2011) tutkimuksessa tuotiin esiin EU ETS:n soveltuvuus merenkulkuun neljän osatekijän avulla. Nämä neljä osatekijää ovat päästöoikeuksien jako, transaktiokustannukset, syntyneiden päästöjen jako maiden välillä ja maantieteellinen laajuus. Päästöoikeuksien kohdalla he mainitsevat, että johtuen alusten koon, tyypin ja käytön suuresta variaatiosta, täytyy huolellisesti valita, miten oikeudet jaetaan toimijoille. He tuovat esiin kolme vaihtoehtoa: *grandfathering* perusten historialliseen tietoon, *grandfathering* perustuen benchmark-lähestymistapaan ja huutokaupan. *Grandfatheringilla* tarkoitetaan voimassa olevien sääntöjen jatkamista uuden säännön tullessa voimaan. Historialliseen tietoon perustuvan *grandfatheringin* kohdalla vuoden aikana tehty matka on kriittinen ja se on heidän mukaansa järjestelmänä epäluotettava. Alukset, jotka kulkevat enemmän vertausvuonna kuin kuluvana vuonna ovat etulyöntiasemassa aluksiin, jotka kulkevat enemmän kuluvana vuonna kuin vertausvuonna. Tämä olisi haastavaa etenkin hakurahtiliikenteelle, jolle on hyvin ominaista epäsäännöllinen kuljetustoiminta. Benchmark-lähestymistavan mukainen *grandfathering*-järjestelmä on puolestaan haastava toteuttaa tasapuolisesti rahtimuotojen välillä. Oikeuksien huutokauppa asettaa vastuun päästöoikeuksien allokoinnista alalle itselleen, mutta huutokauppoja olisi järjestettävä riittävän usein, johtuen joidenkin rahtimuotojen suuresta vaihtelusta. Lisäksi he mainitsevat mahdollisen hiilivuodon syntymisen, mikä aiheutuu riittämättömästä alueellisesta, alallisesta tai kasvihuonekaasullisesta kattavuudesta. Transaktiokustannusten puolesta he mainitsevat

pienille yrityksille mahdollisesti aiheutuvat suuret kustannukset MRV:n harjoittamisesta. Transaktiokustannusten nähtiin olevan jopa 40 kertaa suurempi pienille kuin suurille yrityksille.

Miolan ym. (2011) mukaan, jotta merenkulku voitaisiin sisällyttää EU:n päästökauppaan, tulee siinä ottaa huomioon, miten laivoista syntyvät päästöt jaetaan jäsenmaiden kesken. Heidän tutkimuksensa aikaan käytössä olivat vielä NAP:t. Lisäksi laivat vaihtavat usein seilauksen alaista lippumaataan. Jo vuonna 1996 UNFCCC valitsi kahdeksan päästöjen jakovaihtoehtoa, mutta parhaimman vaihtoehdon valinta on hidasta johtuen siitä, että jokainen vaihtoehto on aina epäedullinen jollekin jäsenmaalle. Vaihtoehtoinen tapa on sisällyttää merenkulku EU ETS:ään erillisenä ja aluksesta itsestään voitaisiin tehdä vastuullinen taho riippumatta lipusta, jonka alla se purjehtii. Tällöin laiva voisi saapua EU ETS:n alaiseen satamaan vain, jos sillä on näyttää asiakirjat siitä, että sen päästöt on katettu päästöoikeuksilla.

Neljäs Miolan ym. (2011) mainitsema tekijä on maantieteellisen laajuuden päättäminen. Laivat ovat määritelmänsä mukaisesti helposti siirrettävissä, joten ne voivat alentaa kustannuksiaan välttämällä Euroopan satamia, meriä tai polttoainemyyjiä, mikä johtaa tehottomaan ympäristöpolitiikkaan sekä Euroopan talouden ja etenkin merenkulkyritysten kilpailukyvyn heikkenemiseen. Käytössä olevat vaihtoehdot olisivat reittiperusteinen, aikaperusteinen ja maantiedeperusteinen järjestelmä. Reittiperusteinen järjestelmä voisi kattaa päästöt Euroopan satamiin saapuvista aluksista, niistä lähtevistä aluksista tai molemmista. Tämä voisi kuitenkin aiheuttaa toimintaa, jossa ei-EU:n alaisia satamia ryhdyttäisiin suosimaan. Yksi vaihtoehto olisi ottaa mukaan vain EU:n sisäinen kuljetusliikenne, mutta tämä vähentää ympäristöllistä tehokkuutta sekä päästökaupan alaisia kasviuonekaasupäästöjä. Aikaperusteinen järjestelmä kattaisi kaikki käytetystä polttoaineesta aiheutuvat kasviuonepäästöt, jotka aiheutuvat tietyn ajanjakson aikana ennen eurooppalaisessa satamassa käymistä. Tässäkin ongelmaksi muodostuu mahdollinen EU:n satamien välttely. Kolmas vaihtoehto eli maantieteellinen järjestelmä tarkoittaa, että päästöt jonkin tietyn alueen sisällä lasketaan mukaan. Tämä voi kuitenkin johtaa tiettyjen alueiden välttelyyn, joka puolestaan vähentää ympäristötoimien tehokkuutta.

Miolan ym. (2011) mukaan merenkulun sisällyttäminen EU:n päästökaupan alaisuuteen luo siis kaksi pääongelmaa, jotka johtuvat sen alueellisuudesta. Nämä ongelmat ovat

kuljetuspäästöjen jako maittain ja hiilivuodon välttäminen. Teoreettisesti nämä ongelmat voitaisiin välttää globaalin järjestelmän avulla. Globaalissa järjestelmässä ei tarvittaisi päästöoikeuksien jakoa ja maailman laajuisen kattavuuden takia alukset eivät voisi välttää tiukemman säännöstelyn alueita. Näiden pääongelmien lisäksi on olemassa hallinnollisia vaikeuksia, jotka liittyvät laivatyyppien, koon ja käytön suureen vaihteluun. Nämä voitaisiin kuitenkin ratkaista käyttämällä polttoaineen kulutusta päästölaskelmien perustana. Shi (2016) kuitenkin huomauttaa, että vaikka markkinaperusteiset menetelmät kuten päästökauppa saavat jatkuvasti enemmän huomiota mahdollisena kansainvälisen merenkulun kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen järjestelmänä, kohtaa se silti vielä vastustusta joiltain kehittyviltä mailta sekä keskeisiltä sidosryhmiltä. Pääosin vastustus johtuu markkinaperusteisten menetelmien epävarmuudesta ja niiden taloudellisesta vaikutuksesta, IMO:n kyvyttömyydestä säännellä markkinaperusteisia järjestelmiä ja CBDR-periaatteen puutoksesta, jonka mukaan kehittyneillä mailla olisi oltava suurempi vastuu ympäristöongelmien ratkaisemisessa.

## 4 Merenkulun päästöt ja päästövähennyskeinot

### 4.1 Merenkulun päästöt

#### 4.1.1 Merenkulun kasvihuonekaasut

Aluksista syntyvät päästöt, johtuvat pääsääntöisesti aluksen moottorissa tapahtuvasta polttoaineen palamisesta. Merenkulussa päästöjen syntyminen voidaan jakaa kahteen osaan eli päämoottoreina käytettävistä moottoreista syntyviin päästöihin, joiden tarkoitus on liikuttaa alusta ja apumoottoreista syntyviin päästöihin, joita käytetään sähkön ja palveluiden tuottamiseen aluksen sisällä. Tämän jaottelun lisäksi päästöjen syntyminen voidaan jakaa vielä yksityiskohtaisemmin palamisprosessista aiheutuviin päästöihin ja itse polttoaineesta johtuviin päästöihin. Palamisprosessista syntyviä päästöjä ovat hiilimonoksidi (CO), haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC), pienhiukkaset (PM), johon luetaan myös mustahiili (BC) ja typen oksidit (NO<sub>x</sub>). Itse polttoaineesta johtuvat päästöt ovat hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), rikkioksidit (SO<sub>x</sub>), polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH), raskasmetallit ja lisäpienhiukkaset (pääosin sulfaateista johdetut). (EMEP/EEA 2020, 7–8.) Tässä tutkimuksessa keskipisteenä on CO<sub>2</sub>-päästöt ja tämän seurauksena siis polttoaine ja sen kulutuksen merkitys. Lisäksi huomioon tulee ottaa metaani (CH<sub>4</sub>), joka on yksi pahimmista kasvihuonekaasuista. Metaanipäästöjen riski liittyy vahvasti LNG:n (liquefied natural gas) käyttöön alusten polttoaineena, sillä 90 prosenttia siitä on metaania.

CO<sub>2</sub> eli hiilidioksidi on luonnollinen osa maan ilmakehää ja se on välttämätön edellytys kasvien fotosynteesille. Sitä pääsee ilmakehään sekä luonnollisesti että ihmisten toiminnan seurauksena. Hiilidioksidia syntyy hiilipitoisten aineiden palamistuotteena ja sen luonnollisia lähteitä ovat esimerkiksi soluhengitys sekä palaminen. Kasvit puolestaan sitovat ilmakehän hiilidioksidia yhteyttämisprosessissa, jonka avulla se tuottaa itselleen energiaa. (Wikipedia 2021; EPA 2021.) Vaikka hiilidioksidi onkin luonnollinen ja elintärkeä osa ilmakehää, ihmisten aiheuttamat CO<sub>2</sub>-päästöt ovat kuitenkin aiheuttaneet tilanteen, jossa hiilidioksidia vapautuu enemmän kuin mitä ilmakehästä sitoutuu. Hiilidioksidi on määrältään suurin ihmistoiminnan tuottama kasvihuonekaasu ja sillä on merkittävä ilmasto lämmittävä vaikutus, mikä johtuu sen ominaisuudesta päästää näkyvä valo lävitseen, mutta absorboida voimakkaasti lämpösäteilyä. Lisäksi se säilyy hyvin pitkään ilmakehässä. (Wikipedia 2021.) Suurin ihmistoiminnan seurauksena syntyvien

hiilidioksidipäästöjen lähde on fossiilisten polttoaineiden eli hiilen, maakaasun ja öljyn polttaminen. Suurimmat hiilidioksidipäästöjen lähteet ovat kuljetus ja liikenne, sähköntuotanto sekä teollisuus. (EPA 2021.)

#### 4.1.2 Merenkulusta syntyneiden päästöjen määrä

IMO:n neljännen kasvuhuonekaasuraportin mukaan merenkulun osuus maailman ihmisperäisistä päästöistä on suhteellisen pieni. Vuonna 2012 osuus oli 2,76 prosenttia ja vuonna 2018 määrä oli 2,89 prosenttia. Vaikka päästöjen osuus on pieni, on raportin mukaan merenkulun kasvihuonekaasujen (hiilidioksidi, metaani ja dityppioksidi) kokonaismäärä noussut vuosien 2012–2018 välillä. Vuonna 2012 merenkulun kokonaispäästöjen määrä oli 977 miljoonaa tonnia ja vuonna 2018 päästöjä mitattiin 1 076 miljoonaa tonnia, mikä tarkoittaa päästöjen kasvua 9,6 prosenttia. Hiilidioksidipäästöjen osuus merenkulun kokonaispäästöistä vuonna 2012 oli 962 miljoonaa tonnia, kun taas vuonna määrä oli 1 056 miljoonaa tonnia. Tämä tarkoittaa hiilidioksidipäästöjen kasvua 9,3 prosenttia tällä aikavälillä. (IMO 2020.) Taulukossa 9 on havainnollistettu kokonaisuudessaan maailman ihmisperäisten ja merenkulun hiilidioksidipäästöjen kehitystä.

Taulukko 9 Kansainvälisen merenkulun CO<sub>2</sub>-päästöjen kehitys vuosien 2012–2018 välillä (IMO 2020)

Vuosi	Ihmisperäiset CO <sub>2</sub> -päästöt (milj.t.)	Merenkulun CO <sub>2</sub> -päästöt (milj.t.)	Osuus
2012	34 793	962	2,76 %
2013	34 959	957	2,74 %
2014	35 225	964	2,74 %
2015	35 239	991	2,81 %
2016	35 380	1 026	2,90 %
2017	35 810	1 064	2,97 %
2018	36 573	1 056	2,89 %

IMO:n (2020) raportin mukaan merenkulun hiili-intensiteetti on kuitenkin parantunut vuosien 2012–2018 välillä kansainvälisessä merenkulussa yleisesti kuten myös useimmissa alustyypeissä. Kokonaishiili-intensiteetti oli kansainvälisen merenkulun keskiarvona 21 ja 29 prosenttia parempi kuin vuonna 2008 AER:n ja EEOI:n avulla mitattuna päästöjen matkaperusteisessa allokoinnissa. Alusperusteisessa allokaatiossa vastaavat arvot olivat 22 ja 32 prosenttia. Hiili-intensiteetin kehittyminen



kansainvälisessä merenkulussa ei ole kuitenkaan kehittynyt lineaarisesti ja suurin kehitys on tapahtunut ennen vuotta 2012. Hiili-intensiteetin parannus on hidastunut vuoden 2015 jälkeen 1–2 prosentin vuosittaiselle keskiarvolle. Taulukossa 10 on havainnollistettu hiili-intensiteetin kehitystä kansainvälisessä merenkulussa vuonna 2008 ja vuosien 2012–2018 välillä verrattuna vuoteen 2008.

Taulukko 10 Arvio kansainvälisen merenkulun hiili-intensiteetin kehityksestä (IMO 2020)

Vuosi	AER (gCO <sub>2</sub> /dwt/nm)				EEOI (gCO <sub>2</sub> /t/nm)			
	Alusperusteinen		Matkaperusteinen		Alusperusteinen		Matkaperusteinen	
2008	8,08	-	7,40	-	17,10	-	15,16	-
2012	7,06	-12,7 %	6,61	-10,7 %	13,16	-23,1 %	12,19	-19,6 %
2013	6,89	-14,8 %	6,40	-13,5 %	12,87	-24,7 %	11,83	-22,0 %
2014	6,71	-16,9 %	6,20	-16,1 %	12,34	-27,9 %	11,29	-25,6 %
2015	6,64	-17,8 %	6,15	-16,9 %	12,33	-27,9 %	11,30	-25,5 %
2016	6,58	-18,6 %	6,09	-17,7 %	12,22	-28,6 %	11,21	-26,1 %
2017	6,43	-20,4 %	5,96	-19,5 %	11,87	-30,6 %	10,88	-28,2 %
2018	6,31	-22,0 %	5,84	-21,0 %	11,67	-31,8 %	10,70	-29,4 %

Ro-ro ja ro-pax-alusten osuus maailman kauppalaivastosta on suhteellisen pieni kuten luvussa 2.3 tuotiin ilmi. Tämä tarkoittaa luonnollisesti sitä, että myös niiden osuus päästöistä on varsin pieni. Taulukossa 11 on luokiteltu ro-ro-alukset kantavuuden (dwt) ja ro-pax-alukset bruttovetoisuuden (gt) mukaan erikokoisiin luokkiin ja merkitty niiden aiheuttamat kokonais- ja CO<sub>2</sub>-päästö määrät sekä CO<sub>2</sub>-päästöjen osuus kokonaisCO<sub>2</sub>-päästöistä vuonna 2018. Taulukosta voidaan havaita, että ro-ro-alusten kokonaispäästö määrä oli yhteensä 20,9 miljoonaa tonnia, joista hiilidioksidipäästöjen määrä oli 20,5 miljoonaa tonnia. Ro-ro-alusten osuus hiilidioksidipäästöistä oli vain 1,94 prosenttia. Vastaavat määrät ro-pax-alusten kohdalla olivat 37,4 ja 36,7 ja osuus 3,74 prosenttia.

Taulukko 11 Ro-ro ja ro-pax-alusten päästöt ja osuudet kokoluokittain vuonna 2018 (IMO 2020)

Alustyyppi	Kokoluokka (dwt/gt)	Kasvihuonekaasu-päästöt (milj.t.CO <sub>2</sub> -eq)	Hiilidioksidipäästöt (milj.t.CO <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub> -päästöjen osuus
Kaikki alukset	-	1076,7	1056,5	100 %
Ro-ro	0–4 999	6,8	6,7	0,62 %
	5 000–9 999	5,0	4,9	0,46 %
	10 000–14 999	5,3	5,2	0,48 %
	15 000 +	3,8	3,7	0,34 %

Alustyyppi	Kokoluokka (dwt/gt)	Kasvihuonekaasu-päästöt (milj.t.CO <sub>2</sub> -eq)	Hiilidioksidi-päästöt (milj.t.CO <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub> -päästöjen osuus
<b>Ro-ro yht.</b>	-	20,9	20,5	1,94 %
<b>Ro-pax</b>	0–1 999	5,7	5,6	0,52 %
	2 000–4 999	3,5	3,5	0,33 %
	5 000–9 999	3,5	3,4	0,32 %
	10 000–19 999	7,6	7,5	0,70 %
	20 000 +	17,1	16,7	1,55 %
<b>Ro-pax yht.</b>	-	37,4	36,7	3,47 %

Mellin ym. (2020) toivat tutkimuksessaan esiin, miten päästöt ovat jakautuneet EU:n MRV:n piirissä tapahtuvassa merenkulussa. Taulukossa 12 on havainnollistettu, paljonko päästöjä syntyy kokonaisuudessaan, niiden prosentuaaliset osuudet sekä energian kulutus kuljetusyksikköä kohden. Tulokset ovat samankaltaiset kuin IMO:n (2020) raportissa esitetyt. Ro-ro-liikenteen osuus on Mellinin ym. (2020) tutkimuksen mukaan vain 6,5 prosenttia CO<sub>2</sub>:n kokonaispäästöistä.

Taulukko 12 Merenkulun eri alustyyppien MRV:ssä raportoidut päästöt (Mellin ym. 2020)

Alustyyppi	Kokonaispäästöt (milj.t.CO <sub>2</sub> )	Osuus kokonaispäästöistä	Energian kulutus kuljetusyksikköä kohden (gCO <sub>2</sub> /t-NM)
<b>Bulk</b>	18,1	19,5 %	8,48
<b>Kontti</b>	44,4	47,8 %	20,13
<b>Kuivalasti</b>	6,13	6,6 %	28,02
<b>Säiliö</b>	18,1	19,5 %	8,82
<b>Ro-ro</b>	6,06	6,5 %	91,03

Niin maailmanlaajuisten kuin EU:n MRV:ssä raportoitujen kokonaispäästöjen avulla mietittäessä ro-ro ja ro-pax-alusten ei voida sanoa olevan kovinkaan merkittäviä tekijöitä merenkulun kokonaispäästöistä. Syy, miksi tässä tutkielmassa on kuitenkin valittu tarkastelun kohteeksi juuri ro-ro ja ro-pax-alukset ei johdu pelkästään niiden merkityksestä Suomen ulkomaankaupalle, vaan myös niiden todella suuresta energiankulutuksesta kuljetusyksikköä kohden. Mellin ym. (2020) mukaan ro-ro-alusten keskimääräinen energiankulutus on jopa 91,03 gCO<sub>2</sub>/tonni-NM. Tämä tarkoittaa, että ero toiseksi suurimpaan alustyyppiin eli kuivalastialuksiin on yli kolminkertainen.

Koska ro-ro-liikenteen energiankulutus kuljetusyksikköä kohden on todella suuri verrattuna muihin alustyyppihin, tulisi päästökaupan taloudellinen rasitus olemaan

huomattavasti merkittävämpi tälle liikennemuodolle (Mellin ym. 2020). Solakivi ym. (2020) mukaan olennaista olisi, että näiden alustyyppien erityispiirre arvon ja tilavuuden eikä niinkään painon kuljettajina tulisi ottaa huomioon päästökaupassa. Tämänhetkisessä Euroopan komission ehdotuksessa merenkulun liittämistä EU ETS:n alaisuuteen ei kuitenkaan ole listattu mitään erityisehtoja ro-ro-liikenteelle, vaan ne joutuvat vastaamaan päästöistään samalla tavalla kuin muut alustyyppit. Solakivi ym. (2020) arvion mukaan päästöoikeuden hinnan ollessa 80 USD/EUA, kallistuisivat Itämeren ja Suomen liikenteen ro-ro-kuljetukset 34 prosenttia, mitä voidaan pitää jo merkittävänä kasvuna. Joulukuun 2021 alussa päästöoikeuden hinta oli vielä tuotakin hintaa korkeampi (80 € ~ 90 \$), joten vaikutus ro-ro-liikenteeseen tulisi nykyisellä päästöoikeuden hintatasolla olemaan vieläkin merkittävämpi.

## **4.2 Merenkulun polttoaineet**

### **4.2.1 Käytössä olevat polttoaineet**

Merenkulussa käytetään useita erilaisia polttoaineita ja polttoainevalinta liittyy vahvasti käytettävään moottoriin ja sen nopeuteen. Vuonna 2010 dieselmoottorien osuus alusten voimantuotannossa oli noin 99 prosenttia koko maailman laivastosta. Mitä korkeampi on moottorinkampiakselin pyörimistaajuus eli mitä enemmän kierroksia se tekee minuutissa, sitä korkeammat vaatimukset polttoaineelle. Tämän selityksenä on se, että pyörimistiheyden kasvaessa seoksen muodostumisen ja polttoaineen palamisprosessin aika lyhenee. Hitaissa ja keskinopeissa dieselmoottoreissa käytetään pääosin raskaampia ja ”likaisempia” polttoaineita, joiden viskositeetin (nesteen tai kaasun kyky vastustaa virtausta) ja epäpuhtauksien laatuvaatimukset ovat alhaisemmat verrattaessa korkean pyörimisnopeuden dieselmoottoreihin. (Pahomov ym. 2004, Zamiatinan 2016 mukaan.)

Merenkulun polttoaineet voidaan jakaa kahteen pääluokkaan: tislepolttoaineisiin ja jäännöspolttoaineisiin. Jäännöspolttoöljy on mitä jää jäljelle, kun kaikki haihtuvat komponentit poistetaan raakaöljystä, joita ovat esimerkiksi diesel, bensiini ja kerosiini. Se siis ”likaisin” öljy mitä on olemassa. Tisle- ja jäännöspolttoaineita sekoitetaan usein keskenään, jonka avulla muodostetaan erilaatuisia polttoaineita. Näiden polttoaineiden laatuvaatimuksia on standardoinut jo pitkään Kansainvälinen standardointijärjestö ISO (International Organisation for Standardization). Ensimmäinen standardi luotiin vuonna 1978, jolloin julkaistiin ensimmäistä kertaa ISO 8217. Se on standardi, jossa määritellään

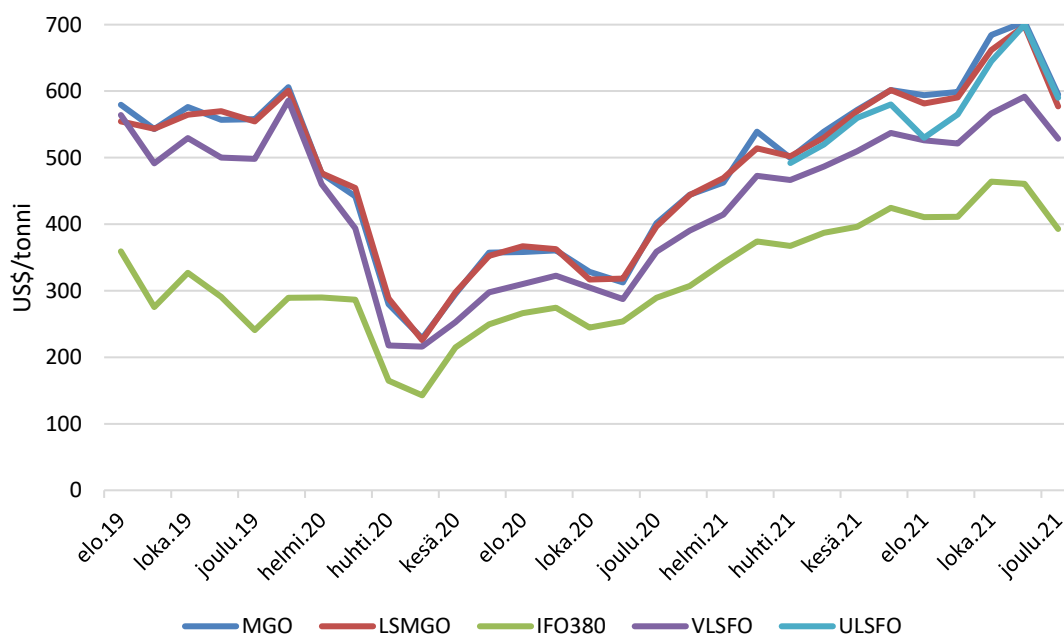
merenkulussa käytettävien polttoaineiden ominaisuudet ja se on jatkuvasti kehittynyt vuosien saatossa. Viimeisin tarkistus on tehty vuonna 2017 eli tällä hetkellä se on ISO 8217:2017. Siinä käytetään lyhennettä DM-, jossa D viittaa tisleeseen (distillate) ja M merenkulkuun (marine). Viivan paikalle tulee kirjain, joka määrittelee laadun (X, A, B tai D). Jäännöspolttoaineesta käytetään lyhenteitä RM-, jossa R viittaa jäännökseen (residual) ja M viittaa merenkulkuun. Näiden jälkeen viivan paikalle tulee taas laadun kirjain. Ostotarkoituksissa käytetään eri nimityksiä. Näitä ovat MGO (marine gas oil), MDO (marine diesel oil), IFO (intermediate fuel oil), MFO (medium fuel oil) ja HFO (heavy fuel oil) ja ne viittaavat erityyppisiin puhtaisiin tai sekoitettuihin öljyihin. Näistä HFO on puhdasta jäännösöljyä, MGO puhdasta kaasuöljyä ja muut sekoituksia. Huomion arvoista kuitenkin on, että vuonna 2020 IMO julkaisi, että merenkulussa käytettävien polttoaineiden rikkipitoisuus saa olla enää 0,5 prosenttia aikaisemman 3,5 prosentin sijaan. Tämä on aiheuttanut siirtymän edellä mainituista polttoaineista ja niiden sekoitteista vielä puhtaampiin polttoaineisiin. Tällä hetkellä käytössä ovat MGO; ULSFO (ultra low sulphur fuel oil), jonka rikkipitoisuus on 0,1 prosenttia; VLSFO (very low sulphur fuel oil), jossa rikkipitoisuus on 0,5 prosenttia; LNG; sekä vaihtoehtoiset polttoaineet, kuten biopolttoaineet, aurinkovoima ja metanoli. Polttoaineita, joiden rikkipitoisuus on yli 0,5 prosenttia, voidaan käyttää, jos alukseen on asennettu pakokaasujen puhdistusjärjestelmä eli ns. skrubberi. (Shell Marine 2021). On olemassa kahdenlaisia skrubbereita: märkiä ja kuvia. Märkiä skrubbereita pidetään hyväksyttävimpinä niiden matalan hinnan ja pienemmän koon takia. Märät skrubberit voidaan jakaa vielä kolmeen erityyppiseen teknologiaan: avoinkierto, joka käyttää puhdistamiseen merivettä; suljettukierto, joka käyttää puhdistamiseen makeaa vettä sekoitettuna natriumhydroksidiin; ja hybridi eli näiden kahden yhdistelmä. Itämeren alueella on pakollista käyttää suljetun kierron skrubbereita. (Panasiuk & Turkina 2015; Abadie ym. 2017.) Kuivat skrubberit hyödyntävät veden sijasta kemikaaleja puhdistusprosessissa (Bergqvist ym. 2015).

Edellä käytiin laajemmin läpi erilaisia vaihtoehtoja, joita maailmalla voidaan käyttää merenkulun polttoaineena. Kuitenkin vuonna 2015 IMO:n päätöksellä tiettyjen alueiden polttoaineiden rikkipitoisuus asetettiin 0,1 prosenttiin. Näistä alueista käytetään nimeä ECA-alueet (tai SECA-alueet). Tällä hetkellä näitä alueita ovat Itämeri, Pohjanmeri, Pohjois-Amerikan ECA, joka käsittää suurimman osan Yhdysvaltojen ja Kanadan rannikosta sekä Yhdysvaltain Karibianmeren ECA. Näillä alueilla voidaan käyttää

pelkästään polttoaineita, joiden rikkiarvo on korkeintaan 0,1 prosenttia. Jos alukseen on asennettu skrubberi, voidaan toki hyödyntää myös korkeamman rikkiarvoisuuden polttoaineita.

#### 4.2.2 Polttoaineiden hintakehitys

Kuten aikaisemmin luvussa 2.2.2 nähtiin, polttoaineiden merkitys ro-ro-alustyyppien päivittäisistä kustannuksista on merkittävä. Kuvioon 13 on merkittynä SECA-alueilla pääsääntöisesti käytettävien polttoaineiden hintakehitys elokuun 2019 ja joulukuun 2021 välillä. IFO380 on polttoaineista kaikkien ”likaisin” ja tonnihinnaltaan halvin, mutta sen käyttöön täytyy alukseen olla asennettuna skrubberi. Myös VLSFO:n ja MGO:n hyödyntäminen vaativat skrubbereita, mutta niiden tonnihinta on huomattavasti IFO380-polttoainetta korkeampi. LSMGO:n ja ULSFO:n hyödyntäminen ei vaadi skrubberia, mutta ne ovat tonnihinnaltaan kalliimpien joukossa.



Kuvio 13 SECA-alueella käytettävien polttoaineiden hintakehitys elokuun 2019 ja joulukuun 2021 välillä (Ship & Bunker 2021)

Hinnat merkittynä kuukauden ensimmäisen päivän hinnoilla Rotterdamissa. Hinta USD per tonni. ULSFO:n kehitys alkaa vasta huhtikuusta 2021 tiedon puuttumisen vuoksi.

### 4.3 Merenkulun päästöjen vähentäminen

#### 4.3.1 Olemassa olevat vähennysteknologiat ja keinot

Bouman ym. (2017) tutkivat laajasti merenkulun päästövähennyskeinoja ja teknologioita. He yhdistivät noin 150 tutkimusta yhteen ja näistä tutkimuksista 60 antoi määrällisiä arvioita CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämispotentiaaleista. He löysivät 22 erilaista päästövähennyskeinoa, jotka he ovat luokitelleet viiteen pääteemaan: rungon muotoiluun, voimansiirtoon ja propulsioon (järjestelmä, jolla tuotetaan työntövoimaa), vaihtoehtoihin polttoaineisiin, vaihtoehtoihin energialähteisiin ja operatiivisiin keinoihin. Pääluokat ja yksittäiset keinot sekä niiden vähennyspotentiaali on nähtävissä taulukosta 13.

Rungon muotoilun toimenpiteet keskittyvät ensisijaisesti mittakaavaetujen hyödyntämiseen sekä vastuksen vähentämiseen käytön aikana. Tulosten mukaan uusi rungon muotoilu voi vähentää CO<sub>2</sub>-päästöjä. Aluksen koon kasvattaminen vähentää päästöjä kuljetusyksikköä kohden ja rungon virtaviivaistaminen vähentää vastusta, joka puolestaan vähentää voimankulutusta ja siten myös päästöjä. Lisäksi rungon suorituskykyä voi parantaa entisestään kevyiden materiaalien (kuten komposiitin) hyödyntäminen sekä rungon pinnoitus ja voitelu. Näiden keinojen potentiaalit päästöjen vähentämiseen yksittäisinä toimenpiteinä ovat kuitenkin rajalliset. (Bouman ym. 2017, 413.)

Boumanin ym. (2017, 413) mukaan joissain heidän käsittelemissään tutkimuksissa voimansiirtoon ja propulsioon liittyy merkittävä päästöjen vähentämisen mahdollisuus, mutta keskimääräinen vähennyspotentiaali on kuitenkin suhteellisen pieni. Tähän liittyy vahvasti näiden toimenpiteiden haasteellisuus ja rajallisuus. Kaikkien optimaalisen toteutuksen edellytysten täyttäminen ja suurten päästövähennysten saavuttaminen ovat vielä haastavia nykyisille teknologialle. Tämän kategorian tavanomaisempien toimenpiteiden, kuten tehokkuutta lisäävien laitteiden osalta, tilanne on jo kehittynyt huomattavasti esimerkiksi Solakiven ym. (2020) mukaan suurimmalla osalla Suomeen liikennöivistä aluksista on säätösiipipotkuri, jonka on tarkoitus parantaa propulsioon energiatehokkuutta. On kuitenkin hyvin todennäköistä, että fyysisten rajojen lähestyessä, teknologian kehittyminen näillä osa-alueilla mahdollistaa enää vain marginaalisia päästövähennyksiä.

Suurin päästöjen vähentämisen potentiaali liittyy vaihtoehtoisiiin polttoaineisiin ja niiden sisällä etenkin biopolttoaineisiin ja niiden hyödyntämiseen. Biopolttoaineiden laajamittaisen käyttöönoton vaikutukset ovat kuitenkin paljon suuremmat kuin palamisprosessin aikana syntyvä CO<sub>2</sub>-kaasujen vähenemä. Biopolttoaineiden päästövähennyspotentiaaliin liittyy kaksi päätekijää. Ensinnäkin bioraaka-aine eroaa tyyppiltään ja laadultaan sekä sitä käsitellään eri tavoilla. Vähennyspotentiaalissa esiintyy vaihteluita esimerkiksi raaka-aineiden, prosessien, tehokkuuden muutosten takia. Toinen päätekijä liittyy tapaan, jolla vähennyspotentiaali lasketaan. Perinteisesti biologisesta lähteestä peräisin olevien päästöjen oletetaan olevan hiilineutraaleja, koska biopolttoaine on uusiutuvaa ja hiili kerätään talteen biomassan kasvun aikana. Hiilineutraaluisolettamus riippuu kuitenkin vahvasti lähdekasvien kiertoajoista, niiden sijainnista sekä sadonkorjuun aiheuttamista suorista ja epäsuorista muutoksista. Lisäksi biopolttoaineella on muitakin kuin ilmastoon liittyviä huolenaiheita, kuten kilpailu niukasta maa- alueressurssista. Ne tekevät biopolttoaineen vertailusta vain CO<sub>2</sub>-päästöjen suhteen liian yksinkertaisia. (Bouman ym. 2017, 413.)

Toinen esitelty vaihtoehtoinen polttoaine on LNG, mutta sen käyttöönotto voi johtaa suhteellisen suuriin päästöihin. Pääosin metaanista koostuvan LNG:n palamisprosessin aikana aiheuttamat CO<sub>2</sub>-päästöt ovat huomattavasti pienemmät kuin muiden fossiilisten polttoaineiden, mutta mahdollinen metaanin vuotaminen voi aiheuttaa haasteen, jota ei ole huomioitu taulukossa 13. Lisäksi on muistettava, että LNG on polttoaine, joka on pohjimmiltaan lähtöisin fossiilisesta lähteestä, joten sen hyödyntäminen johtaa CO<sub>2</sub>-päästöjen jatkumiseen. Keskittyminen pelkästään LNG:n hyödyntämiseen päästöjen vähentämiseksi voi vaarantaa alan lukkiutumisen CO<sub>2</sub>-päästöjä sisältävään infrastruktuuriin pitkällä aikavälillä. (Bouman 2017, 413.)

Boumanin ym. (2017, 413–414) listaamat vaihtoehtoisiiin energialähteisiin keskittyvät keinot nostavat esiin tuulivoiman hyödyntämisen korkean sekä aurinkovoiman matalan päästövähennyspotentiaalin. Purjeiden, leijojen ja aurinkokennojen käyttö ylimääräisten energialähteiden hyödyntämiseen riippuu paljon alustyyppistä. Tällaisten lähteiden hyödyntäminen on tehokkainta pienillä aluksilla tietyillä reiteillä, joilla aurinko on esillä runsaasti ja joilla on suuri tuulipotentiaali, koska näiden avulla tuotettava energian kokonaisuus määrää rajoittaa niiden tarvitsema pinta-ala aluksesta. *Cold ironing* eli maasähkön hyödyntäminen on prosessi, jossa rannalla sijaitsevaa sähköä annetaan laiturissa olevalle alukselle, kun sen pää- ja apumootorit on sammutettu. Sitä voidaan

hyödyntää aluskoosta riippumatta ja se voi vähentää merkittävästi paikallista saastumista etenkin maissa, joissa hyödynnetään puhtaita sähköyhdistelmiä. Kuitenkin merkittävä osa CO<sub>2</sub>-päästöistä tapahtuu matkan aikana, joten sen todellinen potentiaali päästövähennysten saavuttamiseksi on suhteellisen pieni. Myöskään polttokennojen hyödyntäminen voiman lisätuotannossa ei aiheuta suurta päästövähennyspotentiaalia. Tilanne olisi täysin eri, jos järjestelmä pystyttäisiin suunnittelemaan niin suurin osa voimasta tulisi polttokennoista. Polttokenno on sähkökemiallinen kenno, joka muuttaa polttoaineen (usein vedyn) ja hapettavan aineen (usein hapen) kemiallisen energian sähköksi parin hapetus-pelkistysreaktion avulla.

Operatiivisista keinoista merkittävin päästövähennyspotentiaali löytyy nopeuden optimoinnista, jonka avulla voidaan saavuttaa suuret vähennykset polttoaineen kulutuksessa ja näin ollen myös päästöjen syntymisessä. Kapasiteetin hyödyntämisellä on suhteellisen korkea mediaaniarvo, mutta vähäinen datamäärä lisää tähän keinoon liittyvää epävarmuutta päästöjen vähentämisen keinona. Samanlainen kohtalo on myös matkan optimointiin liittyvällä päästövähennyspotentiaalilla. (Bouman ym. 2017, 416.)

Vaikka Boumanin ym. (2017) tutkimus on kattavasti yhdistänyt tämänhetkisiä päästövähennyskeinoja ja niiden potentiaaleja, on syytä kuitenkin tuoda myös muita tutkimuksia esille. Eide ym. (2011) tutkivat päästövähennyskeinojen kustannustehokkuutta. He arvioivat erilaisten keinojen päästövähennyspotentiaalain rajakustannusta maailman kauppalaivastolle. Rajakustannuksella tarkoitetaan päästövähennyksen kustannusta yhtä CO<sub>2</sub>-tonnia kohden. Heidän mukaansa kustannustehokkaimpia päästövähennyskeinoja ovat operatiiviset keinot kuten nopeuden hidastaminen, matkan suunnittelu ja satamatoimintojen tehostaminen. Heidän mukaansa 20 USD:n rajakustannuksella päästövähennyspotentiaali olisi noin 35 prosenttia, 50 USD:n rajakustannuksella 44 prosenttia ja 100 USD:n rajakustannuksella 49 prosenttia verrattaessa vuoden 2011 tasoon. Heidän mallissaan otettiin huomioon hyvin laajasti monia tekijöitä, kuten polttoaineen hinta, diskonttokorko ja alusten romutusiän kehittyminen. Riippuen näistä tekijöistä 100 USD:n rajakustannuksella säästöpotentiaali voi olla 26 prosenttia pienempi tai 50 prosenttia suurempi. Mallissa suurin vaikutus on polttoaineen hinnalla, joka on oletettu olevan 350 USD/tonni, mutta kuten aikaisemmin kuvioista 4.2.2 nähtiin, polttoaineen hinnat ovat tällä hetkellä huomattavasti tätä korkeammat. Tämä tarkoittaa sitä, että päästövähennyspotentiaali on huomattavasti heidän arviotaan korkeampi. Polttoaineen hinnan lisäksi myös merenkulun markkinoilla



on vaikutus päästövähennyspotentiaaliin. Suurin osa heidän mainitsemistaan päästövähennyskeinoista liittyvät operatiiviseen toimintaan, joka on riippuvainen merenkulun markkinoista, joten kannattavuuden arvioinnissa tulisi ottaa huomioon myös maailmanlaajuinen markkinatilanne.

Taulukko 13 Merenkulun päästövähennyskeinot ja niiden vähennyspotentiaalien vaihteluväli (Bouman ym. 2017)

Keinon tyyppi	Menetelmä	Kuvaus	CO <sub>2</sub> -vähennys-potentiaali
<b>Rungon muotoilu</b>	Aluksen koko	Mittakaavaedut ja käyttöasteen parannus	4–83 %
	Rungon muotoilu	Muodon optimointi	2–30 %
	Kevyet materiaalit	Komposiittimateriaalit, kestävämpi teräs	0,1–22 %
	Ilmavoitelu		1–15 %
	Vastusta vähentävät laitteet	Muut asennettavat laitteet	2–15 %
	Painolastin vähennys	Aluksen muotoilun muuttaminen	0–10 %
	Rungon pinnoitus	Erilaiset pinnoitteet	1–10 %
<b>Voimansiirto ja propulsio</b>	Hybridi voimansiirto/propulsio	Hybridiapukoneet ja -propulsio	2–45 %
	Sähkö	Sähköinen energiantuotanto	1–35 %
	Propulsion tehokkuutta parantavat laitteet		1–25 %
	Hukkalämmön varastointi		1–20 %
	Aluksella tarvittavan energian tehostaminen		0,1–3 %
<b>Vaihtoehtoiset polttoaineet</b>	Biopolttoaineet		25–84 %
	LNG		5–30 %
<b>Vaihtoehtoiset energialähteet</b>	Tuulivoima	Purjeet/siivekkeet, leijat	1–50 %
	Polttokennot		2–20 %
	Maasähkö	Sähkön hyödyntäminen maalta aluksen ollessa satamassa	3–10 %
	Aurinkoenergia	Aurinkopaneelit	0,2–12 %
<b>Operatiiviset keinot</b>	Nopeuden optimointi		1–60 %
	Kapasiteetin käyttöasteen parantaminen		5–50 %
	Matkan optimointi	Sään mukainen reititys, reittisuunnittelu	0,1–48 %

Keinon tyyppi	Menetelmä	Kuvaus	CO <sub>2</sub> -vähennys-potentiaali
	Muut operationaaliset keinot	Syväyksen optimointi, huollon optimointi, energian käytön optimointi	1–10 %

#### 4.3.2 Vaihtoehtoiset polttoaineet

Vaihtoehtoisiin polttoaineisiin keskittyvää tutkimusta on tehty viime aikoina myös runsaasti. Balcombe ym. (2019) tutkivat merenkulun päästövähennyspotentiaalia sekä vaihtoehtoisten polttoaineiden merkitystä. Heidän tutkimuksensa mukaan LNG on paras vaihtoehto korvaamaan meridiesel (MDO) ja raskas polttoöljy (HFO), jos tarkastellaan pelkästään CO<sub>2</sub>-päästöjä. He kuitenkin huomauttavat Boumanin ym. (2017) tapaan metaanivuodon vaikutuksesta, joka pienentää LNG:n hyödyntämisellä saavutettavia kasvuhuonekaasupäästöjen vähentymistä. Lisäksi LNG:n avulla ei voida yksinään saavuttaa esimerkiksi IMO:n asettamaa 50 prosentin päästömäärän vähennystä vuoteen 2050 mennessä verrattaessa vuoden 2008 tasoon. LNG:n varastoiminen vaatii myös noin kaksi kertaa suuremman tilavuuden tavallisiin bunkkerisäiliöihin verrattuna sen tiheyseron vuoksi. Tämän vuoksi on teknisesti ja taloudellisesti järkevämpää suunnitella LNG-järjestelmiä etenkin uusien alusten rakentamisen yhteydessä eikä niinkään olemassa oleville aluksille.

Biopolttoaineilla on Balcomben ym. (2019) mukaan erinomainen potentiaali uusiutuvana energianlähteenä. Ne ovat kaupallisesti kannattavimpia käytettäessä niitä yhdessä muiden nestemäisten tai kaasumaisten polttoaineiden kanssa. Päästöt, kustannukset ja sovellettavuus vaihtelevat kuitenkin suuresti biopolttoaineiden välillä sekä kuljetusalan pitkäaikainen riippuvuus biopolttoaineista voivat haitata kestävän teollisuuden saavuttamista. He nostavat myös vedyn yhdeksi mahdolliseksi polttoaineeksi. Vedyn käyttäminen polttoaineena on vedyn päästöprofiilin ja joustavuuden takia hyvin suuri mahdollisuus saavuttaa suuriakin päästövähennyksiä. Se on kuitenkin ehdottomasti pidemmän aikavälin ratkaisu sen pääomavaltaisen infrastruktuurivaatimusten vuoksi, mutta se saattaa olla taloudellisesti järkevä ratkaisu suurille aluksille ja tietyille välimatkoille. Ydinvoima voisi poistaa hiilen merenkulusta, mutta se soveltuu pääosin aluksille, jotka tarvitsevat suuritiheyksistä energialähdettä pitkillä matkoilla. Lisäksi

ydinvoimaan liittyy turvallisuusongelmia, jotka todennäköisesti estävät sen hyödyntämisen kaupallisessa merenkulussa.

Perčić ym. (2020) tutkivat erilaisten vaihtoehtoisten polttoaineiden elinkaarikustannuksia sekä päästövähennyspotentiaalia SSS:ssä. Heidän tutkimuksensa mukaan täysin sähköllä liikkuva alus on kaikkein kustannustehokkain ja ympäristöystävällisin vaihtoehto korvaamaan dieselkäyttöisen aluksen. Sähköllä liikkuvan aluksen hiilijalanjälki on noin 50 prosenttia dieselillä käyvän aluksen hiilijalanjäljestä. Vaikutusta sillä, kykenikö alus kulkemaan edestakaisen matkan yhdellä latauksella vai pitikö se ladata aina yhden matkan jälkeen, ei heidän mukaansa ole. Huomion arvoista on se, että vaikka sähköllä toimivan aluksen voidaan luokitella olevan nollapäästöinen, aluksen todellinen hiilijalanjälki on suoraan riippuvainen sen maan energiayhdistelmästä, jossa aluksen akut ladataan. Lisäksi he havaitsivat, että uudistuvalla vedyllä käyvät alukset aiheuttivat heidän tutkimuksensa suurimmat päästöt. Suurin osa päästöistä liittyi aluksella olevaan vedyntuotantoon ja siinä tarvittavaan sähköntuotantoon. Jos tässä voidaan hyödyntää uusiutuvia energialähteitä kuten tuuli- tai aurinkovoimaa, voidaan päästöjen määrää vähentää ja näin ollen myös parantaa sen houkuttelevuutta. Tässä tutkimuksessa on kuitenkin keskitytty vertailemaan tilannetta uusien alusten rakentamisen kannalta. Olemassa olevan dieselkäyttöisen aluksen muuttaminen kokonaan sähköllä liikkuvaksi alukseksi ei ole taloudellisesti kannattava investointi.

Brynolf ym. (2014) vertailivat tutkimuksessaan neljän vaihtoehtoisen polttoaineen (LNG, maakaasusta tuotettu metanoli, nesteytetty biokaasu ja biometanoli) ympäristövaikutuksia niiden koko elinkaaren aikana. Heidän mukaansa siirtyminen LNG:n tai maakaasusta tuotetun metanolin käyttöön parantaisi huomattavasti merenkulun vaikutusta ympäristöön, mutta vaikutus itse ilmastonmuutokseen on kuitenkin samaa suuruusluokkaa kuin HFO:n käytöllä. Tämä johtuu siitä, että LNG:n ja maakaasusta tuotetun metanolin käyttö lisäävät metaanipäästöjen määrää samalla kun ne vähentävät hiilidioksidipäästöjä. Tähän on syynä aluksissa käytettävien kaasumoottoreiden metaanivuoto, joka käy ilmi myös Boumanin ym. (2017) ja Balcomben ym. (2019) tutkimuksista. Nesteytetyn biokaasun ympäristövaikutus riippuu paljolti sitä käyttävien kaasun- ja kaksoispolttoainemoottorien metaanivuodon laajuudesta. Biometanolin käyttö voi kuitenkin vähentää merenkulun vaikutusta niin ympäristöön kuin ilmastonmuutokseenkin. Tämä johtuu pääosin siitä, että biometanoli ei aiheuta metaanivuotoa. Lisäksi esimerkiksi nesteytetyn maakaasun tuotannossa ja nesteytyksessä

tarvitaan huomattavasti enemmän sähköä. Hiilineutraaleiden polttoaineiden kysyntä tulee kuitenkin todennäköisesti siirtämään polttoaineen tuotannon fossiilisista lähteistä uusiutuviin lähteisiin. Mikä polttoaine on ympäristöystävällisin vaihtoehto, riippuu siitä, ovatko metanolimoottorit tulevaisuudessa vertailukelpoisia kaasumoottoreiden kanssa tehokkuuden ja pakokaasupäästöjen suhteen sekä kaasu- ja kaksoispolttoainemoottoreiden metaanivuodon suuruudesta.

Hansson ym. (2020) tutkivat voitaisiinko ammoniakkia hyödyntää merenkulun polttoaineena. Vedystä ja typestä tuotetun ammoniakkia vaikutus ilmastonmuutosta lisäävänä tekijänä olisi vähäinen, jos sitä tuotettaisiin uusiutuvien energiamuotojen avulla. Heidän mukaansa ammoniakin tuotanto on tällä hetkellä liian vähäistä, jotta sitä voitaisiin hyödyntää merenkulun polttoaineena. Ammoniakkia käytetään tällä hetkellä pääosin lannoitteiden tuotannossa, joten tuotannon lisääminen tulisi todennäköisesti kasvattamaan kilpailua ja sitä myöden ammoniakin sekä elintarvikkeiden hintaa ainakin lyhyellä aikavälillä. Lisäksi ammoniakin hyödyntämisessä merenkulun polttoaineena on vielä paljon ongelmia, jotka liittyvät syttymiseen, polttoaineenkulutukseen, materiaaleihin ja polttoaineena käytettävän ammoniakin päästöihin. Lisäksi pitkällä aikavälillä vedyn hyödyntäminen polttoaineena nähdään kustannustehokkaampana vaihtoehtona verrattaessa ammoniakkiiin. Heidän mukaansa lyhyellä aikavälillä ammoniakki voidaan kuitenkin nähdä melkein yhtä kiinnostavana vaihtoehtona kuin vety ja erilaiset biomassasta tuotetut polttoaineet.

#### 4.3.3 Soveltuvuus olemassa oleville aluksille

Tämän tutkimuksen osalta huomion arvoista on, että suurin osa Boumanin ym. (2017) listaamista keinoista on uusien laivojen rakentamiseen sopivia pitkän aikavälin päästöjen vähennyskeinoja. Heidän mainitsemistaan merkittävistä päästövähennyskeinoista vain osa soveltuu olemassa olevien alusten päästöjen vähentämiseen. Näitä keinoja ovat pääosin operatiiviset keinot kuten nopeuden laskeminen, kapasiteetin käyttöasteen parantaminen ja matkan suunnittelu sekä vaihtoehtoiset polttoaineet. Vaihtoehtoisten polttoaineiden kuten LNG:n, metanolin, nesteytetyn biokaasun tai ammoniakin hyödyntäminen alusten voimantuotannossa vaatisi kuitenkin olemassa olevan aluksen kokonaisvaltaista remontointia, joka harvoin on taloudellisesti järkevää. Esimerkiksi M.V. Stena Germanican muutos metanolikäyttöiseksi maksoi 8,1 miljoona euroa (Srivastava 2016) ja BIT Vikingin muutos LNG-käyttöön maksoi 11,4 miljoona euroa

(Elgohary ym. 2015). Biopolttoaineita sen sijaan voidaan kuitenkin hyödyntää nykyisissä moottoreissa ja polttoaineissa ilman merkittäviä jälkiasennus- ja muutostarpeita (Eide ym. 2013). Lisäksi niiden on oltava varastoinnissaan ja toiminnassaan samanlaisia kuin olemassa olevien öljypohjaisten polttoaineiden, jotta niitä voidaan varastoida, kuljettaa ja käsitellä olemassa olevan välineistön ja laitteiston avulla. Yleisimmin käytetty biopolttoaine on bioetanoli, joka ei kuitenkaan ole suoraan käyttökelpoinen laivan dieselmoottorissa, vaan sitä on sekoitettava muihin polttoaineisiin. Tavallista biodieseliä voidaan sen sijaan käyttää itsenäisesti laivojen dieselmoottoreissa.

Lindstad ym. (2015) ovat arvioineet mahdollisten päästövähennyskeinojen investointikustannuksia erityyppisille aluksille ja ne on listattu taulukossa 14. Matalimmat investointikustannukset ovat matkasuunnittelun kehittämällä, valaistuksen tehostamisella ja aurinkopaneelilla. Korkeimmat investointikustannukset puolestaan ovat rungon kaventamisella sekä LNG-järjestelmän että polttokennojen asentamisella. Nopeuden hidastamisella ei ole investointikustannusta lainkaan, mutta kustannus näkyy kuljetusmäärän putoamisena ja näin ollen tulojen putoamisena. Lisäksi maasähkön investointikustannus on suhteellisen matala, mutta siinä haasteet liittyvät sataman ja energiainfrastruktuurin riittävyteen (Solakivi ym. 2020).

Solakivi ym. (2020) tarkastelivat mahdollisia Lindstadin ym. (2015) raportissa mainittuja päästövähennyskeinoja suhteessa investointikustannukseen. Taulukossa 15 investointikustannukset on suhteutettu niiden päästövähennyspotentiaaliin, missä on luotu arvio kunkin päästövähennyskeinoan investointikustannuksesta yhden prosentin päästövähennystä kohti. Suhteellisesti edullisimpia keinoja ovat matkasuunnittelun kehittäminen, maasähkö, propulsio-optimointi ja valaistuksen tehostaminen. Kaikkia edellä mainittuja voidaan hyödyntää olemassa oleviin aluksiin. Potentiaaliltaan suurimmat vähennyskeinot, kuten rungon kaventaminen ja LNG, soveltuvat parhaiten pelkästään uusien laivojen rakentamiseen. Suomen kautta liikennöivä aluskanta on ns. deep sea shippingiä pienempää, jolloin energiatehokkuutta parantavien investointien takaisinmaksuajat ovat pidempiä ja mittakaavaedut pienempiä (Solakivi ym. 2020).

Kun päästövähennyskeinoja, niiden potentiaalia ja investointikustannuksia mietitään ro-ro ja ro-pax-alusten kannalta, karsiutuu olemassa oleville aluksille mahdollisista vähennyskeinoista useimmat pois. Ro-ro ja ro-pax-liikenne on hyvin aikataulusidonnaista, joten operatiiviset keinot kuten nopeuden laskeminen ja

matkasuunnittelun kehittäminen tulisivat aiheuttamaan aikataulusta myöhästymisiä ja aikataulumuutoksia. Näin ollen niiden ei nähdä olevan tälle kuljetusmuodolle mahdollinen vaihtoehto. Todellisuudessa ainoa varteen otettava päästövähennyskeino tälle liikenteelle on vaihtoehtoisten polttoaineiden hyödyntäminen. Viitaten Balcomben ym. (2019) ja Eiden ym. (2013) tutkimuksiin sekä Lindstadin ym. (2015) ja Solakiven ym. (2020) raportteihin, vaihtoehtoisista polttoainesta ainoastaan biopolttoaineiden hyödyntäminen voidaan nähdä taloudellisesti kannattavana mahdollisuutena olemassa oleville aluksille. Tämäkin kannattavuus riippuu merkittävästi biopolttoaineiden sekä päästöoikeuden hinnoista. Chryssakis ym. (2017) arvioivat, että biopolttoaineet ja uusiutuvat polttoaineet olisivat kannattavia, kun päästöoikeuden hinta olisi 150–200 euroa/EUA. Toisaalta esimerkiksi Parkerin ym. (2021) arvion mukaan merenkulun täydellinen hiillettömyys voitaisiin saavuttaa vuoteen 2050 mennessä, jos päästöoikeuden hinta olisi vähintään 191 yhdysvaltaindollaria/EUA eli noin 170 euroa/EUA. Vaikka päästöoikeuden hinta on vuoden 2021 aikana noussut rajusti, ollaan kuitenkin vielä todella kaukana näistä hinnoista.

Taloudellisesti kannattavien ja operatiivisesti mahdollisten vähennyskeinojen vähyden seurauksena olemassa olevien ro-ro ja ro-pax-alusten on hyvin vaikea sopeutua päästöjen vähentämiseen. Jos merirahti tullaan sitomaan EU ETS:n alaisuuteen Euroopan komission ehdotuksen mukaisesti, ei ro-ro ja ro-pax-aluksille tulevaisuudessa jää muuta vaihtoehtoa kuin joko hyödyntää vaihtoehtoisia biopolttoaineita tai maksaa lisämaksuja fossiilisten polttoaineiden hyödyntämisestä aiheutuvien CO<sub>2</sub>-päästöjen takia. Biopolttoaineiden hinta on tällä hetkellä vielä hyvin korkea verrattaessa päästöoikeuden hintaan, joten taloudellisesti järkevämpi ratkaisu on toistaiseksi päästöoikeuksien hankkiminen.



Taulukko 15 Päästövähennyskeinojen investointikustannus päästöjen vähentämiseksi yhdellä prosentilla (euroa) (Solakivi ym. 2020)

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



## 5 Metodologia

### 5.1 Tutkimusstrategia ja tutkielman positiointi

Tutkielman tarkoituksena on selvittää millainen kustannusvaikutus merenkulun asettamisella EU ETS:n alaisuuteen on Suomen ulkomaan kaupalle tärkeisiin ro-ro ja ro-pax-aluksiin. Tutkimuskysymyksenä on ”Kuinka suuret lisäkustannukset merenkulun asettaminen Euroopan unionin päästökaupan alaiseksi aiheuttaa vakituisesti Suomen kautta liikennöiville olemassa oleville ro-ro ja ro-pax-aluksille?” Tässä tutkielmassa oletetaan, että päästöjä syntyy pelkästään alusten pää- ja apukoneiden polttoaineen kulutuksesta. Aluskohtainen polttoaineen kulutus määritetään Cullinanen ja Khannan (1999) tutkimuksessa esiteltyyn laskukaavaan perustuen. Tarkoituksena on laskea jokaiselle alukselle niiden matkakohtaiset polttoaineen kulutukset, joiden avulla lasketaan alusten tuottamat hiilidioksidipäästöt IMO:n (2014) esittämien päästökertoimien avulla. Tutkielmassa ei tulla ottamaan kantaa alusten kustannusrakenteeseen tai päästökustannusten osuuteen päivittäisistä kokonaiskustannuksista.

Suomalaisen liiketaloustieteen positiointia on usein lähestytty Neilimon ja Näsin (1980) esittelemän viitekehysten kautta. Tätä viitekehystä ovat mm. Kasanen ym. (1991) täydentäneet lisäämällä siihen oman tutkimusotteensa. Viitekehys koostuu kahdesta akselista, joista pystyakselilla tutkimusotteet jaetaan tiedon luonteen ja vaaka-akselilla tiedon tuottamistavan mukaan. Viitekehysten mukaiset tutkimusotteet ovat: käsiteanalyttinen, nomoteettinen, toiminta-analyttinen, päätöksentekometodologinen ja konstruktivistinen. Taulukossa 16 on havainnollistettu miten nämä viisi tutkimusotetta ovat jakautuneet viitekehyksessä.

Taulukko 16 Tutkimusotteiden viitekehys (Neilimo & Näsi 1980; Kasanen ym. 1991)

	Teoreettinen	Empiirinen
Deskriptiivinen	Käsiteanalyttinen tutkimusote	Nomoteettinen tutkimusote
		Toiminta-analyttinen tutkimusote
Normatiivinen	Päätöksentekometodologinen tutkimusote	Konstruktivistinen tutkimusote
		Konstruktivistinen tutkimusote

Vaaka-akselilla tämän tutkielman voidaan todeta olevan empiirinen, koska tutkielmassa käytetään olemassa olevia alustietoja ja laskelmat tehdään näiden perusteella. Pystyakselilla voidaan todeta tutkielman olevan selvästi enemmän kuvaileva kuin ohjeellinen, sillä tutkielman tarkoituksena on määrittää Euroopan komission tekemään olemassa olevaan ehdotukseen perustuen syntyvien lisäkustannusten määrä. Tutkielma ei myöskään täytä konstruktivistisen tutkimusotteen tunnusmerkkejä, koska tutkielmassa ei rakenneta uutta ratkaisumallia käytännön ongelmaan (Lukka 2001).

Haastavaksi kuitenkin jää tutkielman asettaminen viitekehyksen empiiristen ja kuvailevien tutkimusotteiden sisällä joko nomoteettiseksi tai toiminta-analyyttiseksi. Nomoteettisen tutkimusotteen mukaiset menetelmät ovat suurilta osin kvantitatiivisia ja tutkijan rooli nähdään objektiivisena. Se on tieteenfilosofialtaan positivistinen eli asioiden ja ilmiöiden selitys perustuu kausaalisuuteen eli syy- ja seuraussuhteisiin tilastollisen yleistyksen kautta. Tästä johtuen nomoteettisen tutkimusotteen mukaisissa tutkimuksissa vaaditaan usein suuri havaintojen määrä, jotta tilastollinen yleistettävyyden on ylipäättään mahdollista. Toiminta-analyttisessä tutkimuksessa korostetaan keskittymistä usein yhteen tai muutamaaan havaintokohteeseen. Menetelmät ovat vapaampia kuin nomoteettisessa tutkimuksessa ja tutkijan rooli nähdään osallistuvana eikä objektiivisena. Yhteistä molemmille tutkimusotteille on empiirisen aineiston hyödyntäminen. (Kasanen ym. 1993; Salmi & Järvenpää 2000.) Tämän tutkielman voidaan sanoa sisältävän ominaisuuksia molemmista tutkimusotteista ilman, että se selkeästi täyttää kummankaan tutkimusotteen piirteitä kokonaisuudessaan. Tutkielmassa ei ole tarkoitus luoda nomoteettisen tutkimusotteen mukaista laajaan havaintoaineistoon perustuvaa tilastollista yleistystä, mutta tutkielmassa ei kuitenkaan käsitellä toiminta-analyttisen tutkimusotteen mukaisesti pelkästään yhtä tai muutamaa havaintokohdetta. Tutkijan rooli voidaan nähdä joko objektiivisena tai osallistuvana riippuen siitä, mistä näkökulmasta tilannetta katsotaan. Jos objektiivisuuden mittarina pidetään, että laskukaavat ja niiden sisältämät arvot perustuvat alakohtaisesti hyväksyttäviin käytäntöihin ja määritelmiin, voidaan sanoa tutkijan roolin olevan objektiivinen. Joistain asioista voi kuitenkin olla olemassa alan sisällä erilaisia näkökulmia, joten tutkijan päätös käytettävistä arvoista vaikuttaa tutkielman lopputulokseen. Näin ollen tutkijan rooli voidaan nähdä myös osittain subjektiivisena. Tutkielman tarkoituksena ei ole myöskään toiminta-analyttisen tutkimusotteen mukainen tutkittavan asian tai ilmiön

kokonaisvaltainen ymmärtäminen. Tarkoituksena on enemmänkin uuden mahdollisen kustannustekijän määrittäminen. Salmen ja Järvenpään (2000) mukaan nämä kaksi tutkimusotetta muistuttavat usein toisiaan ja ne esitetään usein toistensa vastakohtina, vaikka ne eivät pohjimmiltaan eroa toisistaan merkittävästi. Molemmat tutkimusotteet käsittelevät heidän mukaansa tiedon muodostumista samankaltaisin keinoin, jonka lisäksi havaintojen luonne on hyvin samankaltainen.

## 5.2 Alustiedot

Tutkielman lähdeaineistossa on mukana kaikki Suomen satamiin ulkomaanliikenteessä vuonna 2020 säännöllisesti liikennöineet ro-ro ja ro-pax-alukset sekä yksi ro-pax-alus, joka oli poissa liikenteestä vuonna 2021, mutta jonka ennustetaan palaavan liikenteeseen vuonna 2022. Tutkimuksen pohjana hyödynnetyt tiedot aluskäynneistä ovat peräisin [www.europeantransportmaps.com](http://www.europeantransportmaps.com) nettisivulta, jossa on listattuna kaikki Suomen satamat, joissa kansainvälisessä liikenteessä operoivia ro-ro ja ro-pax-aluksia vierailee. Aluksien reitit, matka-ajat ja satama-ajat perustuvat yritysten nettisivuilta löytyviin vuoden 2021 aikatauluihin. Alukset kulkevat pääsääntöisesti omilla tiukasti aikataulutetuilla vakioireiteillään, joiden avulla niille voidaan suhteellisen yksinkertaisesti laskea alusten kulkemat matka-ajat ja satama-ajat. Muutamilla aluksilla pääsääntöistä vakioireittiä ei kuitenkaan ole, joten näille aluksille on jouduttu luomaan vakioireitti perustuen niiden pääsääntöisesti kulkemiin reitteihin. Näiden alusten osuus kokonaisaineistosta on kuitenkin suhteellisen pieni (17,5 %). Alusten tekniset tiedot on myös haettu pääosin yritysten omilta nettisivuilta, mutta jossain tapauksissa on tiedon puuttumisen seurauksena jouduttu turvautumaan yritysten ulkopuolisiin lähteisiin. Kaikki aluskohtaiset tekniset tiedot ovat nähtävissä liitteissä 3 ja 4.

### 5.2.1 Alukset ja liikennöidyt satamat

Taulukoissa 17 ja 18 on listattuna kaikki satamat ja niiden välillä liikennöivät alukset. Taulukosta 17 löytyvät kaikki ro-ro-alukset ja taulukosta 18 kaikki ro-pax-alukset. Satamien perässä on mainittu myös maan lyhenne, missä se sijaitsee. Huomion arvoista on, että ro-ro-alukset eivät liikennöi suoraan taulukossa mainittua reittiä satamien välillä, vaan ne kulkevat monia erilaisia reittejä näiden satamien välillä. Ro-pax-alukset puolestaan kulkevat pääsääntöisesti edestakaisin ensimmäiseksi mainitun ja viimeiseksi mainitun välillä. Taulukoista voidaan selvästi havaita, että ro-ro-aluksilla on

huomattavasti enemmän liikennöintisatamia kuin ro-pax-aluksilla, jonka lisäksi ro-ro-alusten kulkema matka on selvästi ro-pax-aluksia pidempi. Ro-ro-alukset kulkevat siis pidempiä matkoja, joiden kulkemiseen kuuluu ro-pax-aluksia pidempi aika. Ro-pax-alukset puolestaan liikennöivät reittinsä usein monia kertoja saman matkan päivässä. Tutkielmassa käytetyt matkan pituudet on haettu <https://classic.searoutes.com/> nettisivulta. Yksinkertaistuksen ja yhdenmukaisuuden vuoksi Kielin kanavan hyödyntäminen on poissuljettu, joten oletuksena on, että alukset kiertävät tarvittaessa Tanskan ympäri.

Taulukko 17 Ro-ro-alusten liikennöintisatamat

Reitti	Alukset
Helsinki (FI) – Rostock (DE) – Aarhus (DE)	Finnhawk, Finnkraft
Helsinki (FI) – Kotka (FI) – Pietari (RU) – Paldiski (EE) – Antwerp (BE) – Tilbury (GB) – Zeebrugge (BE) – Bilbao (ES)	Finnbreeze, Finnsun, Finnsea
Helsinki (FI) – Kotka (FI) – Pietari (RU) – Travemünde (DE)	Finnpulp
Helsinki (FI) – Hull (GB)	Finnmaster
Uusikaupunki (FI) – Kotka (FI) – Turku (FI) – Travemünde (DE) – Lübeck (DE) – Pietari (RU)	Finnsky, Finntide, Finnwave
Hanko (FI) – Rostock (DE)	Finnmerchant Eurocargo Savona
Hanko (FI) – Gdynia (PL)	Finnmill
Hanko (FI) – Kotka (FI) – Lübeck (DE)	Seagard
Hanko (FI) – Kotka (FI) – Paldiski (EE) – Pietari (RU) – Gdynia (PL) – Lübeck (DE)	Bore sea, Genca, Hafnia Sea
Hanko (FI) – Rauma (FI) – Kotka (FI) – Pietari (RU) – Antwerp (BE) – Tilbury (GB)	Trica
Hanko (FI) – Rauma (FI) – Kotka (FI) – Pietari (RU) – Lübeck (DE) – Antwerp (BE) – Tilbury (GB)	Timca
Hanko (FI) – Rauma (FI) – Kotka (FI) – Pietari (RU) – Lübeck (DE) – Rostock (DE) – Antwerp (BE) – Tilbury (GB)	Pulpca, Plyca, Kraftca
Hanko (FI) – Paldiski (EE) – Lübeck (DE)	Corona Sea
Turku (FI) – Paldiski (EE) – Bremerhaven (DE) – Cuxhaven (DE) – Harwich (GB) – Rotterdam (NL)	ML Freyja
Rauma (FI) – Rostock (DE)	Polaris VG
Kotka (FI) – Rauma (FI) – Amsterdam (NL) – Santander (ES) – Ferrol (ES)	Friedrich Russ
Oulu (FI) – Kemi (FI) – Husum (SE) – Lübeck (DE)	Tavastland

Reitti	Alukset
Oulu (FI) – Kemi (FI) – Pietarsaari (FI) – Lübeck (DE) – Zeebrugge (BE) – Tilbury (GB)	Thuleland
Rauma (FI) – Kemi (FI) – Oulu (FI) – Pietarsaari (FI) – Lübeck (DE) – Zeebrugge (BE) – Tilbury (GB)	Tundraland
Kokkola (FI) – Oulu (FI) – Kemi (FI) – Kaskinen (FI) – Skellefteå (SE) – Husum (SE) – Antwerp (BE) – Zeebrugge (BE)	Fionia Sea, Jutlandia Sea
Naantali (FI) – Långnäs (FI)	Fjärdvägen

Taulukko 18 Ro-pax-alusten liikennöintisatamat

Reitti	Alukset
Naantali (FI) – Långnäs (FI) – Kapellskär (SE)	Finnswan, Finnfellow
Helsinki (FI) – Travemünde (DE)	Finnlady, Finnmaid, Finnstar
Helsinki (FI) – Muuga (EE)	Finbo Cargo
Helsinki (FI) – Tallinna (EE)	Finlandia, Megastar, Star, Silja Europa, Viking XPRS
Tallinna (EE) – Maarianhamina (FI) – Tukholma (SE)	Baltic Queen, Victoria I
Helsinki (FI) – Maarianhamina (FI) – Tukholma (SE)	Silja Serenade, Silja Symphony, Gabriella
Turku (FI) – Långnäs (FI) / Maarianhamina (FI) – Tukholma (SE)	Baltic Princess, Galaxy, Amorella, Viking Grace
Maarianhamina (FI) – Tukholma (SE)	Viking Cinderella
Maarianhamina (FI) – Kapellskär (SE)	Rosella
Helsinki (FI) – Tallinna (EE) – Pietari (RU) – Tukholma (SE)	Princess Anastasia
Vaasa (FI) – Uumaja (SE)	Botnia Sea

### 5.3 Polttoaineen kulutuksen määrittäminen

Polttoaineen kulutus lasketaan perustuen Cullinanen ja Khannan (1999) tutkimuksessa esiteltyyn laskentamalliin. Polttoaineen kulutus muodostuu kolmesta osatekijästä: pääkoneiden ja apukoneiden keskimääräisestä polttoaineen kulutuksesta sekä voiteluöljyn kulutuksesta. Tässä tutkielmassa tehdään oletus, että matkan aikana ainoastaan aluksen pääkoneet ovat käytössä, joten polttoaineen kulutus syntyy pelkästään

niiden hyödyntämisestä. Alusten pääkoneiden päivittäinen polttoaineen kulutus ( $FO_{pk}$ ) on laskettu käyttämällä seuraavaa laskukaavaa:

$$FO_{pk} = asennettu\ KT_{pk} * SFOC_{pk} * keskimääräinen\ KT * \frac{24}{1\ 000\ 000}$$

$FO_{pk}$  = pääkoneiden päivittäinen polttoaineen kulutus (t/vrk)

asennettu  $KT_{pk}$  = aluksen pääkoneiden maksimiteho (kW)

$SFOC_{pk}$  = pääkoneiden keskimääräinen ominaiskulutus (g/kWh)

keskimääräinen  $KT$  = keskimääräinen koneteho

SFOC-arvo (specific fuel oil consumption) kuvastaa pääkoneen keskimääräistä ominaiskulutusta (määrittelyä tarkemmin luvussa 5.3.1). Alusten pääkoneiden maksimikonetehot ovat suurimmilta osin saatavilla yritysten omilta nettisivuilta, mutta joissain tapauksissa on jouduttu turvautumaan muihin julkisiin lähteisiin. Keskimääräinen koneteho kuvastaa sitä osuutta konetehosta, joka on käytössä maksimikonetehosta. Jos arvo olisi 1,0 olisi aluksen koko koneteho käytössä. Tässä tutkielmassa tullaan käyttämään keskimääräisen konetehon arvona 0,8, sillä tätä on käytetty useissa eri tutkimuksissa (Cullinane & Khanna 1999; Corbett ym. 2009; Solakivi 2020) ja sitä pidetään merenkulun alalla yleisesti hyväksyttävä keskimääräisenä konetehona. Poikkeavia mielipiteitäkin on esimerkiksi Karvonen ja Jousilahti (2018) olettivat keskimääräisen konetehon olevan vain 0,7. He perustivat tämän oletuksen siihen, että alukset pyrkivät säästämään polttoainetta matkustusnopeuttaan laskemalla. Ro-ro ja ro-pax-liikenteelle nopeuden alentaminen ei kuitenkaan ole mahdollista, joten myös oletus alhaisemmasta keskimääräisestä konetehosta ei sovellu näille alustyypeille.

Tietoja alusten käyttämistä polttoaineista ei pääsääntöisesti ole julkisesti saatavilla, joten tässä tutkielmassa oletetaan kaikkien alusten käyttävän polttoaineenaan kaasuöljyä (MGO). Tähän yleistykseseen on päädytty siksi, että vuoden 2015 alun jälkeen SECA-alueilla voimaan astuneen rikkipäästörajoituksen vuoksi suurin osa aluksista käyttää tätä pääkoneidensa polttoaineena. Aluksessa voi olla toki skrubberi, jolloin myös raskasta polttoöljyä voidaan käyttää. Tietoja siitä, millä aluksilla on asennettuna skrubberi ja millä ei, ei kuitenkaan ole saatavilla julkisista lähteistä, joten tasavertaisuuden vuoksi tässä tutkielmassa on päädytty siihen, että kaikki alukset käyttävät polttoaineenaan MGO:ta.

Tutkielmassa oletetaan, että satamassa tapahtuva polttoaineen kulutus syntyy pelkästään apukoneiden käytöstä. Satamassa syntynyt polttoaineen kulutus lasketaan samalla kaavalla kuin pääkoneiden päivittäinen polttoaineen kulutus, mutta alukseen asennettujen pääkoneiden konetehon sijaan kaavaan asetetaan apukoneiden konetehto ja niiden SFOC-arvo. Kaava on siis muotoa:

$$FO_{ak} = asennettu\ KT_{ak} * SFOC_{ak} * keskimääräinen\ KT * \frac{24}{1\ 000\ 000}$$

$FO_{ak}$  = apukoneiden päivittäinen polttoaineen kulutus (t/vrk)

asennettu  $KT_{ak}$  = aluksen apukoneiden maksimiteho (kW)

$SFOC_{ak}$  = apukoneiden keskimääräinen ominaiskulutus (g/kWh)

keskimääräinen  $KT$  = keskimääräinen konetehto

Toisin kuin pääkoneiden asennettu maksimiteho, apukoneiden maksimitehoja ei suurimmilta osin ole saatavilla julkisista lähteistä. Niiltä osin kuin apukonetehot puuttuvat, hyödynnetään tutkielmassa imputointia eli havaintoaineistossa olevan puutteen korvaamista. Puuttuvien arvojen kohdalla käytetään alustyyppikohtaista keskiarvoa, joka on laskettu saatavilla olevien tietojen perusteella. Tämän tutkielman aineiston pohjalta ro-ro-aluksilla apukonetehojen suhteellinen osuus pääkonetehosta on keskimäärin 17,3 prosenttia ja ro-pax-aluksilla 16,6 prosenttia. Myös apukoneiden oletetaan käyttävän MGO:ta polttoaineenaan. Huomion arvoista on, että maasähkön käyttö aluksen ollessa satamassa apukoneiden käytön sijaan on viime vuosina lisääntynyt. Maasähkön käyttö vähentää aluksen ilmastopäästöjä sen ollessa satamassa, kun tarpeellisia toimintoja ylläpidetään sähkön eikä apukoneiden avulla. Tällä hetkellä maasähkön käyttö on kuitenkin hyvin vähäistä, joten yksinkertaistuksen vuoksi sen hyödyntäminen jätetään tässä tutkielmassa huomioimatta. Oletuksena siis on, että jokainen alus tuottaa satamassa tarvitsemansa energian apukoneidensa avulla.

Voiteluaineen kulutuksen osuus on Cullinanen ja Khannan (1999) laskentamallissa osa matkan aikaista polttoaineen kulutusta ja se lasketaan perustuen pääkoneiden polttoaineen kulutukseen. Cullinane ja Khanna (1999) käyttivät tutkimuksessaan 3 prosenttia pääkoneiden polttoaineen kulutuksesta, mutta esimerkiksi Karvonen ja Jousilahti (2018) käyttivät puolestaan 5 prosenttia. Tässä tutkielmassa on kuitenkin päätetty jättää voiteluaineen osuus kokonaan huomioimatta sen hyvin pienen merkittävyyden takia.

### 5.3.1 SFOC-arvon määrittäminen

SFOC-arvo kuvastaa pää- tai apukoneiden keskimääräistä ominaiskulutusta ja se vaihtelee riippuen käytettävän moottorin nopeudesta ja käytettävästä konetehosta. Moottorit voidaan moottorin kampiakselin pyörimistaajuuden mukaan jakaa hitaisiin (SSD), keskinopeisiin (MSD) ja nopeisiin (HSD) moottoreihin. Päämoottorit ovat usein SSD tai MSD-moottoreita, kun taas apumoottorit MSD ja HSD-moottoreita. Mitä hitaampi on kampiakselin pyörimistaajuus, sitä alhaisempi on koneen SFOC-arvo. SFOC-arvojen saatavuus julkisista lähteistä on hyvin rajallinen, joten niiltä osin kuin tieto on saatavilla, käytetään alusten todellisia SFOC-arvoja sekä pää- että apukoneille. Niiltä osin kuin tietoa SFOC-arvoista ei ole saatavilla, käytetään tutkielmassa imputointia. Puuttuvat SFOC-arvot imputoidaan molemmille alustyypeille ja konetyypeille erikseen perustuen saatavilla olevien SFOC-arvojen keskiarvoon. Ro-ro-aluksille pääkoneiden SFOC-arvojen keskiarvoksi on tutkielman aineiston pohjalta saatu 174,2 g/kWh ja ropax-aluksille 175,2 g/kWh. Apukoneiden SFOC-arvoja on hyvin niukasti saatavilla kummallekaan alustyyppille. Kaikki saatavilla olevat apukoneiden SFOC-arvot ovat 187 g/kWh, joten tutkielmassa oletetaan tämän olevan kaikkien alusten apukoneiden SFOC-arvo.

### 5.3.2 Hiilidioksidipäästöjen laskenta ja kohdistus

Aluskohtaiset CO<sub>2</sub>-päästöt lasketaan niiden polttoaineen kulutukseen perustuen. CO<sub>2</sub>-päästöt saadaan kertomalla polttoaineen kulutus IMO:n (2014) julkaisemien polttoaineille ominaisten päästökertoimen avulla. Taulukossa 19 on havainnollistettu eri laivapolttoaineiden päästökertoimia eri kasvihuonekaasuille.

Taulukko 19 Polttoaineiden päästökertoimet (IMO 2014)

Kasvihuone- kaasu	HFO (g/g polttoainetta)	MDO/MGO (g/g polttoainetta)	LNG (g/g polttoainetta)
CO <sub>2</sub>	3,11400	3,20600	2,75000
CH <sub>4</sub>	0,00006	0,00006	0,05120
N <sub>2</sub> O	0,00016	0,00015	0,00011
NO <sub>x</sub>	0,09300	0,08725	0,00783
CO	0,00277	0,00277	0,00783
NMVOG	0,00308	0,00308	0,00301



Koska *Fit for 55* –aloitepaketin mukaisesti merenkulusta tulisi huomioida ainoastaan aluksista syntyvät CO<sub>2</sub>-päästöt, voidaan muut kasvihuonekaasut jättää tässä kohtaa käsittelemättä. Kuten mainittu, tutkielmassa oletetaan kaikkien alusten käyttävän pää- ja apukoneidensa polttoaineena MGO:ta. Matkan aikana syntyneet CO<sub>2</sub>-päästöt saadaan laskettua alla olevan laskukaavan avulla:

$$M_{CO_2} = t_m * \frac{FO_{PK}}{24} * PK_{MGO}$$

$M_{CO_2}$  = Matkan aikana syntyneet CO<sub>2</sub>-päästöt (t)

$t_m$  = matka-aika (h)

$FO_{pk}$  = päivittäinen pääkoneen polttoaineen kulutus (t/vrk)

$PK_{MGO}$  = MGO-polttoaineen päästökerroin (g/g)

Tässä tutkielmassa on päätetty lisätä matkan CO<sub>2</sub>-päästöihin mukaan myös satamassa vietetystä ajasta syntyneet CO<sub>2</sub>-päästöt ennen seuraavaa matkaa. Ne on laskettu käyttäen alla olevaa laskukaavaa:

$$S_{CO_2} = t_s * \frac{FO_{AK}}{24} * PK_{MGO}$$

$S_{CO_2}$  = Satamassa syntyneet CO<sub>2</sub>-päästöt (t)

$t_s$  = satamassa vietetty aika (h)

$FO_{ak}$  = päivittäinen apukoneen polttoaineen kulutus (t/vrk)

$PK_{MGO}$  = MGO-polttoaineen päästökerroin (g/g)

Näin ollen matkan kokonaispäästö määrä ( $K_{CO_2}$ ) saadaan laskettua kaavalla:

$$K_{CO_2} = M_{CO_2} + S_{CO_2}$$

Päästöoikeuden hinnoiksi on tässä tutkielmassa päätetty asettaa 33,50 €/CO<sub>2</sub>-t, 44,18 €/CO<sub>2</sub>-t ja 88,36 €/CO<sub>2</sub>-t. Ensimmäinen arvo on vuoden 2021 tammikuun E3PA-päästöoikeuden keskiarvo. Seuraavat arvot ovat Maailmanpankin (2020) arvioita siitä, millä päästöoikeuden hinnalla vuoteen 2030 mennessä Pariisin sopimuksen mukaiset ilmastotavoitteet tultaisiin saavuttamaan kustannustehokkaasti. Arvion mukaan päästöoikeuden hinnan tulisi olla 50—100 yhdysvaltaindollarin välillä. Dollariarvot on muutettu euroiksi Euroopan keskuspankin 24.12.2021 antaman euron viitekurssin mukaisesti (1 EUR = 1,1317 USD).

Huomioon tulee ottaa myös se, että ro-pax-aluksilla kuljetetaan ro-ro-rahdin lisäksi myös ihmisiä. Tästä syystä näistä aluksista syntyneitä päästöjä ei voida suoraan kohdistaa kokonaisuudessaan rahdille, vaan ne tulee jakaa rahdin ja matkustajien välille. VTT:n (2017) mukaan päästöistä 84 prosenttia tulee allokoida rahdille ja 16 prosenttia matkustajille. Ro-ro-alusten osalta voidaan 100 prosenttia päästöistä kohdistaa rahdille. Koska ro-ro ja ro-pax-aluksien kuljetuskapasiteetti on tavanomaista ilmaista kaistametreinä, jaetaan syntyneet päästöt lopuksi vielä aluksen kaistametreillä, jolloin lisäkustannus saadaan ilmaista per kapasiteettiyksikkö. Ro-pax-alusten matkustajien kohdalla käytetään kapasiteettiyksikkönä henkilökilometrejä (hkm), joka saadaan kertomalla matkustajien määrä matkan pituudella. Kun näin saatu CO<sub>2</sub>-päästö määrä/kapasiteettiyksikkö kerrotaan päästöoikeuden hinnalla, saadaan laskettua aluksille syntyvät lisäkustannukset per kapasiteettiyksikkö. Alla olevat kaavat havainnollistavat lisäkustannusten laskentaa:

$$LK_{km} = CO_{2/km} * EUA$$

$LK_{km}$  = lisäkustannus per kaistametri (€/kaistametri)

$CO_{2/km}$  = CO<sub>2</sub>-päästöt per kaistametri (t/kaistametri)

EUA = päästöoikeuden hinta (€/CO<sub>2</sub>-t)

$$LK_{hkm} = CO_{2/hkm} * EUA$$

$LK_{hkm}$  = lisäkustannus per henkilökilometri (€/henkilökilometri)

$CO_{2/hkm}$  = CO<sub>2</sub>-päästöt per henkilökilometri (t/henkilökilometri)

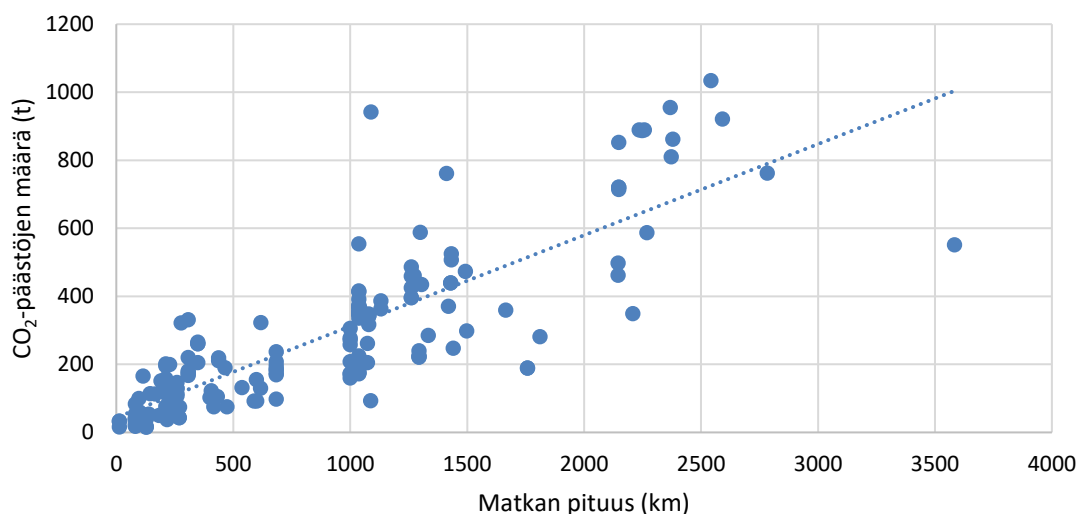
EUA = päästöoikeuden hinta (€/CO<sub>2</sub>-t)

## 6 Tulokset

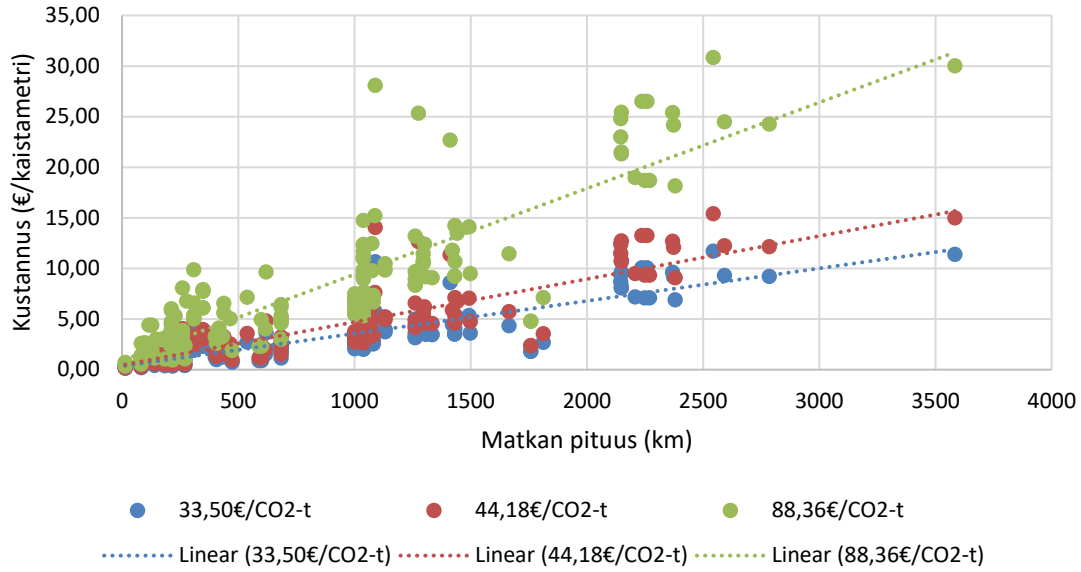
### 6.1 Ro-ro-alukset

Kuvioon 14 on koostettu kaikki ro-ro-alusten tekemät matkat ja niistä syntyvät CO<sub>2</sub>-päästö määrät. Arvojen perusteella on laskettu myös ro-ro-alusten matkan ja CO<sub>2</sub>-päästö määrän regressiosuora. Kuviossa 15 on puolestaan esitetty yhden kaistametrin lisäkustannus matkan suhteen eri päästöoikeuden hinnoilla sekä niiden regressiosuorat. Näiden kuvioden jälkeen esitetyissä taulukoissa 21, 22 ja 23 on ro-ro-aluksille koostettu yhteenvedot syntyneistä lisäkustannuksista Suomen ja ulkomaiden välisessä liikenteessä. Ro-ro-alusten alus- ja matkakohtaiset CO<sub>2</sub>-päästöt ja lisäkustannukset löytyvät liitteestä 1. Taulukot on jaettu päästöoikeuden hinnan mukaan kolmeen taulukkoon. Taulukoissa ensimmäisenä on matka, johon on sisällytetty matkat joko Suomesta kohdemaan tai kohdemaasta Suomeen. Sen jälkeen esitetään kaistametrin lisäkustannuksen vaihteluväli ja keskiarvo, joiden jälkeen on kaistametrin keskiarvon perusteella laskettu henkilöauton sekä puoliperävaunun lisäkustannus. Sääntönä pidetään, että yksi henkilöauto vie kuusi kaistametriä ja yksi puoliperävaunu 18 kaistametriä.

Huomion arvoista on, että tutkielmassa oletetaan laskelmien yksinkertaistuksen ja yhdenmukaisuuden vuoksi täyttöasteen olevan 100 prosenttia eli kapasiteetin oletetaan olevan maksimikäytössä. Todellisuudessa näin ei kuitenkaan usein ole. Yhden kaistametrin lisäkustannus on suurempi, mitä pienempi on aluksen täyttöaste, sillä päästöt ovat suurin piirtein samat riippumatta aluksen täyttöasteesta.



Kuvio 14 Ro-ro-alusten CO<sub>2</sub>-päästö määrän kehitys matkan suhteen



Kuvio 15 Ro-ro-alusten kaistametrin kustannuksen kehitys matkan suhteen eri päästöoikeuden hinnoilla

Taulukko 20 Suomen ja kohtemaan välisen ro-ro-liikenteen lisäkustannukset päästöoikeuden hinnan ollessa 33,50 €/CO<sub>2</sub>-t

Matka	Kaistametrin lisäkustannuksen vaihteluväli (€)	Kaistametrin lisäkustannuksen keskiarvo (€)	Henkilöauton lisäkustannus (€)	Puoliperävaunun lisäkustannus (€)
Suomi – Saksa	2,13–9,60	3,72	22,32	66,97
Suomi – Viro	0,26–0,61	0,42	2,52	7,56
Suomi – Belgia	6,89–10,77	8,85	53,13	159,38
Suomi – Iso-Britannia	3,30–13,59	11,18	67,06	201,19
Suomi – Venäjä	0,89–2,48	1,69	10,11	30,34
Suomi – Puola	1,14–2,35	1,86	11,13	33,39
Suomi – Espanja	10,56–15,47	12,88	77,29	231,88
Suomi – Tanska	4,00–4,21	4,11	24,63	73,89
Suomi – Ruotsi	1,15–2,01	1,58	12,06	36,18
Suomi – Alankomaat	2,94–7,20	4,69	28,14	84,42

Taulukko 21 Suomen ja kohtemaan välisen ro-ro-liikenteen lisäkustannukset päästöoikeuden hinnan ollessa 44,18 €/CO<sub>2</sub>-t

Matka	Kaistametrin lisäkustannuksen vaihteluväli (€)	Kaistametrin lisäkustannuksen keskiarvo (€)	Henkilöauton lisäkustannus (€)	Puoliperävaunun lisäkustannus (€)
Suomi – Saksa	2,80–12,67	4,91	29,44	88,32
Suomi – Viro	0,34–0,80	0,56	3,33	9,99
Suomi – Belgia	9,09–14,20	11,68	70,06	210,18
Suomi – Iso-Britannia	4,38–17,92	14,69	88,17	264,50
Suomi – Venäjä	1,18–3,27	2,22	13,34	40,03
Suomi – Puola	1,51–3,09	2,45	14,67	44,01
Suomi – Espanja	13,93–20,40	16,99	101,94	305,83
Suomi – Tanska	5,28–5,55	5,42	32,49	97,47
Suomi – Ruotsi	1,51–2,65	2,08	15,90	47,70
Suomi – Alankomaat	3,90–9,49	6,19	37,16	111,46

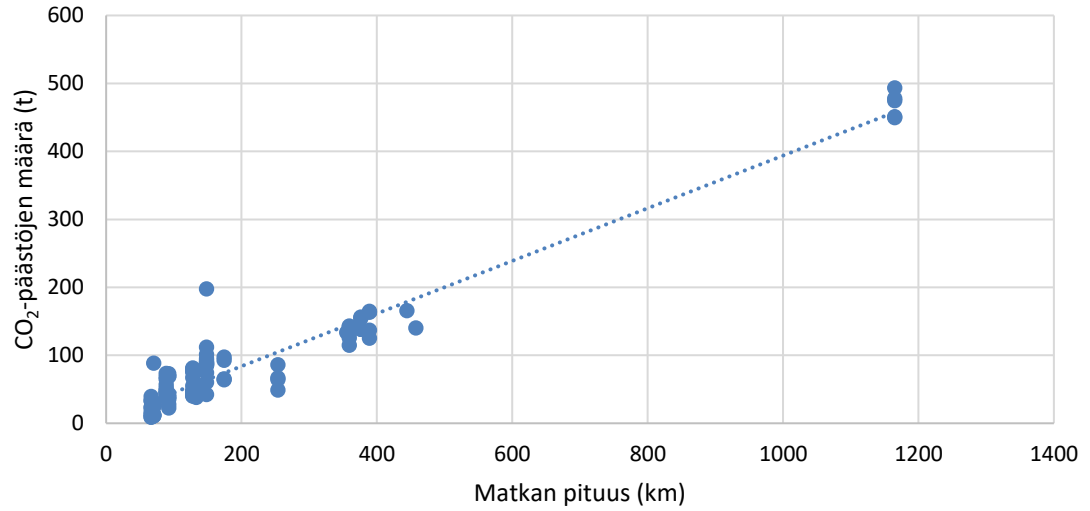
Taulukko 22 Suomen ja kohtemaan välisen ro-ro-liikenteen lisäkustannukset päästöoikeuden hinnan ollessa 88,36 €/CO<sub>2</sub>-t

Matka	Kaistametrin lisäkustannuksen vaihteluväli (€)	Kaistametrin lisäkustannuksen keskiarvo (€)	Henkilöauton lisäkustannus (€)	Puoliperävaunun lisäkustannus (€)
Suomi – Saksa	5,61–25,33	9,81	58,89	176,67
Suomi – Viro	0,69–1,61	1,11	6,65	19,96
Suomi – Belgia	18,17–28,40	23,35	140,12	420,36
Suomi – Iso-Britannia	8,73–35,85	29,39	176,32	528,96
Suomi – Venäjä	2,35–6,54	4,45	26,68	80,03
Suomi – Puola	3,01–6,19	4,89	29,36	88,07
Suomi – Espanja <sup>1</sup>	27,86–40,8	33,99	203,91	611,74
Suomi – Tanska	10,56–11,10	10,83	64,98	194,94

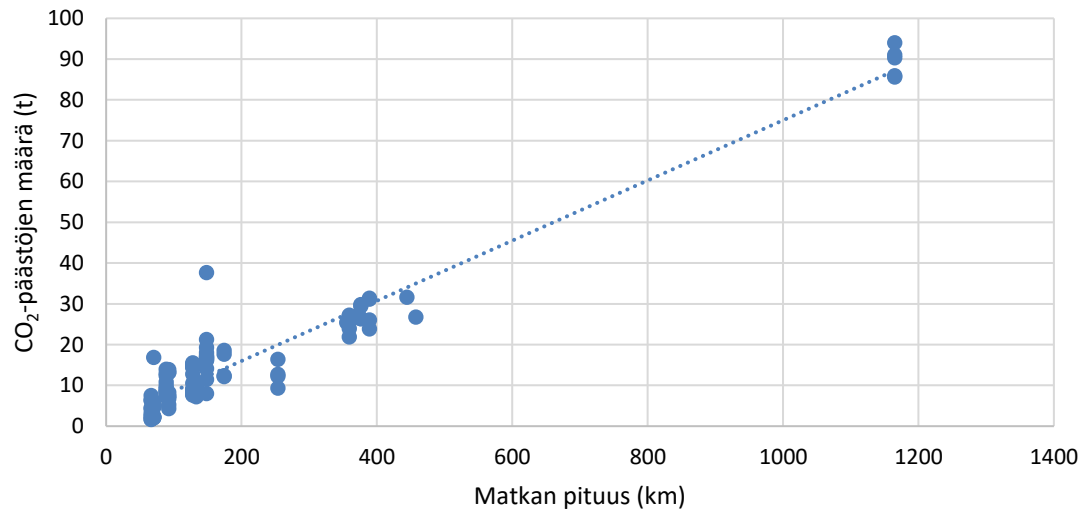
Matka	Kaistametrin lisäkustannuksen vaihteluväli (€)	Kaistametrin lisäkustannuksen keskiarvo (€)	Henkilöauton lisäkustannus (€)	Puoliperävaunun lisäkustannus (€)
Suomi – Ruotsi	3,02–5,30	4,16	31,80	95,40
Suomi – Alankomaat <sup>2</sup>	7,78–18,98	12,38	74,28	222,84

## 6.2 Ro-pax-alukset

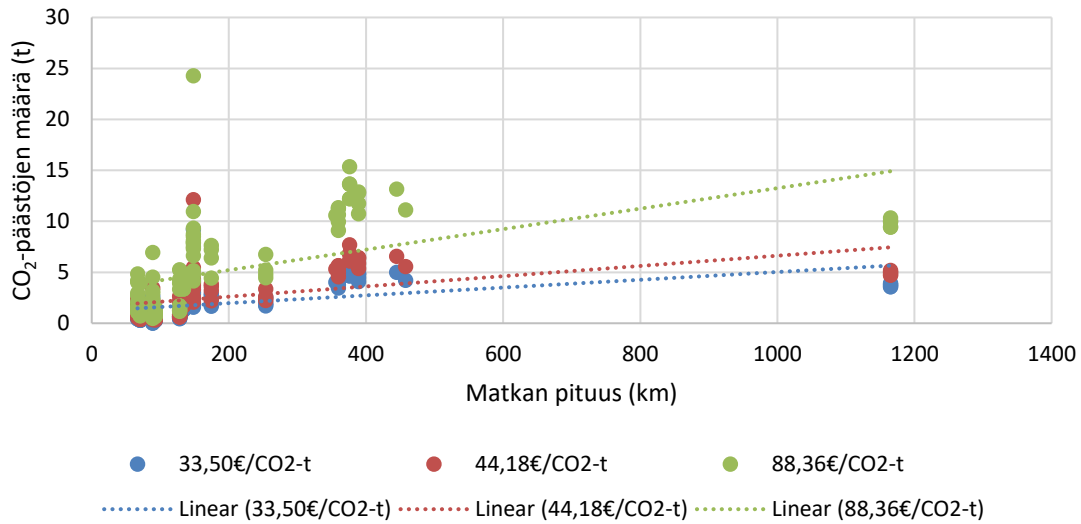
Kuten aikaisemmassa alaluvussa ro-ro-aluksille, tässä alaluvussa esitetään yhteenvedot ro-pax-aluksille. Kuvioon 16 on koostettu kaikki ro-pax-alusten tekemät matkat ja niistä syntyvät rahdille kohdistettavat CO<sub>2</sub>-päästö määrät. Arvojen perusteella on laskettu myös ro-pax-alusten matkan ja CO<sub>2</sub>-päästö määrän regressiosuora. Kuviossa 17 on puolestaan esitetty sama asia matkustajille kohdistettavien päästöjen avulla. Kuviossa 18 on esitetty yhden kaistametrin lisäkustannus matkan suhteen eri päästö oikeuden hinnoilla sekä niiden regressiosuorat ja kuviossa 19 puolestaan yhden henkilö kilometrin lisäkustannus matkan suhteen. Näiden kuvioden jälkeen esitetyissä taulukoissa 24, 25 ja 26 on ro-pax-aluksille koostettu yhteenvedot syntyneistä lisäkustannuksista Suomen ja ulkomaiden välisessä liikenteessä. Ro-pax-alusten alus- ja matkakohtaiset CO<sub>2</sub>-päästöt ja lisäkustannukset löytyvät liitteestä 2. Taulukot on jaettu päästö oikeuden hinnan mukaan kolmeen taulukkoon. Taulukoissa ensimmäisenä on matka, johon on sisällytetty matkat joko Suomesta kohdemaan tai kohdemaasta Suomeen. Sen jälkeen esitetään kaistametrin lisäkustannuksen vaihteluväli ja keskiarvo, joiden jälkeen on kaistametrin keskiarvon perusteella laskettu henkilöauton sekä puoliperävaunun lisäkustannus. Sääntönä pidetään, että yksi henkilöauto vie kuusi kaistametriä ja yksi puoliperävaunu 18 kaistametriä. Taulukoissa 27, 28 ja 29 on esitetty matkustajan lisäkustannus eri päästö oikeuden hinnoilla. Matkustajan lisäkustannus on laskettu Suomen ja kohdemaan välisen matkan keskiarvon avulla.



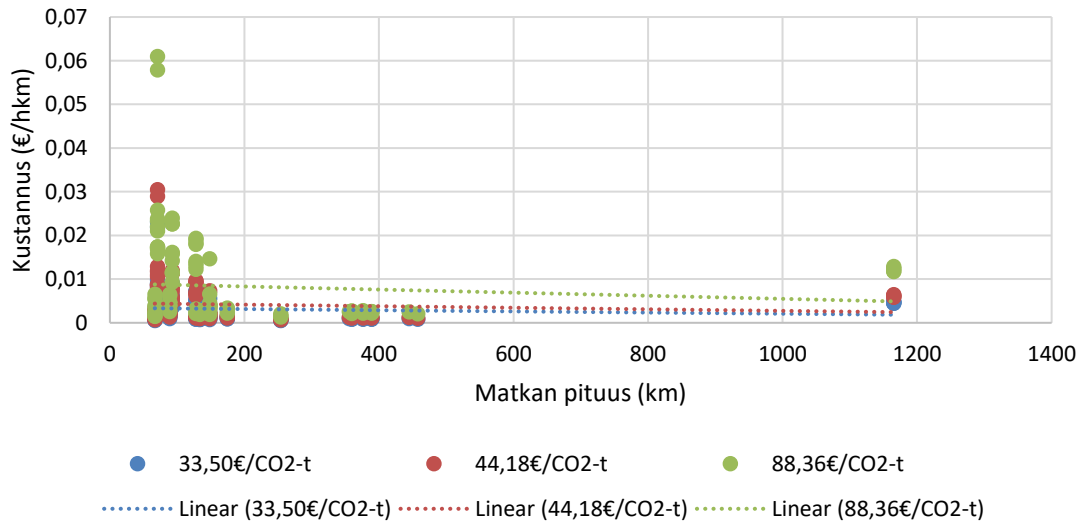
Kuvio 16 Ro-pax-alusten rahdille kohdistetun CO<sub>2</sub>-päästö määrän kehitys matkan suhteen



Kuvio 17 Ro-pax-alusten matkustajille kohdistetun CO<sub>2</sub>-päästö määrän kehitys matkan suhteen



Kuvio 18 Ro-pax-alusten kaistametrin kustannuksen kehitys matkan suhteen eri päästöoikeuden hinnoilla



Kuvio 19 Ro-pax-alusten henkilökilometrin kustannuksen kehitys matkan suhteen eri päästöoikeuden hinnoilla



Taulukko 23 Suomen ja kohtamaan välisen ro-pax-liikenteen rahdin lisäkustannukset päästöoikeuden hinnan ollessa 33,50 €/CO<sub>2</sub>-t

Matka	Kaistametrin lisäkustannuksen vaihteluväli (€)	Kaistametrin lisäkustannuksen keskiarvo (€)	Henkilöauton lisäkustannus (€)	Puoliperävaunun lisäkustannus (€)
Suomi – Saksa	3,61–5,81	4,71	28,26	84,78
Suomi – Viro	0,28–4,88	1,74	10,42	31,26
Suomi – Venäjä	3,69–4,18	3,94	23,61	70,83
Suomi – Ruotsi	0,52–9,2	4,13	24,75	74,25

Taulukko 24 Suomen ja kohtamaan välisen ro-pax-liikenteen rahdin lisäkustannukset päästöoikeuden hinnan ollessa 44,18 €/CO<sub>2</sub>-t

Matka	Kaistametrin lisäkustannuksen vaihteluväli (€)	Kaistametrin lisäkustannuksen keskiarvo (€)	Henkilöauton lisäkustannus (€)	Puoliperävaunun lisäkustannus (€)
Suomi – Saksa	4,76–5,03	4,90	29,37	88,11
Suomi – Viro	0,37–6,44	2,29	13,72	41,17
Suomi – Venäjä	4,87–5,52	5,20	31,17	93,51
Suomi – Ruotsi	0,69–12,13	5,44	32,64	97,92

Taulukko 25 Suomen ja kohtamaan välisen ro-pax-liikenteen rahdin lisäkustannukset päästöoikeuden hinnan ollessa 88,36 €/CO<sub>2</sub>-t

Matka	Kaistametrin lisäkustannuksen vaihteluväli (€)	Kaistametrin lisäkustannuksen keskiarvo (€)	Henkilöauton lisäkustannus (€)	Puoliperävaunun lisäkustannus (€)
Suomi – Saksa	9,52–10,05	9,79	58,71	176,13
Suomi – Viro	0,74–12,88	4,58	27,47	82,41
Suomi – Venäjä	9,74–11,03	10,39	62,31	186,93
Suomi – Ruotsi	1,37–24,26	10,88	65,28	195,85

Taulukko 26 Suomen ja kohtemaan välisen ro-pax-liikenteen matkustajan lisäkustannus päästöoikeuden hinnan ollessa 33,50 €/CO<sub>2</sub>-t

Matka	Henkilökilometrin lisäkustannuksen vaihteluväli (€)	Henkilökilometrin lisäkustannuksen keskiarvo (€)	Matkustajan lisäkustannus (€)
<b>Suomi – Saksa</b>	0,004–0,005	0,0045	5,24
<b>Suomi – Viro</b>	0,001–0,011	0,0028	0,41
<b>Suomi – Venäjä</b>	0,0010	0,0010	0,36
<b>Suomi – Ruotsi</b>	0,001–0,016	0,0037	1,03

Taulukko 27 Suomen ja kohtemaan välisen ro-pax-liikenteen matkustajan lisäkustannus päästöoikeuden hinnan ollessa 44,18 €/CO<sub>2</sub>-t

Matka	Henkilökilometrin lisäkustannuksen vaihteluväli (€)	Henkilökilometrin lisäkustannuksen keskiarvo (€)	Matkustajan lisäkustannus (€)
<b>Suomi – Saksa</b>	0,006	0,006	6,99
<b>Suomi – Viro</b>	0,001–0,014	0,0035	0,52
<b>Suomi – Venäjä</b>	0,010	0,0010	0,36
<b>Suomi – Ruotsi</b>	0,001–0,022	0,0047	1,30

Taulukko 28 Suomen ja kohtemaan välisen ro-pax-liikenteen matkustajan lisäkustannus päästöoikeuden hinnan ollessa 88,36 €/CO<sub>2</sub>-t

Matka	Henkilökilometrin lisäkustannuksen vaihteluväli (€)	Henkilökilometrin lisäkustannuksen keskiarvo (€)	Matkustajan lisäkustannus (€)
<b>Suomi – Saksa</b>	0,012–0,013	0,0125	14,56
<b>Suomi – Viro</b>	0,001–0,28	0,0071	1,04
<b>Suomi – Venäjä</b>	0,002–0,003	0,0025	0,90
<b>Suomi – Ruotsi</b>	0,002–0,042	0,0093	2,59

## 7 Johtopäätökset ja keskustelu

### 7.1 Johtopäätökset

Tulosten perusteella voidaan todeta, että päästöoikeudella ja sen hinnalla tulee olemaan merkittävä kustannusvaikutus niin ro-ro kuin ro-pax-liikenteeseenkin. Tutkielman tutkimuskysymykseen eli ”kuinka suuret lisäkustannukset merenkulun asettaminen Euroopan unionin päästökaupan alaiseksi aiheuttaa vakituisesti Suomen kautta liikennöiville olemassa oleville ro-ro ja ro-pax-aluksille?” vastaamiseksi luodaan seuraavat johtopäätökset syntyvistä lisäkustannuksista Suomen ja kohdemaan välisessä liikenteessä:

- Suomen ja Saksan välillä yhden kaistametrin lisäkustannuksen keskiarvo vaihtelee 3,72–9,81 euron ja henkilökilometrin 0,0045–0,0125 euron välillä. Kaistametrin lisäkustannuksen suuruudessa ei ole havaittavaa eroa ro-ro ja ro-pax-aluksien välillä. Henkilöautolle tämä tarkoittaa 22,32–58,89 euron lisäkustannusta ja puoliperävaunulle 66,97–176,67 euron lisäkustannusta. Matkustajan lisäkustannus on 5,24–14,56 euron välillä.
- Suomen ja Viron välillä kaistametrin lisäkustannuksen keskiarvo vaihtelee 0,42–4,58 euron välillä ja henkilökilometrin 0,0028–0,0071 euron välillä. Ro-ro-aluksilla kaistametrin lisäkustannus on merkittävästi matalampi kuin ro-pax-aluksilla. Henkilöautolle lisäkustannus vaihtelee ro-ro-aluksilla 2,52–6,65 euron ja ro-pax-aluksilla 10,42–27,47 euron välillä. Puoliperävaunulle vastaavat lisäkustannusten vaihteluvälit ovat 7,56–19,96 euroa ja 31,26–82,41 euroa. Matkustajan lisäkustannus on puolestaan 0,41–1,04 euron välillä.
- Suomen ja Belgian välillä kaistametrin lisäkustannuksen keskiarvo vaihtelee 8,85–23,35 euron välillä. Tällä matkalla kulkee ainoastaan ro-ro-aluksia. Henkilöauton lisäkustannus on 53,13–140,12 euroa ja puoliperävaunun 159,38–420,36 euroa.
- Suomen ja Iso-Britannian välillä kaistametrin lisäkustannus vaihtelee 11,18–29,39 euron välillä. Tällä matkalla kulkee ainoastaan ro-ro-aluksia ja huomion arvoista on, että ainoastaan yksi alus (Finnmaster) kulkee Suomen ja Iso-Britannian välillä ilman välipysähdyksiä. Suurin osa aluksista kulkee Belgian

kautta. Henkilöauton lisäkustannus vaihtelee 67,06–176,32 euron ja puoliperävaunun 201,19–528,96 euron välillä.

- Suomen ja Venäjän välillä kaistametrin lisäkustannuksen keskiarvo vaihtelee 1,69–10,39 euron ja henkilökilometrin 0,0010–0,0025 euron välillä. Ro-ro-aluksilla kaistametrin lisäkustannus on selvästi alhaisempi kuin ro-pax-aluksilla. Henkilöauton lisäkustannus vaihtelee ro-ro-aluksilla 10,11–26,68 euron välillä, kun taas ro-pax-aluksilla kaistametrin lisäkustannus vaihtelee 23,61–62,31 euron välillä. Puoliperävaunun lisäkustannuksen vaihteluvälit ovat 30,34–80,03 euroa ja 70,83–186,93 euroa. Matkustajan lisäkustannus on 0,36–0,90 euron välillä.
- Suomen ja Puolan välillä kaistametrin lisäkustannuksen keskiarvo vaihtelee 1,86–4,89 euron välillä. Tällä reitillä kulkee ainoastaan ro-ro-aluksia. Henkilöauton lisäkustannus on 11,13–29,36 euron ja puoliperävaunun 33,39–88,07 euron välillä.
- Suomen ja Espanjan välillä kaistametrin lisäkustannuksen keskiarvo vaihtelee 12,88–33,99 euron välillä. Tällä reitillä kulkee ainoastaan ro-ro-aluksia ja huomion arvoista on, että vain yksi alus kulkee suoraan Suomesta Espanjaan. Muut tutkielmassa tällä välillä huomioituiden matkat, on koostettu useasta eri vaihtoehdosta, joista yleisin on Suomi – Belgia – Espanja. Matkan aikana täytyy vielä Belgiassa vaihtaa satamaa Zeebruggen ja Antwerpenin välillä, jota ei ole otettu huomioon päästöjen laskussa. Henkilöauton lisäkustannus vaihtelee 77,29–203,91 euron ja puoliperävaunun 231,88–611,74 euron välillä, mutta ne voivat todellisuudessa olla vielä korkeammat.
- Suomen ja Tanskan välillä kaistametrin lisäkustannuksen keskiarvo vaihtelee 4,11–10,83 euron välillä. Tällä reitillä liikennöi ainoastaan kaksi ro-ro-alusta. Henkilöauton lisäkustannus vaihtelee 24,63–64,98 euron ja puoliperävaunun 73,89–194,94 euron välillä.
- Suomen ja Ruotsin välillä kaistametrin lisäkustannuksen keskiarvo vaihtelee 1,58–10,88 euron ja henkilökilometrin 0,0037–0,0093 euron välillä. Ro-ro-aluksilla kaistametrin lisäkustannus on selvästi alhaisempi kuin ro-pax-aluksilla. Henkilöauton lisäkustannus vaihtelee ro-ro-aluksilla 12,06–31,80 euron välillä ja ro-pax-aluksilla puolestaan 24,75–65,28 euron välillä. Vastaavat luvut

puoliperävaunulle ovat 36,18–95,40 euroa ja 74,25–195,85 euroa. Matkustajan lisäkustannuksen vaihteluväli on puolestaan 1,03–2,59 euroa.

- Suomen ja Alankomaiden välillä kaistametrin lisäkustannuksen keskiarvo vaihtelee 4,69–12,38 euron välillä. Tällä reitillä kulkee ainoastaan ro-ro-aluksia ja huomion arvoista on, että tällä reitillä kulkee vain yksi alus (ML Freyja). Henkilöauton lisäkustannuksen vaihteluväli on 28,14–74,28 euroa ja puoliperävaunun 84,42–222,84 euroa.

Johtopäätösten avulla voidaan siis todeta, että päästöoikeuden aiheuttama lisäkustannus tulee olemaan ro-ro ja ro-pax-liikenteelle erityisen merkittävä. Tällä hetkellä esimerkiksi henkilöauton kustannus Helsingin ja Tallinnan välillä liikkuu 20–40 euron välillä riippuen lähdön kellonajasta ja päivämäärästä sekä varustamosta. Näin ollen päästöoikeuden aiheuttama lisäkustannus on henkilöautolle tällä välillä pienimmilläänkin 12,6 prosenttia ja suurimmillaan se voi nousta jopa 68,7 prosenttiin. Matkustajan kustannus on tällä välillä puolestaan noin 30 euroa, joten matkustajan lisäkustannus tulisi olemaan alhaisimmillaan 1,7 prosenttia ja korkeimmillaan 3,5 prosenttia. Kustannusvaikutus matkustajiin tulisi olemaan siis huomattavasti vähäisempi. Toisena esimerkkinä voidaan nostaa Helsinki–Tukholma-väli, jolla henkilöauton kustannus liikkuu noin 100 euron tuntumassa. Päästöoikeuden aiheuttama lisäkustannus on tälläkin välillä pienimmillään 12,1 prosenttia ja suurimmillaan 65,3 prosenttia. Matkustajan kustannus on noin 90 euroa, jolloin lisäkustannuksen osuus olisi alhaisimmillaan 1,1 prosenttia ja korkeimmillaan 2,9 prosenttia. Kustannusvaikutus matkustajiin on tälläkin välillä siis merkittävästä pienempi kuin rahtiin kohdistuva kustannusvaikutus.

## **7.2 Jatkotutkimus ja rajoitukset**

Jatkotutkimuksen kannalta on tärkeä tutkia syvällisemmin ja yksityiskohtaisemmin tämänhetkisiä rahtihintoja, jolloin saataisiin kattavampi kokonaiskuva syntyvien lisäkustannusten suhteellisista osuuksista. Lisäksi jatkotutkimusta tehtäessä on todennäköisesti saatavilla myös tarkempi päästöoikeuden hintataso sekä vahvistettu tapa, miten merenkulku sidotaan EU ETS:n alaisuuteen. Molemmat näistä mahdollistavat lisäkustannusten ja syntyvien päästökaupan alaisten päästöjen entistä tarkemman määrittämisen.

Tätä tutkielmaa tehtäessä jouduttiin tekemään suhteellisen laajamittaisia yksinkertaistuksia ja yleistyksiä, jotka vaikuttavat tutkielman validiteettiin ja reliabiliteettiin. Tutkimustulokset eivät anna täysin realistista kuvaa lisäkustannusten määrästä, koska suurinta osaa apukoneiden SFOC-arvoista ja konetehoista sekä osittain myös pääkoneiden SFOC-arvoista ei ollut saatavilla julkisista lähteistä, jonka takia tutkielmassa jouduttiin turvautumaan imputointiin. Lisäksi on huomioitava, että tutkielmassa oletetaan aluksen täyttöasteen olevan 100 prosenttia eli kapasiteetin oletetaan olevan maksimi käytössä, joka ei kuitenkaan aina kuvasta todellisuutta. Mikäli täyttöaste on maksimia pienempi, kohdistuu yhdelle kaistametrille ja henkilökilometrille aina suurempi lisäkustannus, sillä aluksen liikennöinnistä aiheutuvaa päästömäärää voidaan pitää likipitäen vakiona. Tästä syystä voi kustannusvaikutus olla tämän tutkielman laskelmia vieläkin korkeampi. Huomion arvoista on myös se, että matka-aikojen arvioinnissa on hyödynnetty olemassa olevia aikatauluja ja oletettu alusten toimivan niiden mukaisesti myös jatkossa. Vaikka ro-ro-liikenne on hyvin aikataulusidonnaista, todellisuudessa varustamoilla on mahdollisuus kuitenkin muuttaa aikataulujaan sopeutuakseen uuteen vallitsevaan tilanteeseen.

## Lähteet

- Abadie, L.M. – Goicoechea, N. – Galarraga, I. (2017) Adapting the shipping sector to stricter emissions regulations: Fuel switching or installing a scrubber? *Transportation Research Part D*, Vol. 57, 237–250.
- Aleluia, J. (2018) The European Union Emissions Trading System (EU ETS): design elements and reporting framework: Technical Training on Carbon Pricing. <<https://unfccc.int/sites/default/files/resource/6.Case%20study1%20Development%20of%20ETS%20in%20EU%20and%20the%20key%20design%20elements%20and%20lesson%20learned.pdf>>, haettu 1.10.2021.
- Alhosalo, M. – Helminen, R. (2019) Benchmarking of ro-ro connections in the Baltic Sea and the North Sea. Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskus, Turun yliopisto, Turku.
- Balcombe, P. – Brierley, J. – Lewis, C. – Skatvedt, L. – Speirs, J. – Hawkes, A. – Staffell, I. (2019) How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies. *Energy Conversion and Management*, Vol. 182, 72–88.
- Bergqvist, R. - Turesson, M. - Weddmark, A. (2015). Sulphur emission control areas and transport strategies - the case of Sweden and the forest industry. *European Transport Research Review*, Vol. 7 (10), 1–15.
- Bjornland, D. (1993) The importance of Short-sea shipping in European transport. Short-sea Shipping, OECD/ECMT Paris, Economic Research Center.
- Bouman, E.A. – Lindstad, E. – Rialland, A.I. – Strømman, 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, 408–421.
- Brynolf, S. – Fridell, E. – Andersson, K. (2014) Environmental assessment of marine fuels: liquefied natural gas, liquefied biogas, methanol and bio-methanol. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 74, 86–95.
- Business insider (2021) CO2 European Emission Allowances. <<https://markets.businessinsider.com/commodities/co2-european-emission-allowances>>, haettu 18.12.2021.
- Chryssakis, C. (2017) Green Ship of the Future. Encyclopedia of Maritime and Offshore Engineering.

- Climate policy info hub (2021) The EU Emissions Trading System: an Introduction. <<https://climatepolicyinfohub.eu/eu-emissions-trading-system-introduction.html>>, haettu 1.10.2021.
- Coase, R. H. (2013) The Problem of Social Cost. *Journal of Law & Economics*, Vol. 56 (4), 837–878.
- Corbett, J. J. – Wang, H. – Winebrake, J. J. (2009) The effectiveness and costs of speed reductions on emissions from international shipping. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 14 (8), 593–598.
- Delhaye, E. – Breemersch, T. – Vanherle, K. – Kehoe, J. – Liddane, M. – Riordan, K. (2010) The competitiveness of European short-sea freight compared with road and rail transport: Final Report. <[https://www.schonescheepvaart.nl/downloads/rapporten/doc\\_1361789985.pdf](https://www.schonescheepvaart.nl/downloads/rapporten/doc_1361789985.pdf)>, haettu 13.11.2021.
- Deyan Marine (2021) Advantages and Disadvantages of Ro-Ro ships. <<https://www.deyuanmarine.com/Advantages-and-Disadvantages-of-Ro-Ro-ships-id3779085.html>>, haettu 27.10.2021.
- Dominioni, G. – Heine, D. – Martinez Romera, B. (2018) Regional carbon pricing for international maritime transport - Challenges and opportunities for global geographical coverage. *Maaillman pankin julkaisu*, Policy Research Working Paper 8319, World Bank Group.
- EDF (2021) How cap and trade works. <<https://www.edf.org/climate/how-cap-and-trade-works>>, haettu 1.10.2021.
- EEA (2022) EU ETS data viewer. <<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1>>, haettu 6.1.2022.
- EEX (2021) EU ETS Auctions. <<https://www.eex.com/en/markets/environmental-markets/eu-ets-auctions>>, haettu 13.11.2021.
- Eide, M.S. – Longva, T. – Hoffman, P. – Endersen, Ø. – Dalsøren, S.B. (2011) Future cost scenarios for reduction of ship CO<sub>2</sub> emissions. *Maritime Policy & Management*, Vol. 38 (1), 11–37.
- Eide, M.S. - Chryssakis, C. - Endersen, Ø. (2013) CO<sub>2</sub> abatement potential towards 2050 for shipping, including alternative fuels. *Carbon Management*, Vol. 4 (3), 275–289.



- 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), 365–375.
- EMEP/EAA (2020) EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 – Update Oct. 2020 Part: 1.A.3.d. Navigation European Environment Agency. <<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-d-navigation/view>>, haettu 20.10.2021.
- EPA (2021) Overview of Greenhouse Gases. <<https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases#nitrous-oxide>>, haettu 20.10.2021.
- EU (2003) DIRECTIVE 2003/87/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC.
- Euroopan komissio (2000) Green Paper on greenhouse gas emissions trading within the European Union COM/2000/0087 final.
- Euroopan komissio (2008) EU action against climate change: The EU Emissions Trading Scheme. <[https://www.ab.gov.tr/files/ardb/evt/1\\_avrupa\\_birligi/1\\_6\\_raporlar/1\\_3\\_diger/evnvironment/eu\\_emissions\\_trading\\_scheme.pdf](https://www.ab.gov.tr/files/ardb/evt/1_avrupa_birligi/1_6_raporlar/1_3_diger/evnvironment/eu_emissions_trading_scheme.pdf)>, haettu 2.10.2021.
- Euroopan komissio (2021a) Development of EU ETS (2005-2020). <[https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/development-eu-ets-2005-2020\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/development-eu-ets-2005-2020_en)>, haettu 30.9.2021.
- Euroopan komissio (2021b) National allocation plans. <[https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/development-eu-ets-2005-2020/national-allocation-plans\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/development-eu-ets-2005-2020/national-allocation-plans_en)>, haettu 2.10.2021.
- Euroopan komissio (2021c) Auctioning. <[https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/auctioning\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/auctioning_en)>, haettu 8.10.2021.
- Euroopan komissio (2021d) 'Fit for 55': delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality COM (2021) 550 final.
- Euroopan komissio (2021e) DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2003/87/EC establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the Union, Decision (EU)

2015/1814 concerning the establishment and operation of a market stability reserve for the Union greenhouse gas emission trading scheme and Regulation (EU) 2015/757 COM/2021/551 final. Euroopan komissio, Bryssel.

Euroopan komissio (2021f) Market Stability Reserve. <[https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/market-stability-reserve\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/market-stability-reserve_en)>, haettu 6.10.2021.

Euroopan komissio (2021h) Questions and Answers - Emissions Trading – Putting a Price on carbon. <[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda\\_21\\_3542](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_21_3542)>, haettu 8.10.2021.

Euroopan komissio (2021i) COMMISSION REGULATION (EU) No 1031/2010 of 12 November 2010 on the timing, administration and other aspects of auctioning of greenhouse gas emission allowances pursuant to Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council establishing a system for greenhouse gas emission allowances trading within the Union.

Eurostat (2020) Maritime freight and vessels statistics. <[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Maritime\\_freight\\_and\\_vessels\\_statistics#Seaborne\\_freight\\_handled\\_in\\_European\\_ports](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Maritime_freight_and_vessels_statistics#Seaborne_freight_handled_in_European_ports)>, haettu 27.10.2021.

Faber, J. – Markowska, A. – Eyring, V. – Cionni, I. – Selstad, E. (2010) A Global Maritime Emissions Trading System. Design and Impacts on the Shipping Sector, Countries and Regions. Delft, CE Delft.

Gu, Y. – Wallace, S.W. – Wang, X. (2019) Can an Emission Trading Scheme really reduce CO<sub>2</sub> emissions in the short term? Evidence from a maritime fleet composition and deployment model. *Transport Research Part D*, Vol. 74, 318–338.

Hansson, J. – Brynolf, S. – Fridell, E. – Lehtveer, M. (2020) The potential role of ammonia as marine fuel-based on energy systems modelling and multi-criteria decision analysis. *Sustainability*, Vol. 12 (8), 1–20.

Heine, D. – Gäde, S. – Dominioni, G. – Martínez Romera, B. – Pieters, A. (2017) A regional solution for a transnational problem? A mechanism to unilaterally tax maritime emissions while satisfying extraterritoriality, tax competition and political constraints, Rotterdam Institute of Law and Economics (RILE) Working Paper Series No. 2014/06, haettu 17.12.2021.

- Hjelle, H. M. – Fridell, E. (2012) When is Short Sea Shipping Environmentally Competitive? Teoksessa: *Environmental Health - Emerging Issues and Practice*, toim. Jacques Oosthuizen, 3–20. InTech, Rijeka.
- IMO (2014) Third IMO Greenhouse Gas Study 2014.  
<<https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2021/01/third-imo-ghg-study-2014-executive-summary-and-final-report.pdf>>, haettu 2.12.2021.
- IMO (2020) Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020.  
<<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Fourth%20IMO%20GHG%20Study%202020%20-%20Full%20report%20and%20annexes.pdf>>, haettu 2.12.2021.
- Investopedia (2021) Freight Derivatives.  
<[https://www.investopedia.com/terms/f/freight\\_derivatives.asp](https://www.investopedia.com/terms/f/freight_derivatives.asp)>, haettu 13.10.2021.
- Karvonen, T. – Jousilahti, J. (2018) ALUSLIIKENTEEN YKSIKKÖ-KUSTANNUKSET 2018. Väyläviraston julkaisuja 49/2020.
- Kasanen, E. – Lukka, K. – Siitonen, A. (1993) The constructive approach in management accounting research. *Journal of Management Accounting Research*, Vol. 5, 243–264.
- Kågeson, P. (2011) Options for Europe when acting alone on CO2 emissions from shipping. Centre for Transport Studies, Stockholm.
- 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.
- Lombardo, G. A. (2004) Short Sea Shipping: Practices, Opportunities and Challenges.  
<[http://www.insourceaudit.com/WhitePapers/Short\\_Sea\\_Shipping.asp](http://www.insourceaudit.com/WhitePapers/Short_Sea_Shipping.asp)>, haettu 2.11.2021.
- Lukka, K. (2001) Konstruktiivinen tutkimusote. <<https://metodix.fi/2014/05/19/lukka-konstruktiivinen-tutkimusote/>>, haettu 4.12.2021.
- Marine insight (2021a) What are Ro-Ro Ships? <<https://www.marineinsight.com/types-of-ships/what-are-ro-ro-ships/>>, haettu 27.10.2021.
- Marine insight (2021b) 8 Reasons That Make Ro-Ro Ship Unsafe to Work On.  
<<https://www.marineinsight.com/marine-safety/8-reasons-that-make-ro-ro-ship-unsafe-to-work-on/>>, haettu 27.10.2021.

- Meadows, D. – Slingenberg, Y. – Zapfel, P. (2015) EU ETS: Pricing carbon to drive cost-effective reductions across Europe. Teoksessa: *EU Climate Policy Explained*, toim. Jos Delbeke – Peter Vis. 26-51, Routledge, Abingdon.
- Medda, F. – Trujillo, L. (2010) Short-sea shipping: An analysis of its determinants. *Maritime Policy & Management*, Vol. 37 (3), 285–303.
- Mellin, A. – Elkerbout, M. – Hansson, J. – Fridell, E. (2020) Including maritime transport in the EU Emission Trading System - addressing design and impacts. ResearchGate, DOI: 10.13140/RG.2.2.13774.82248.
- 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 (9), 5490–5498.
- Mulligan, R. F. – Lombardo, G. A. (2006) Short Sea Shipping Alleviating the Environmental Impact of Economic Growth. *WMU Journal of Maritime Affairs*, Vol. 5 (2), 181–194.
- Neilimo, K. – Näsi, J. (1980) *Nomoteettinen tutkimusote ja suomalaisen yrityksen taloustiede: Tutkimus positivismin soveltamisesta*. Tampereen yliopisto: Tampereen yliopiston julkaisuja A2:12, Tampere.
- Paixão, A. C. – Marlow, P. B. (2002) strengths and weaknesses of Short-sea shipping. *Marine Policy*, Vol. 26 (3), 167–178.
- Panagakos, G. – Solakivi, T. – Zis, T. - Psaraftis, H. N. (2019a) The role of Ro-Ro shipping in a stricter regulatory environment. Technical University of Denmark, Denmark.
- Panasiuk, I. – Turkina, L. (2015) The evaluation of investments efficiency of SOx scrubber installation. *Transport Research Part D*, Vol. 40, 87–96.
- Parker, S. – Shaw, A. – Rojon, I. – Smith, T. (2021) Harnessing the EU ETS to reduce international shipping emissions: assessing the effectiveness of the proposed policy inclusion of shipping in the EU ETS to reduce international shipping emissions. Environmental Defense Fund Europe, London.
- Perčić, M. – Vladimir, N. – Fan, A. (2020) Life-cycle cost assessment of alternative marine fuels to reduce the carbon footprint in short-sea shipping: A case study of Croatia. *Applied Energy*, Vol. 279.
- Pigou, A. C. (1932) *The Economics of Welfare*. 4. uud. p. MacMillian and Co. Limited, London.

- Reland, J. – Overton, S. (2021) UK and EU Greenhouse Gas Emissions Trading Schemes. <<https://ukandeu.ac.uk/explainers/uk-eu-emissions-trading-schemes/>>, haettu 2.10.2021.
- Reuters (2021a) Analysts raise EU carbon price forecasts as tougher climate targets loom. <<https://www.reuters.com/business/sustainable-business/analysts-raise-eu-carbon-price-forecasts-tougher-climate-targets-loom-2021-04-20/>>, haettu 15.12.2021.
- Reuters (2021b) Analysts raise EU carbon price forecasts as gas rally drives up coal power. <<https://www.reuters.com/business/energy/analysts-raise-eu-carbon-price-forecasts-gas-rally-drives-up-coal-power-2021-10-14/>>, haettu 15.12.2021.
- Salmi, T. – Järvenpää, M. (2000) Laskentatoimen case-tutkimus ja nomoteettinen tutkimusajattelu sulassa sovussa. *Liiketaloudellinen aikakauskirja*, Vol. 2, 263–275.
- Shell Marine (2021) IMO 2020 READY. <[https://www.shell.com/business-customers/marine/imo-2020/jcr\\_content/par/relatedtopics.stream/1571229884361/2bd59ebc559181c010ae2a4fbecd680190ed1409/imo-2020-comprehensive-guide-v17.pdf](https://www.shell.com/business-customers/marine/imo-2020/jcr_content/par/relatedtopics.stream/1571229884361/2bd59ebc559181c010ae2a4fbecd680190ed1409/imo-2020-comprehensive-guide-v17.pdf)>, haettu 20.10.2021.
- Shi, Y. (2016) Reducing greenhouse gas emissions from international shipping: Is it time to consider market-based measures. *Marine Policy*, Vol. 64, 123–134.
- Ship & Bunker (2021) World Bunker Prices. <<https://shipandbunker.com/prices#MGO>>, haettu 28.12.2021. X
- 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 (2), 207–222.
- Solakivi, T. – Jalkanen, J-P. – Perrels, A. – Kiiski, T. – Ojala, L. (2020) MERENKULUN PÄÄSTÖKAUPAN VAIKUTUKSET. Valtioneuvoston selvitys.
- Song, D. – Panayides, P. (2015) *Maritime Logistics: A Guide to Contemporary Shipping and Port Management*. Kogan Page, London.
- Srivastava, A. (2016) Compliant strategy for shipowners towards sustainable maritime transport: a decision framework for air emission reduction measures. WMU dissertations, <[https://commons.wmu.se/all\\_dissertations/519/](https://commons.wmu.se/all_dissertations/519/)>.
- Stopford, M. (2009) *Maritime Economics*. 3. uud. p. Routledge, Milton.

- Tietenberg, T.H. (2006) *Emissions Trading: Principles and Practice*. 2. uud. p. Routledge, New York.
- Tietenberg, T.H. (2010) The Evolution of Emissions Trading. Teoksessa: *Better Living through Economics*, toim. John J. Siegfried, 42–62. Harvard University Press, Cambridge.
- Tilastokeskus (2021a) Varsinaiseen kauppalaivastoon kuului 675 alusta syyskuussa 2021. <[https://www.stat.fi/til/klaiv/2021/09/klaiv\\_2021\\_09\\_2021-10-07\\_tie\\_001\\_fi.html](https://www.stat.fi/til/klaiv/2021/09/klaiv_2021_09_2021-10-07_tie_001_fi.html)>, haettu 15.10.2021.
- TransGlory (2021) What are RORO ships and their advantages. <<https://www.transglory.com/en/ro-ro-ships-maritime-freight-transportation-advantages/>>, haettu 27.10.2021.
- UNCTAD (2020a) Merchant fleet. <[https://stats.unctad.org/handbook/MaritimeTransport/MerchantFleet.html#ref\\_Unctad\\_2020a](https://stats.unctad.org/handbook/MaritimeTransport/MerchantFleet.html#ref_Unctad_2020a)>, haettu 13.10.2021.
- UNCTADstat (2021) Data Center. <[https://unctadstat.unctad.org/wds/ReportFolders/reportFolders.aspx?sCS\\_ChosenLang=en](https://unctadstat.unctad.org/wds/ReportFolders/reportFolders.aspx?sCS_ChosenLang=en)>.
- UNFCCC (2021) What is the Kyoto Protocol? <[https://unfccc.int/kyoto\\_protocol/](https://unfccc.int/kyoto_protocol/)>, haettu 1.10.2021.
- VTT (2017) Suomen matkustajalaivaliikenteen keskimääräinen päästö ja energiankäyttö vuonna 2016. <[http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloliikenne/vesiliikenne/kaikki\\_matkustaja.htm](http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloliikenne/vesiliikenne/kaikki_matkustaja.htm)>, haettu 11.12.2021.
- Weishaar, S. E. (2014) *Emissions Trading Design: A Critical Overview*. Edward Elgar Publishing Limited, Cheltenham.
- Wijnolst, N. – Wergeland (2009) *Shipping Innovation*. IOS Press, Amsterdam.
- Wikipedia (2021) Hiilidioksidi. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Hiilidioksidi>>, haettu 22.10.2021.
- Zamiatina, N. (2016) Comparative Overview of Marine Fuel Quality on Diesel Engine Operation. *Procedia Engineering*, Vol. 134, 157–164.
- Zis. T. – Psaraftis, H. (2018) Key performance indicators to assess and reverse the negative impact of SECA policies for Ro-Ro shipping. *FME Transactions*, Vol. 46 (3), 347–354.

- Zis, T. – Psaraftis, H. – Panagakos, G. – Kronbak, J. (2019) Policy measures to avert possible modal shifts caused by sulphur regulation in the European Ro-Ro sector. *Transportation Research Part D*, Vol. 70, 1–17.
- Zis, T. – Psaraftis, H. – Tillig, F. – Ringsberg, J. W. (2020) Decarbonizing maritime transport: A Ro-Pax case study. *Research in Transportation Business & Management*, Vol. 37, 1–12.
- Zis, T. – Psaraftis, H. (2021) Impacts of short-term measures to decarbonize maritime transport on perishable cargoes. *Maritime Economics & Logistics*. DOI: 10.1057/s41278-021-00194-7.
- Zhang, Y. – Wei, Y. (2010) An overview of current research on EU ETS: Evidence from its operating mechanism and economic effect. *Applied Energy*, Vol. 87 (6), 1804–1814.

## Liitteet

### Liite 1. Ro-ro-alusten tekniset tiedot

Alla on esitetty tutkielmassa huomioitujen ro-ro-alusten tekniset tiedot. Jos tietoa ei ole ollut saatavilla on alukselle merkitty punaisella aineiston avulla laskettu keskiarvo, jota on myös käytetty laskelmissa.

IMO ID	Aluksen nimi	Pääkonetehto (kW)	Pääkoneen SFOC (g/kWh)	Apukonetehto (kW)	Apukoneen SFOC (g/kWh)
9468889	MS Finnbreeze	22220	170	2220	187
9207895	MS Finnhawk	12599	174,2	2174	187
9207883	MS Finnkraft	12599	174,2	2174	187
9132014	MS Finnmaster	15598	173	2691	187
9234082	MS Finnmerchant	12600	174,2	2912	187
9212656	MS Finnmill	18900	174,2	3261	187
9212644	MS Finnulp	18900	174,2	3261	187
9468891	MS Finnsea	22220	170	2220	187
9468906	MS Finnsky	22220	170	2220	187
9468918	MS Finnsun	22220	170	2220	187
9468920	MS Finntide	22220	170	2220	187
9468932	MS Finnwave	22220	170	2220	187
9457191	M/F Eurocargo Savona	20367	178	2380	187
9198977	m/v Seagard	15600	174,2	1068	187
9443554	m/v Bore Sea	12000	170	2400	187
9307384	m/v Trica	25200	173	4348	187
9307358	m/v Timca	25200	173	4348	187
9345386	m/v Pulpoa	25200	173	4348	187
9345398	m/v Plyca	25200	173	4348	187
9307360	m/v Kraftca	25200	173	4348	187
9307372	m/v Genca	25200	173	4348	187
9357602	m/v Hafnia Sea	23208	178	4008	187
9357597	m/v Corona Sea	23208	178	4008	187
7226952	M/S Fjärdvägen	5884	174,2	1015	187
9799977	M/S ML Freyja	12000	176	2760	187
8716100	Polaris VG	5748	174,2	684	187
9186417	M/S Friedrich Russ	12600	174,2	2174	187
9395343	M/V Fionia Sea	23208	178	4008	187
9395355	M/V Jutlandia Sea	23433	174,2	4008	187
9334959	M/V Tavastland	12087	178	3040	187
9343261	M/V Thuleland	12087	178	3040	187
9343273	M/V Tundraland	12087	178	3040	187



IMO ID	Aluksen nimi	Jää- luokka	Suunnittelu- nopeus (solmua)	Rakennus- vuosi	Leveys (m)	Pituus (m)	Syväys (m)	DWT	GT	NT	Kaista- metrit	Lippu	Varustamo
9468889	MS Finnbreeze	IA	20	2011(päiv.2018)	26,5	217,77	7,1	14453	33816	10145	4192	Suomi	Finnlines
9207895	MS Finnhawk	IAS	20	2001	20,6	162,6	6,7	9035	11671	3502	1853	Suomi	Finnlines
9207883	MS Finnkraft	IAS	20	2000	20,6	162,6	6,7	9041	11671	3502	1853	Suomi	Finnlines
9132014	MS Finnmaster	IAS	20	1998	22,7	154,5	6,95	8647	12433	3730	1775	Suomi	Finnlines
9234082	MS Finnmerchant	IA	18	2003	26	193	6,6	13106	23235	6971	2606	Suomi	Finnlines
9212856	MS Finnmill	IA	20	2002	26,5	187,1	7,1	11744	25732	7720	3259	Suomi	Finnlines
9212844	MS Finnulp	IA	20	2002	26,5	187,1	7,1	11682	25732	7720	3259	Suomi	Finnlines
9468891	MS Finnsea	IA	21	2011(päiv.2018)	26,5	217,8	7,05	14438	33816	10145	4192	Suomi	Finnlines
9468906	MS Finnsky	IA	21	2012(päiv.2018)	26,5	217,8	7,1	14394	33816	10145	4192	Suomi	Finnlines
9468918	MS Finnson	IA	21	2012(päiv.2018)	26,5	217,8	7,05	14467	33816	10145	4192	Suomi	Finnlines
9468920	MS Finnside	IA	21	2012(päiv.2017)	26,5	217,8	7,05	14509	33816	10145	4192	Suomi	Finnlines
9468932	MS Finnwave	IA	21	2012(päiv.2018)	26,5	217,8	7,05	14498	33816	10145	4192	Suomi	Finnlines
9457191	M/F Eurocargo Savona	?	21	2011	26	193	6,5	11415	29429	8829	3650	Malta	Finnlines
9198977	m/v Seagard	IAS	21	1999	20,6	153,5	7	7226	10488	3147	1609	Suomi	Transfennica
9443554	m/v Bore Sea	IA	19	2011	26,7	195,4	6,9	13375	25586	7676	2863	Alankomaat	Transfennica
9307384	m/v Trica	IAS	22	2007	25,5	205	8,5	18250	28289	8490	2963	Alankomaat	Transfennica
9307358	m/v Timca	IAS	22	2006	25,5	205	8,5	18250	28301	8490	2963	Alankomaat	Transfennica
9345386	m/v Pulpoca	IAS	22	2008	25,8	205	8,4	18250	28289	8490	2963	Alankomaat	Transfennica
9345398	m/v Plyca	IAS	22	2009	25,8	205	8,4	18250	28289	8490	2963	Alankomaat	Transfennica
9307360	m/v Kraftoa	IAS	22	2006	25,8	205	8,4	18250	28289	8490	2963	Alankomaat	Transfennica
9307372	m/v Genca	IAS	22	2007	25,8	205	8,4	18250	28289	8490	2963	Alankomaat	Transfennica
9357802	m/v Halmia Sea	IA	20	2008	26,5	187,1	6,8	11702	25609	7682	3322	Iso-Britannia	Transfennica
9357597	m/v Corona Sea	IA	20	2008	26,5	187,1	6,8	11702	25609	7682	3322	Iso-Britannia	Transfennica
7226952	M/S Fjärdvägen	IA	17	1972	21,5	108,3	5	2566	6040	1812	780	Suomi	Rederi Ab Lillgaard
9799977	M/S ML Frejja	IA	19	2017	26,2	191,4	7,6	12784	24133	8000	3500	Italia	Mann Lines
8716100	Polaris VG	IAS	14	1988	20,2	123,9	6,2	6494	7950	2700	540	Suomi	UPM
9186417	M/S Friedrich Russ	IAS	20	1999	20,6	153,4	6,9	7291	10471	3141	1624	Portugal	UPM
9395343	M/V Fionia Sea	IA	20	2009	26,5	187,1	6,8	11702	25609	7682	3321	Iso-Britannia	Wallenius Sol
9395355	M/V Jutlandia Sea	IA	20	2009	26,5	187,6	6,9	11702	25609	7682	3321	Ruotsi	Wallenius Sol
9334959	M/V Tavastland	IA	19	2006	26,4	190,8	7,8	15960	23128	6938	2774	Ruotsi	Wallenius Sol
9343261	M/V Thuleland	IA	19	2006	26,4	190,8	7,8	15960	23128	6938	2774	Ruotsi	Wallenius Sol
9343273	M/V Tundraland	IA	19	2007	26,4	190,8	7,8	15960	23128	6938	2774	Ruotsi	Wallenius Sol

## Liite 2. Ro-pax-alusten tekniset tiedot

Alla on esitetty tutkielmassa huomioitujen ro-pax-alusten tekniset tiedot. Jos tietoa ei ole ollut saatavilla on alukselle merkitty punaisella aineiston avulla laskettu keskiarvo, jota on myös käytetty laskelmissa.

IMO ID	Aluksen nimi	Pääkoneteho (kW)	Pääkoneen SFOC (g/kWh)	Apukoneteho (kW)	Apukoneen SFOC (g/kWh)
9145164	MS Finnfellow	24559	175,2	3264	187
9336268	MS Finnlady	41220	175,2	3420	187
9319466	MS Finnmaid	41220	175,2	3420	187
9319442	MS Finnstar	41220	175,2	3420	187
9336256	MS Finnswan	41220	175,2	3420	187
9181106	M/S Finbo Cargo	22998	175,2	3823	187
9214379	M/S Finlandia	50400	175,2	4224	187
9773064	M/S Megastar	46309	175,2	7697	187
9364722	M/S Star	52261	178	8850	187
9443255	M/S Baltic Queen	39986	176	7380	187
8919805	M/S Silja Europa	31797	176	5285	187
9281281	M/S Victoria 1	32972	176	6750	187
8715259	M/S Silja Serenade	32580	175,2	10000	187
8803769	M/S Silja Symphony	32580	175,2	10000	187
9354284	M/S Baltic Princess	40053	175,2	7380	187
9333694	M/S Galaxy	33320	175,2	7080	187
7128332	M/S Sea Wind	7355	175,2	1223	187
9375654	M/S Viking XPRS	44440	170	4440	187
8917601	M/S Gabriella	32753	175,2	8994	187
8601915	M/S Amorella	23776	175,2	3952	187
9606900	M/S Viking Grace	30400	175,2	5053	187
8719188	M/S Viking Cinderella	37798	175,2	9000	187
7901265	M/S Rosella	17652	175,2	2934	187
8414582	M/S Princess Anastasia	23001	175,2	3150	187
9878319	M/S Aurora Botnia	18480	175,2	2300	187

IMO ID	Aluksen nimi	Jää- luokka	Suunnittelu- nopeus (solmua)	Rakennus- vuosi	Leveys (m)	Pituus (m)	Syväys (m)	DWT	GT	NT	Kaista- metrit	Lippu	Varustamo
9145164	M/S Finnfellow	IA	22,1	2000	29,5	189,7	6,3	7267	33724	10836	3099	Suomi	Finnlines
9336268	M/S Finnlady	IAS	22	2007	30,5	218,8	7,1	8840	45923	15013	4215	Suomi	Finnlines
9319466	M/S Finnmald	IAS	22	2006	30,5	218,8	7,1	9043	45923	15013	4215	Suomi	Finnlines
9319442	M/S Finnstar	IA	22	2006	30,5	218,8	7,1	9061	45923	15013	4215	Suomi	Finnlines
9336256	M/S Finnsan	IAS	22	2007	30,5	218,8	7,1	8870	45923	15013	4215	Suomi	Finnlines
9181106	M/S Finbo Cargo	IAS	22	2000	25	180	6,5	7477	22152	6645	2000	Suomi	Eckerö
9214379	M/S Finlandia	IAS	22,1	2001	27,6	175	7	5506	36365	?	1900	Suomi	Eckerö
9773064	M/S Megastar	IA	27	2017	30,6	212	7,1	6300	49200	15621	3653	Viro	Tallink
9364722	M/S Star	IA	27,5	2007	27,7	186	6,5	4700	36249	13316	1981	Viro	Tallink
9443255	M/S Baltic Queen	IAS	24,5	2009	29	212,1	6,4	6287	48915	30860	1130	Viro	Tallink
8919805	M/S Sijla Europa	IAS	22	1993	32,6	201,8	6,5	5380	59912	41309	932	Viro	Tallink
9281281	M/S Victoria 1	IAS	22	2004	29	192,9	6,5	4500	40975	24737	1030	Viro	Tallink
8715259	M/S Sijla Serenade	IAS	21-22	1990	31,9	203	7,1	4648	58376	35961	900	Suomi	Tallink
8803769	M/S Sijla Symphony	IAS	21-22	1991	31,9	203	7,1	5340	58377	35961	950	Ruotsi	Tallink
9354284	M/S Baltic Princess	IAS	24,5	2008	29	212,1	6,3	6287	48915	30860	1130	Suomi	Tallink
9333694	M/S Galaxy	IAS	22	2006	29	212,1	6,4	6287	48915	30860	1130	Ruotsi	Tallink
7128332	M/S Sea Wind	IB	18	1972	21	155	5	2635	15879	4843	1270	Viro	Tallink
9375654	M/S Viking XPRS	IAS	25	2008	27,7	185	6,6	5184	34000	13700	1000	Viro	Viking Line
8917601	M/S Gabriella	IAS	20,5	1992	27,6	171,2	6,4	2962	35492	22542	900	Suomi	Viking Line
8601915	M/S Amorella	IAS	20,5	1988	27,6	169,4	6,4	3690	34384	19689	900	Suomi	Viking Line
9606300	M/S Viking Grace	IAS	22	2013	31,8	218	6,6	6107	57565	38039	1275	Suomi	Viking Line
8719188	M/S Viking Cinderella	IAS	21	1989	29	191	6,7	4228	46398	29223	760	Ruotsi	Viking Line
7301265	M/S Rosella	IA	20,2	1980	24,2	136,1	5,6	2300	16879	5063	720	Suomi	Viking Line
8414582	M/S Princess Anastasia	?	22	1986	28,4	177,1	6,5	3420	37799	?	115	Italia	Moby / St. Peter Line
9878319	M/S Aurora Borgia	IAS	20	2021	26	150	6,1	24300	3500	?	1500	Suomi	Wasaline

### Liite 3. Ro-ro-alusten aluskohtaiset CO<sub>2</sub>-päästöt ja lisäkustannukset

Seuraavissa taulukoissa on esitetty aluskohtaisesti ro-ro-alusten tekemien matkojen CO<sub>2</sub>-päästöt, CO<sub>2</sub>-päästöt per kaistametri ja päästöoikeuden aiheuttama lisäkustannus kaistametreittäin eri päästöoikeuden hinnoilla. Samoilla reitillä ja aikatauluilla operoivat sekä teknisiltä ominaisuuksiltaan yhdenmukaiset alukset on laitettu samaan taulukkoon. Muistutuksena vielä, että matkan CO<sub>2</sub>-päästöihin on laskettu mukaan myös satamassa vietetystä ajasta syntyneet CO<sub>2</sub>-päästöt ennen seuraavaa matkaa. Mikäli alus liikennöi samojen satamien välillä eri matka-ajoilla, on päästöt laskettu näiden eri matka-aikojen keskiarvona. Ne on merkitty taulukon ”Matka”-sarakkeeseen \*-merkillä.

Taulukoiden ensimmäisessä sarakkeessa on matka, toisessa koko matkasta syntyvät CO<sub>2</sub>-päästötonnit ja kolmannessa montako CO<sub>2</sub>-päästötonnia voidaan kohdistaa yhdelle kaistametrille. Näiden jälkeen sarakkeissa neljä, viisi ja kuusi on laskettu, kuinka suuri lisäkustannus yhdelle kaistametrille voidaan kohdistaa eri päästöoikeuden hinnoilla.

Finnbreeze, Finnsun ja Finnsea

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Bilbao – Zeebrugge	434,82	0,10	3,47	4,58	9,17
Zeebrugge – Helsinki	886,84	0,21	7,09	9,35	18,69
Helsinki – Paldiski	53,77	0,01	0,43	0,57	1,13
Paldiski – Pietari	122,55	0,03	0,98	1,29	2,58
Pietari – Kotka	120,10	0,03	0,96	1,27	2,53
Kotka – Antwerp	862,20	0,21	6,89	9,09	18,17
Antwerp – Tilbury	321,75	0,08	2,57	3,39	6,78
Tilbury – Zeebrugge	151,61	0,04	1,21	1,60	3,20
Zeebrugge – Bilbao	588,46	0,14	4,70	6,20	12,40

## Finnkraft ja Finnhawk

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Rostock	205,36	0,11	3,71	4,90	9,79
Rostock – Helsinki	261,53	0,14	4,73	6,24	12,47
Helsinki – Aarhus *	232,77	0,13	4,21	5,55	11,10
Aarhus – Helsinki *	221,46	0,12	4,00	5,28	10,56

## Finnmaster

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Hull – Helsinki	498,13	0,28	9,40	12,40	24,80
Helsinki – Hull	461,89	0,26	8,72	11,50	22,99

## Finnpulp

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Travemünde – Helsinki	363,26	0,11	3,73	4,92	9,85
Helsinki – Travemünde	386,26	0,12	3,97	5,24	10,47
Travemünde – Pietari	525,40	0,05	5,40	7,12	14,24
Pietari – Kotka	117,91	0,01	1,21	1,60	3,20
Kotka – Travemünde	486,31	0,05	5,00	6,59	13,19

## Finnsky

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Kotka – Travemünde	459,42	0,11	3,67	4,84	9,68
Travemünde – Uusikaupunki *	335,84	0,08	2,68	3,54	7,08
Uusikaupunki – Travemünde *	343,53	0,08	2,75	3,62	7,24

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Turku - Travemünde	365,51	0,09	2,92	3,85	7,70
Travemünde - Pietari	506,90	0,12	4,05	5,34	10,68
Pietari - Kotka	138,52	0,03	1,11	1,46	2,92
Kotka - Lübeck	424,87	0,10	3,40	4,48	8,96
Lübeck - Pietari	439,08	0,10	3,51	4,63	9,26

## Finntide

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Lübeck – Pietari	439,08	0,10	3,51	4,63	9,26
Pietari – Kotka	138,52	0,03	1,11	1,46	2,92
Kotka – Lübeck	396,12	0,09	3,17	4,17	8,35
Travemünde – Uusikaupunki *	335,84	0,08	2,68	3,54	7,08
Uusikaupunki – Travemünde *	343,53	0,08	2,75	3,62	7,24
Turku – Travemünde	365,51	0,09	2,92	3,85	7,70

## Finnwave

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Travemünde – Pietari	506,90	0,12	4,05	5,34	10,68
Pietari – Kotka	138,52	0,03	1,11	1,46	2,92
Kotka – Lübeck	396,12	0,09	3,17	4,17	8,35
Travemünde – Uusikaupunki *	335,84	0,08	2,68	3,54	7,08
Uusikaupunki – Travemünde *	343,53	0,08	2,75	3,62	7,24
Turku – Travemünde	365,51	0,09	2,92	3,85	7,70

## Finnmerchant

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Rostock – Hanko *	190,49	0,07	2,45	3,23	6,46
Hanko – Rostock *	165,98	0,06	2,13	2,81	5,63

## Eurocargo Savona

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Rostock – Hanko *	291,94	0,08	2,71	3,58	7,16
Hanko – Rostock *	264,85	0,07	2,46	3,25	6,49

## Finnmill

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Gdynia – Hanko *	206,15	0,06	2,12	2,79	5,59
Hanko – Gdynia *	176,13	0,05	1,81	2,39	4,78

## Seagard

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Kotka - Lübeck	461,26	0,29	9,60	12,67	25,33
Lübeck - Hanko	225,23	0,04	4,69	6,18	12,37

## Bore Sea

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Hanko – Lübeck *	181,72	0,06	2,13	2,80	5,61
Lübeck – Hanko *	182,44	0,06	2,13	2,82	5,63

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Hanko – Paldiski *	22,36	0,01	0,26	0,34	0,69
Paldiski – Hanko *	52,07	0,02	0,61	0,80	1,61
Hanko - Gdynia	97,64	0,03	1,14	1,51	3,01
Gdynia - Lübeck	130,08	0,05	1,52	2,01	4,01
Kotka – Pietari	76,29	0,03	0,89	1,18	2,35
Pietari - Hanko	105,44	0,04	1,23	1,63	3,25

## Trica

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Rauma – Antwerp	888,79	0,30	10,05	13,25	26,50
Antwerp – Tilbury *	263,01	0,09	2,97	3,92	7,84
Tilbury – Antwerp *	204,67	0,07	2,31	3,05	6,10
Antwerp – Hanko	720,70	0,24	8,15	10,75	21,49
Hanko – Antwerp	714,45	0,24	8,08	10,65	21,31
Antwerp – Kotka	810,53	0,27	9,16	12,09	24,17
Kotka – Pietari	150,76	0,05	1,70	2,25	4,50
Pietari - Kotka	195,97	0,07	2,22	2,92	5,84

## Timca

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Hanko – Antwerp *	783,67	0,26	8,86	11,68	23,37
Antwerp – Hanko	720,70	0,24	8,15	10,75	21,49
Tilbury – Antwerp	204,67	0,07	2,31	3,05	6,10
Antwerp – Tilbury	260,22	0,09	2,94	3,88	7,76
Antwerp – Lübeck	473,01	0,16	5,35	7,05	14,11
Lübeck – Hanko	412,94	0,14	4,67	6,16	12,31
Hanko – Pietari	219,27	0,07	2,48	3,27	6,54
Pietari – Kotka	201,19	0,07	2,27	3,00	6,00



Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Kotka - Pietari	150,76	0,05	1,70	2,25	4,50
Rauma – Antwerp	888,79	0,30	10,05	13,25	26,50
Antwerp - Kotka	810,53	0,27	9,16	12,09	24,17

## Pulppa

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Hanko – Antwerp	714,45	0,24	8,08	10,65	21,31
Antwerp – Pietari	1034,06	0,35	11,69	15,42	30,84
Pietari – Kotka	195,97	0,07	2,22	2,92	5,84
Antwerp – Lübeck	473,01	0,16	5,35	7,05	14,11
Lübeck – Hanko	412,94	0,14	4,67	6,16	12,31
Hanko – Pietari	219,27	0,07	2,48	3,27	6,54
Rauma – Antwerp	941,86	0,32	10,65	14,04	28,09
Antwerp – Tilbury	260,22	0,09	2,94	3,88	7,76
Tilbury – Antwerp	204,67	0,07	2,31	3,05	6,10
Antwerp – Hanko	720,70	0,24	8,15	10,75	21,49

## Plyca ja Kraftca

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Rauma – Antwerp	941,86	0,32	10,65	14,04	28,09
Antwerp – Tilbury	260,22	0,09	2,94	3,88	7,76
Tilbury – Antwerp	204,67	0,07	2,31	3,05	6,10
Antwerp – Hanko	720,70	0,24	8,15	10,75	21,49
Hanko – Antwerp *	783,67	0,26	8,86	11,68	23,37
Antwerp – Kotka	810,53	0,27	9,16	12,09	24,17
Pietari – Kotka *	198,58	0,07	2,25	2,96	5,92
Antwerp – Lübeck	473,01	0,16	5,35	7,05	14,11
Lübeck – Hanko	412,94	0,14	4,67	6,16	12,31

## Genca

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Hanko – Lübeck *	382,81	0,13	4,33	5,71	11,42
Lübeck – Hanko *	366,35	0,12	4,14	5,46	10,92
Hanko – Paldiski	37,19	0,01	0,42	0,55	1,11
Paldiski – Hanko	41,88	0,01	0,47	0,62	1,25
Hanko – Gdynia	207,51	0,07	2,35	3,09	6,19
Gdynia – Lübeck	323,13	0,11	3,65	4,82	9,64
Kotka – Pietari	157,77	0,05	1,78	2,35	4,70
Pietari – Lübeck	761,10	0,26	8,61	11,35	22,70

## Hafnia Sea

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Hanko – Paldiski	35,15	0,01	0,35	0,47	0,93
Paldiski – Hanko	39,48	0,01	0,40	0,53	1,05
Hanko – Lübeck *	454,40	0,14	4,58	6,04	12,09
Lübeck – Hanko *	341,70	0,10	3,45	4,54	9,09
Kotka – Pietari	148,76	0,04	1,50	1,98	3,96
Pietari – Hanko	210,44	0,06	2,12	2,80	5,60

## Corona Sea

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Hanko – Paldiski *	44,30	0,01	0,45	0,59	1,18
Paldiski – Hanko	39,48	0,01	0,40	0,53	1,05
Hanko – Lübeck *	378,79	0,11	3,82	5,04	10,08
Lübeck – Hanko *	355,23	0,11	3,58	4,72	9,45

## Fionia Sea ja Jutlandia Sea

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Kokkola – Skellefteå	113,65	0,03	1,15	1,51	3,02
Skellefteå – Kemi	199,35	0,06	2,01	2,65	5,30
Oulu – Kaskinen	189,74	0,06	1,91	2,52	5,05
Kaskinen – Husum	112,62	0,03	1,14	1,50	3,00
Husum – Zeebrugge	954,56	0,29	9,63	12,70	25,40
Zeebrugge – Antwerp	100,14	0,03	1,01	1,33	2,66
Antwerp – Kokkola	920,81	0,28	9,29	12,25	24,50

## Tavastland

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Kemi – Husum	102,56	0,04	1,24	1,63	3,27
Husum – Lübeck	285,55	0,10	3,45	4,55	9,10
Lübeck – Oulu	359,31	0,04	4,34	5,72	11,45
Oulu – Kemi	55,81	0,02	0,67	0,89	1,78

## Thuleland

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Pietarsaari – Lübeck	298,30	0,11	3,60	4,75	9,50
Lübeck – Zeebrugge	370,35	0,13	4,47	5,90	11,80
Zeebrugge – Tilbury	74,13	0,03	0,90	1,18	2,36
Tilbury – Kemi	762,15	0,27	9,20	12,14	24,28
Kemi – Oulu	55,81	0,02	0,67	0,89	1,78
Oulu – Pietarsaari	102,56	0,04	1,24	1,63	3,27

## Tundraland

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Pietarsaari – Lübeck	298,30	0,11	3,60	4,75	9,50
Lübeck – Zeebrugge	370,35	0,13	4,47	5,90	11,80
Zeebrugge – Tilbury	74,13	0,03	0,90	1,18	2,36
Tilbury – Rauma	586,71	0,21	7,09	9,34	18,69
Rauma – Kemi	155,14	0,06	1,87	2,47	4,94
Kemi – Oulu	55,81	0,02	0,67	0,89	1,78
Oulu – Pietarsaari	102,56	0,04	1,24	1,63	3,27

## Polaris VG

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hintaa (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Rostock – Rauma	93,06	0,17	5,77	7,61	15,23
Rauma – Rostock	93,06	0,17	5,77	7,61	15,23

## Friedrich Russ

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Kotka – Rauma	131,58	0,08	2,71	3,58	7,16
Rauma – Ferrol	551,68	0,34	11,38	15,01	30,02
Ferrol – Santander	75,48	0,05	1,56	2,05	4,11
Santander – Amsterdam	247,71	0,15	5,11	6,74	13,48
Amsterdam – Kotka	348,82	0,21	7,20	9,49	18,98

## ML Freyja

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Turku – Bremerhaven	281,55	0,08	2,69	3,55	7,11
Bremerhaven – Harwich	91,96	0,03	0,88	1,16	2,32

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Harwich – Rotterdam	37,80	0,01	0,36	0,48	0,95
Rotterdam – Cuxhaven	75,71	0,02	0,72	0,96	1,91
Cuxhaven – Paldiski	189,47	0,05	1,81	2,39	4,78
Paldiski – Turku	43,21	0,01	0,41	0,55	1,09

## Fjärdvägen

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Naantali – Långnäs	17,78	0,02	0,76	1,01	2,01
Långnäs – Naantali *	20,02	0,03	0,86	1,13	2,27

#### Liite 4. Ro-pax-alusten aluskohtaiset CO<sub>2</sub>-päästöt ja lisäkustannukset

Seuraavissa taulukoissa on esitetty aluskohtaisesti ro-pax-alusten hiilidioksidipäästöt ja päästöoikeuden aiheuttamat lisäkustannukset kaistametreittäin ja henkilökilometreittäin. Samoilla reitillä ja aikatauluilla operoivat sekä teknisiltä ominaisuuksiltaan yhdenmukaiset alukset on laitettu samaan taulukkoon. Matkan CO<sub>2</sub>-päästöihin on laskettu mukaan myös satamassa vietetystä ajasta syntyneet CO<sub>2</sub>-päästöt ennen seuraavaa matkaa. Mikäli alus liikennöi samojen satamien välillä eri matka-ajoilla, on päästöt laskettu näiden eri matka-aikojen keskiarvona. Ne on merkitty taulukon ”Matka”-sarakeeseen \*-merkillä.

Esitystapa on yhdenmukainen liitteestä ??? löytyvien ro-ro-alusten kanssa. Ensimmäisessä sarakkeessa on matka, toisessa koko matkasta syntyvät CO<sub>2</sub>-päästötonnit ja kolmannessa montako CO<sub>2</sub>-päästötonnia voidaan kohdistaa yhdelle kaistametrille/henkilökilometrille. Näiden jälkeen sarakkeissa neljä, viisi ja kuusi on laskettu, kuinka suuri lisäkustannus yhdelle kaistametrille/henkilökilometrille voidaan kohdistaa eri päästöoikeuden hinnoilla.

Finnswan (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Naantali – Långnäs *	75,77	0,02	0,60	0,79	1,59
Långnäs – Kapellskär *	37,57	0,01	0,30	0,39	0,79
Kapellskär – Långnäs *	70,17	0,02	0,56	0,74	1,47
Långnäs – Naantali *	81,01	0,02	0,64	0,85	1,70

Finnswan (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Naantali – Långnäs *	14,43	0,0002	0,007	0,009	0,018
Långnäs – Kapellskär *	7,16	0,0001	0,005	0,006	0,012
Kapellskär – Långnäs *	13,37	0,0003	0,009	0,012	0,023
Långnäs – Naantali *	15,43	0,0002	0,007	0,010	0,019

## Finnfellow (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Naantali – Långnäs *	41,60	0,01	0,45	0,59	1,19
Långnäs – Kapellskär *	23,90	0,01	0,26	0,34	0,68
Kapellskär – Långnäs *	38,40	0,01	0,42	0,55	1,09
Långnäs – Naantali *	46,48	0,01	0,50	0,66	1,33

## Finnfellow (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Naantali – Långnäs *	7,92	0,0001	0,005	0,006	0,012
Långnäs – Kapellskär *	4,55	0,0001	0,004	0,005	0,010
Kapellskär – Långnäs *	7,31	0,0002	0,006	0,008	0,016
Långnäs – Naantali *	8,85	0,0002	0,005	0,007	0,014

## Finnstar, Finnmaid ja Finnlady (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Travemünde *	454,25	0,11	3,61	4,76	9,52
Travemünde – Helsinki *	479,62	0,11	5,81	5,03	10,05

## Finnstar, Finnmaid ja Finnlady (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Travemünde *	86,52	0,0001	0,004	0,006	0,012
Travemünde – Helsinki *	91,36	0,0001	0,005	0,006	0,013

## Finbo Cargo (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Muuga *	30,55	0,02	0,51	0,67	1,35
Muuga – Helsinki *	25,64	0,01	0,43	0,57	1,13

## Finbo Cargo (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Muuga *	5,82	0,0002	0,008	0,010	0,020
Muuga – Helsinki *	4,88	0,0002	0,006	0,008	0,017

## Finlandia (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Tallinna *	46,52	0,02	0,82	1,08	2,16
Tallinna – Helsinki *	46,81	0,02	0,83	1,09	2,18

## Finlandia (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Tallinna *	8,86	0,00005	0,002	0,002	0,004
Tallinna – Helsinki *	8,92	0,00005	0,002	0,002	0,004

## Megastar (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Tallinna *	38,08	0,01	0,35	0,46	0,92
Tallinna – Helsinki *	44,28	0,01	0,41	0,54	1,07



## Megastar (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Tallinna *	7,25	0,00003	0,001	0,001	0,003
Tallinna – Helsinki *	8,44	0,00003	0,001	0,002	0,003

## Star (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Tallinna *	43,65	0,02	0,74	0,97	1,95
Tallinna – Helsinki *	50,78	0,03	0,86	1,13	2,27

## Star (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Tallinna *	8,31	0,00005	0,001	0,002	0,004
Tallinna – Helsinki *	9,67	0,0005	0,002	0,003	0,005

## Baltic Queen (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Tukholma – Maarianhamina	111,68	0,10	3,31	4,37	8,73
Maarianhamina - Tallinna	163,29	0,14	4,84	6,38	12,77
Tallinna – Maarianhamina	164,75	0,15	4,88	6,44	12,88
Maarianhamina – Tukholma	101,16	0,09	3,00	3,96	7,91

## Baltic Queen (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Tukholma – Maarianhamina	21,27	0,00005	0,002	0,002	0,005
Maarianhamina - Tallinna	31,10	0,00003	0,001	0,001	0,003
Tallinna – Maarianhamina	31,38	0,00003	0,001	0,001	0,003
Maarianhamina – Tukholma	19,27	0,00005	0,002	0,002	0,004

## Silja Europa (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Tallinna	47,52	0,05	1,71	2,25	4,51
Tallinna – Helsinki	73,08	0,08	2,63	3,46	6,93

## Silja Europa (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Tallinna	9,05	0,00003	0,001	0,002	0,003
Tallinna – Helsinki	13,92	0,00005	0,002	0,002	0,005

## Victoria I (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Tukholma – Maarianhamina	87,52	0,08	2,85	3,75	7,51
Maarianhamina - Tallinna	136,73	0,13	4,45	5,86	11,73
Tallinna – Maarianhamina	125,02	0,12	4,07	5,36	10,73
Maarianhamina – Tukholma	85,36	0,08	2,78	3,66	7,32

## Victoria I (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Tukholma – Maarianhamina	16,67	0,00005	0,002	0,002	0,004
Maarianhamina - Tallinna	26,04	0,00003	0,001	0,001	0,002
Tallinna – Maarianhamina	23,81	0,00002	0,001	0,001	0,002
Maarianhamina – Tukholma	16,26	0,00004	0,001	0,002	0,004

## Silja Serenade (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Maarianhamina	138,68	0,15	5,16	6,81	13,62
Maarianhamina – Tukholma	94,81	0,11	3,53	4,65	9,31
Tukholma – Maarianhamina	86,75	0,10	3,23	4,26	8,52
Maarianhamina – Helsinki	156,33	0,17	5,82	7,67	15,35

## Silja Serenade (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Maarianhamina	26,41	0,00002	0,001	0,001	0,002
Maarianhamina – Tukholma	18,06	0,00004	0,001	0,002	0,004
Tukholma – Maarianhamina	16,52	0,00004	0,001	0,002	0,003
Maarianhamina – Helsinki	29,78	0,00003	0,001	0,001	0,002

## Silja Symphony (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Maarianhamina	138,68	0,15	4,89	6,45	12,90

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Maarianhamina – Tukholma	94,81	0,10	3,34	4,41	8,82
Tukholma – Maarianhamina	86,75	0,09	3,06	4,03	8,07
Maarianhamina – Helsinki	156,33	0,16	5,51	7,27	14,54

## Silja Symphony (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Maarianhamina	26,41	0,00002	0,001	0,001	0,002
Maarianhamina – Tukholma	18,06	0,00004	0,001	0,002	0,004
Tukholma – Maarianhamina	16,52	0,00004	0,001	0,002	0,003
Maarianhamina – Helsinki	29,78	0,00003	0,001	0,001	0,002

## Baltic Princess (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Turku – Långnäs	67,02	0,06	1,99	2,62	5,24
Långnäs – Tukholma	84,86	0,08	2,52	3,32	6,64
Tukholma – Maarianhamina	97,50	0,09	2,89	3,81	7,62
Maarianhamina - Turku	86,12	0,08	2,55	3,37	6,73

## Baltic Princess (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Turku – Långnäs	12,77	0,00004	0,001	0,002	0,003
Långnäs – Tukholma	16,16	0,00004	0,001	0,002	0,003
Tukholma – Maarianhamina	18,57	0,00004	0,001	0,002	0,003

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Maarianhamina - Turku	16,40	0,00002	0,001	0,001	0,002

## Galaxy (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Turku – Maarianhamina	66,50	0,06	1,97	2,60	5,20
Maarianhamina – Tukholma	60,16	0,05	1,78	2,35	4,70
Tukholma – Långnäs	92,47	0,08	2,74	3,62	7,23
Långnäs – Turku	55,16	0,05	1,64	2,16	4,31

## Galaxy (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Turku – Maarianhamina	12,67	0,00002	0,001	0,001	0,002
Maarianhamina – Tukholma	11,46	0,00003	0,001	0,001	0,002
Tukholma – Långnäs	17,61	0,00004	0,001	0,002	0,003
Långnäs – Turku	10,51	0,00003	0,001	0,001	0,003

## Sea Wind (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Muuga *	13,88	0,01	0,37	0,48	0,97
Muuga – Helsinki *	10,68	0,01	0,28	0,37	0,74

## Sea Wind (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Muuga *	2,64	0,0003	0,011	0,014	0,028
Muuga – Helsinki *	2,03	0,0002	0,008	0,011	0,022

## Viking XPRS (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Tallinna *	48,71	0,05	1,63	2,15	4,30
Tallinna – Helsinki *	43,28	0,04	1,45	1,91	3,82

## Viking XPRS (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Tallinna *	9,28	0,00003	0,001	0,001	0,002
Tallinna – Helsinki *	8,24	0,00002	0,001	0,001	0,002

## Gabriella (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Maarianhamina	138,36	0,14	4,64	6,11	12,23
Maarianhamina – Tukholma	91,55	0,09	3,07	4,04	8,09
Tukholma – Maarianhamina	88,91	0,09	2,98	3,93	7,86
Maarianhamina – Helsinki	154,45	0,15	5,17	6,82	13,65

## Gabiella (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Maarianhamina	26,35	0,00003	0,001	0,001	0,002
Maarianhamina – Tukholma	17,44	0,00005	0,002	0,002	0,004
Tukholma – Maarianhamina	16,93	0,00005	0,002	0,002	0,004
Maarianhamina – Helsinki	29,42	0,00003	0,001	0,001	0,003

## Amorella (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Turku – Maarianhamina	49,01	0,05	1,82	2,41	4,81
Maarianhamina – Tukholma	42,11	0,05	1,57	2,07	4,13
Tukholma – Långnäs	65,20	0,07	2,43	3,20	6,40
Långnäs – Turku	40,00	0,04	1,49	1,96	3,93

## Amorella (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Turku – Maarianhamina	9,34	0,00005	0,001	0,001	0,001
Maarianhamina – Tukholma	8,02	0,00002	0,001	0,001	0,002
Tukholma – Långnäs	12,42	0,00003	0,001	0,001	0,003
Långnäs – Turku	7,62	0,00002	0,001	0,001	0,002

## Viking Grace (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Turku – Långnäs	47,98	0,04	1,26	1,66	3,33
Långnäs – Tukholma	63,74	0,05	1,67	2,21	4,42

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Tukholma – Maarianhamina	74,14	0,06	1,95	2,57	5,14
Maarianhamina - Turku	64,36	0,05	1,69	2,23	4,46

## Viking Grace (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Turku – Långnäs	9,14	0,00003	0,001	0,001	0,002
Långnäs – Tukholma	12,14	0,00002	0,001	0,001	0,002
Tukholma – Maarianhamina	14,12	0,00003	0,001	0,002	0,003
Maarianhamina - Turku	12,26	0,00002	0,001	0,001	0,002

## Viking Cinderella (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Maarianhamina – Tukholma	89,15	0,12	4,15	5,47	10,94
Tukholma – Maarianhamina	197,66	0,27	9,20	12,13	24,26

## Viking Cinderella (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Maarianhamina – Tukholma	16,98	0,00007	0,003	0,003	0,007
Tukholma – Maarianhamina	37,65	0,0002	0,006	0,007	0,015



## Rosella (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Maarianhamina – Kapellskär *	12,13	0,02	0,56	0,74	1,49
Kapellskär – Maarianhamina *	28,80	0,04	1,34	1,77	3,53

## Rosella (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Maarianhamina – Kapellskär *	2,31	0,00002	0,001	0,001	0,002
Kapellskär – Maarianhamina *	5,49	0,00005	0,002	0,002	0,005

## Princess Anastasia (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Pietari *	139,19	0,12	4,18	5,52	11,03
Pietari – Helsinki *	122,86	0,11	3,69	4,87	9,74
Helsinki – Tallinna	42,34	0,04	1,27	1,68	3,36
Tallinna - Tukholma	140,38	0,13	4,22	5,56	11,12
Tukholma - Helsinki	165,79	0,15	4,98	6,57	13,14
Pietari – Tallinna	133,60	0,12	4,01	5,29	10,59

## Princess Anastasia (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Helsinki – Pietari *	26,51	0,00003	0,001	0,001	0,003
Pietari – Helsinki *	23,40	0,00003	0,001	0,001	0,002
Helsinki – Tallinna	8,07	0,00002	0,001	0,001	0,002

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Tallinna - Tukholma	26,74	0,00002	0,001	0,001	0,002
Tukholma - Helsinki	31,58	0,00003	0,001	0,001	0,003
Pietari – Tallinna	25,45	0,00003	0,001	0,001	0,003

## Aurora Botnia (rahti)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/kaistametri)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Vaasa – Uumaja *	23,33	0,02	0,52	0,69	1,37
Uumaja – Vaasa *	38,21	0,03	0,85	1,13	2,25

## Aurora Botnia (matkustajat)

Matka	Matkan CO <sub>2</sub> -päästöt (t)	CO <sub>2</sub> -päästöt (t/hkm)	Päästöoikeuden hinta (€/CO <sub>2</sub> -tonni)		
			33,50	44,18	88,36
Vaasa – Uumaja *	4,44	0,00006	0,002	0,003	0,005
Uumaja – Vaasa *	7,28	0,00009	0,003	0,004	0,008