

Eikka Valtonen

**EU:N MERENKULUN
YMPÄRISTÖSÄÄNTELYN
MAHDOLLISET VAIKUTUKSET
MERENKULUN FOSSIILISTEN
POLTTOAINEIDEN HINTOIHIN**

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Ympäristötekniikan koulutus

2024



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä	Eikka Valtonen
Työn nimi	EU:n ympäristösääntelyn mahdolliset vaikutukset merenkulun fossiilisten polttoaineiden hintoihin
Toimeksiantaja	Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu
Vuosi	2024
Sivut	30 sivua, liitteitä 3 sivua
Työn ohjaaja	Henna Kauppi

TIIVISTELMÄ

Merenkulun fossiilisten polttoaineiden käytöllä on merkittävä vaikutus ilmastomuutokselle. Euroopan unioni kiristää ympäristösääntelyä, jolla pyritään vähentämään merenkulun riippuvaisuutta fossiilisista polttoaineista ja vähentämään merenkulusta aiheutuvia ympäristöpäästöjä.

Opinnäytetyön tutkimuskysymyksenä oli, kuinka Euroopan unionin kiristyvien ympäristösääntelyiden vaikutukset näkyvät merenkulun fossiilisten polttoaineiden käyttökustannuksissa vuonna 2030. Pääasiallisina lähteinä on käytetty EU:n lainsäädäntöä, muita lainsäädäntöjä ja fossiilisia polttoaineita koskevia tutkimuksia sekä aiheesta löytyneitä internetartikkeleita.

Työn teoriaosuus tehtiin kirjallisuuskatsauksena, jonka pohjalta suoritettiin laskelmat päästökaupan ja energiaverodirektiivin vaikutuksista ro-ro-alusten ja matkustaja-alusten fossiilisten polttoaineiden käyttökustannuksille vuodelle 2030. Työn teoriaosuus keskittyi merenkulun yleisimpiin fossiilisiin polttoaineisiin ja niihin kohdistuvaan EU:n ympäristösääntelyyn.

Tuloksista huomattiin, että EU:n kiristyvällä ympäristösääntelyllä tulee olemaan merkittäviä vaikutuksia merenkulun fossiilisten polttoaineiden kustannuksille vuonna 2030. Fossiilisten polttoaineiden hintoja on kuitenkin haastavaa arvioida tarkkaan, sillä niihin liittyy paljon muuttujia. Näistä lähtökohdista opinnäytetyön tutkimuskysymys saatiin selvitettyä hyvin ja tulosten todenmukaisuus nähdään tulevaisuudessa.

Asiasanat: Euroopan Unioni, Fit for 55, fossiiliset polttoaineet, päästökauppa, FuelEU Maritime, energiaverodirektiivi

Degree title	Bachelor of Engineering
Author	Eikka Valtonen
Thesis title	The potential effects of EU maritime environmental regulation on maritime fossil fuel prices
Commissioned by	South-Eastern Finland University
Year	2024
Pages	30 pages, 3 pages of appendices
Supervisor	Henna Kauppi

ABSTRACT

The use of fossil fuels in maritime has a significant impact on climate change. The European Union is tightening environmental regulations aimed at reducing shipping's dependence on fossil fuels and reducing environmental emissions from maritime.

The research question of the thesis was to find out the effects of the tightening environmental regulations of the European Union on the cost of operating fossil fuels for maritime fuels for 2030. The main sources are EU legislation, other legislations, fossil fuel studies and internet articles found on the subject.

The theoretical part of the thesis was carried out as a literature review, on the basis of which calculations were made on the effects of emissions trading and the Energy Efficiency Directive on the fossil fuel operating costs of ro-ro ships and passenger ships for 2030. The theoretical part of the thesis focused on the most common fossil fuels in maritime and the EU environmental regulation that applies to them.

The results of the thesis concluded that the EU's tightening environmental regulation will have a significant impact on the cost of fossil fuels in maritime transportation by 2030. However, it is challenging to accurately estimate fossil fuel prices because they involve many variables. From this point of view, the research question of the thesis was solved well, and the veracity of the result will be seen in the future.

Keywords: European Union, Fit for 55, fossil fuels, Emissions trading, Fuel EU Maritime, Energy Taxation Directive

SISÄLLYS

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

1	JOHDANTO	6
2	FOSSIILISET POLTTOAINEET	7
2.1	Raskas polttoöljy (HFO).....	7
2.2	Nesteytetty maakaasu (LNG).....	8
2.3	Kaasuöljy (MGO)	9
3	EU:N YMPÄRISTÖNSÄÄNTELY.....	10
3.1	Päästökauppa (ETS)	10
3.2	Päästökauppa merenkulussa	12
3.3	Fuel EU maritime	13
3.4	Fossiilisten polttoaineiden verotus	15
4	AINEISTO JA MENETELMÄT	15
4.1	Laivojen kulutus	16
4.2	Päästökaupan vaikutus.....	17
4.3	Energiaverodirektiivin laskelmat	20
5	TULOKSET.....	21
5.1	Päästökaupan vaikutus.....	21
5.2	Energiaverodirektiivin vaikutus	23
6	POHDINTA	24
7	YHTEENVETO	26
	LÄHTEET.....	27

LIITTEET

Liite 1. Lasketut keskiarvokulutukset aluksille

Liite 2. Päästökaupan hintaennuste vuodelta 2022

Liite 3. Päästökaupan hintaennuste vuodelta 2023

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

HFO – Raskas polttoöljy (engl. Heavy fuel oil)

LNG – Nesteytetty maakaasu (engl. Liquefied natural gas)

MGO – Kaasuöljy (engl. Marine gaseoil)

EU – Euroopan unioni (engl. European Union)

ETS – Päästökauppa (engl. Emissions Trading System)

IMO – Kansainvälinen merenkulkujärjestö (engl. International Maritime Organization)

GHG – Polttoaineiden päästöt

GWP – Ominaislämmitysvaikutus

SO_x = Rikkipäästöt

NO_x – Typpioksidipäästöt

CO₂ – Hiilidioksidi

IEA – Kansainvälinen energiavirasto (engl. International Energy Agency)

USD – Yhdysvaltojen dollari

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutoksesta on tullut suuri uhka olemassaolollemme, ja sen hidastamiseksi vaaditaan välittömiä globaaleja toimia. Euroopan unioni ja sen jäsenmaat ovat sitoutuneet vauhdittamaan ilmastonmuutosta hidastavia toimia. (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2021/1119, 1.)

Merenkulun osalta ympäristövaikutukset ovat huomattavia johtuen suurista päästövolyymeistä. Meriliikenteestä aiheutuu vuosittaisista globaaleista kasvihuonekaasupäästöistä noin 3 prosenttia. (International Maritime Organization 2020, 29.) Merenkulku nojaa vielä nykypäivänäkin fossiilisiin polttoaineisiin, jonka takia merenkulku aiheuttaa korkeat kasvihuonekaasupäästöt.

Kansainvälinen merenkulkujärjestö (engl. International Maritime Organization, IMO) asetti tavoitteekseen vuonna 2018 vähentää merenkulussa syntyviä kasvihuonepäästöjä vähintään 50 prosenttia vuoteen 2050 mennessä (International Maritime Organization 2020, 5). Vuonna 2023 kansainvälinen merenkulkujärjestö päivitti tavoitteitaan ja asetti kunnianhimoiseksi tavoitteekseen saavuttaa nettonollapäästöt kansainvälisen laivaliikenteen osalta vuoteen 2050 mennessä. Kansainvälinen merenkulkujärjestö on sitoutunut varmistamaan vaihtoehtoisten hiilivapaiden polttoaineiden ja lähes päästöttömien polttoaineiden käyttöönotosta vuoteen 2030 mennessä. (International Maritime Organization 2023.)

Merenkulun ympäristöpäästöjen vähentämiseksi Euroopan unioni kiristi ympäristönsäätelyä lisäämällä merenkulun osaksi päästökauppaa vuodesta 2024 eteenpäin ja hyväksymällä FuelEU Maritime -asetuksen, joka asettaa rajat merenkulussa käytettävien polttoaineiden kasvihuonekaasuintensiteetille (Euroopan unionin neuvosto 2024). Näillä toimilla pyritään nostamaan fossiilisten polttoaineiden hintoja ja korvaamaan niitä vähitellen vaihtoehtoisilla ei-fossiililla polttoaineilla, kuten bio- tai e-metanolilla ja biopolttoaineilla.

Tämän opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään EU:n kiristyvää ympäristönsäätelyä ja merenkulun käytetyimpiä fossiilisia polttoaineita.

Opinnäytetyön tarkoitus on tutkia, miten kiristynyt ympäristönsääntely vaikuttaa merenkulun fossiilisten polttoaineiden käyttökustannuksiin.

2 FOSSIILISET POLTTOAINEET

Maapallon käytetyimmät energianlähteet koostuvat uusiutumattomista fossiilisista polttoaineista, joista merkittävimpiä ovat öljy, maakaasu ja kivihiili. Fossiiliset polttoaineet syntyvät muinaisten eläinten ja kasvien fossilisoitumisen seurauksena, maaperän suurien paine- ja lämpöominaisuuksien vaikuttaessa hapettomissa olosuhteissa. (Morris 2012, 8.) Maailman riippuvuudesta fossiilisiin polttoaineisiin pyritään pääsemään irti, koska fossiiliset polttoaineet aiheuttavat kolme neljäsosaa kaikista maailman kasvihuonekaasupäästöistä (WWF 2019). Vaikka fossiilisten polttoaineiden päästöt ovat iso osa maailman kasvihuonepäästöjä, niistä irrottaminen on hidasta ja vaikeaa. Osasyynä voidaan pitää vaihtoehtoisten polttoaineiden korkeaa hintaa tai alusten moottoreiden yhteensopimattomuutta.

Fossiilisten polttoaineiden energia tuotetaan polttamalla fossilisoitumisessa hajoamistuotteena syntyviä aineita, kuten hiiltä ja vetyä. Fossiilisten polttoaineiden syntymisprosessi kestää useita miljoonia vuosia, minkä vuoksi ne luokitellaan uusiutumattomiksi energianlähteiksi (Geologia 2019). Merenkulussa käytettävät eri polttoaineratkaisut riippuvat alusten moottorityypeistä, käyttötarkoituksesta ja ympäristönsääntelyistä - esimerkiksi päästökaupasta.

2.1 Raskas polttoöljy (HFO)

Raskas polttoöljy (engl. Heavy fuel oil, HFO) on runsaan rikkipitoisuuden omaava fossiilinen polttoaine, jota valmistetaan raakaöljyn jalostusprosessissa syntyvistä tislautumattomista jakeista (Tilastokeskus 2024b, 2). EU:n aluevesillä raskaan polttoöljyn rikkipitoisuus on rajattu maksimissaan 0.1 painoprosenttiin (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/33/EU, 6 a. artikla). Raskas polttoöljy on tällä hetkellä käytetyin merenkulun polttoaine. Suurin osa aluksien keskinopeista ja hitaista moottoreista on suunniteltu raskaalle polttoöljylle. Raskas polttoöljy omaa korkean viskositeetin, minkä vuoksi sen ominaisuudet eivät sovellu pumpattavaksi alhaisissa lämpötiloissa.

Ennen pumppausta raskas polttoöljy pitää esilämmittää alusten säiliöissä noin 40 asteiseksi. (Oiltanking 2015.)

Hiilidioksidipäästöjen ohella raskaan polttoöljyn käytöstä syntyy mustan hiilen päästöjä, jotka vauhdittavat ilmastonmuutosta ja ovat haitaksi luonnon biodiversiteetille. Musta hiili eli noki imee auringon valoa, jonka seurauksena avaruuteen heijastuvien säteiden määrä vähenee ja säteitä vastaanottava materiaali lämpenee. Erityisesti arktiselle alueelle laskeutuva musta hiili nopeuttaa jään sulamista. (Brax 2017.) Jäätiköiden ja roudan sulaminen vapauttaa valtavia määriä hiilidioksidia ja nostaa merenpinnan tasoa. Merenpinnan nousu ei ole pelkästään haitaksi luonnolle, vaan se voi myös uhata useiden miljoonien ihmisten asuinalueita. (WWF 2019.)

2.2 Nesteytetty maakaasu (LNG)

Nesteytetty maakaasu (engl. Liquefied natural gas, LNG) on myrkytöntä, hajutonta ja väritöntä maakaasua nestemäisessä olomuodossa (Morris 2012, 16). Sen koostumus on pääasiassa metaania, mutta se sisältää myös pieniä määriä etaania, propaania, butaania ja pentaania (Smil 2019, 16). Nestemäinen maakaasu muutetaan nestemäiseen olomuotoon jäähdyttämällä kaasu miinus 162 asteiseksi (Morris 2012, 19). Kyseisessä lämpötilassa kaasu muuttuu nesteeksi ja sen tilavuus pienentyy 600 kertaiseksi mahdollistaen sen helpomman kuljettamisen ja varastoinnin (Gasum s.a).

Polttoainekäytössä nesteytetystä maakaasusta ei synny rikkipäästöjä (Energiamailma 2021). Lisäksi sen poltosta syntyy merkittävästi vähemmän typpioksiidi- ja hiilidioksidipäästöjä (Helcom 2019, 13). Sen ajatellaan olevan fossiilisista polttoaineista ympäristöystävällisintä (Energiamailma 2021). Nesteytetyn maakaasun päästövähentymät polttoainekäytössä - muihin fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna - on ilmoitettu taulukossa 1. Nesteytetty maakaasu aiheuttaa metaanipäästöjä alusten moottoreissa. Koska metaani on vahva kasvihuonekaasu, metaanipäästöt on pidettävä hallinnassa, jotta pystytään varmistamaan kasvihuonepäästöjen vähentyminen nesteytettyä maakaasua käytettäessä. LNG-moottoreita pystytään kehittämään niin, että metaanivuotojen määrä pienenee moottorissa. (DNV 2019, 19.)

Taulukko 1. LNG:n tuomia päästövähennyksiä verrattuna muihin fossiilisten polttoaineiden päästöihin (Helcom 2019, 12)

Päästölaji	Vähennys LNG:tä käytettäessä
SO _x	100 %
NO _x , Matalapaineisella moottorilla	85 %
NO _x , Korkeapaineisella moottorilla	40 %
CO ₂	25–30 %
Pienhiukkaset (PM _{2,5})	95–100 %

Euroopan unionin vuonna 2012 hyväksymällä direktiivillä säädettiin EU-merialueiden polttoaineiden rikkipitoisuudeksi 0,1 prosenttia 1.1.2015 alkaen (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/33/EU, 6 a. artikla). Tämä on lisännyt nesteytetyn maakaasun käyttöä merenkulussa merkittävästi.

2.3 Kaasuöljy (MGO)

Kaasuöljy (engl. Marine Gas oil, MGO) on merenkulussa yleisesti käytetty fossiilinen polttoaine. Kaasuöljyn rakenne koostuu erilaisten tisleitten sekoituksesta ja se pystytään tuottamaan polttoaineeksi alle 0,1 % rikkipitoisuudella. (Helcom 2019, 10.) Tisleitä ovat kaikki ne raakaöljyn komponentit, jotka haihtuvat raakaöljystä tislauksen käsittelyn aikana. Kaasuöljyn tuotantoprosessissa tisleet kondensoidaan kaasufaasista nestemäiseen olomuotoon. Ominaisuuksiltaan kaasuöljy on hyvin samanlainen kuin dieselpolttoaine, mutta sen tiheys on huomattavasti suurempi. (Oiltanking s.a.)

Kaasuöljyä käytetään pienissä, keskisuurissa tai nopeissa apuyksiköissä ja apumoottoreissa sekä alusten moottoreissa. Yleisesti kaasuöljyä käytetään pienien laivojen ja kalastusveneiden dieselmootoreiden polttoaineena. Kaasuöljy omaa alhaisen viskositeetin ja se pystytään helposti pumpaamaan noin 20 asteen lämpötilassa moottoriin. (Oiltanking s.a.) Lisäksi tulisi varmistaa, että laivojen moottoritekniikka ja asennetut pakokaasusuodattimet ovat yhteensopivia alhaisen rikkipitoisuuden omaavalle polttoaineelle (Helcom 2019, 10).

Raskaaseen polttoöljyyn verrattuna kaasuöljyn päästöissä on huomattavasti vähemmän mustaa hiiltä ja pienhiukkasia. Lisäksi kaasuöljyn rikkipitoisuus on kohtalaisen helppo jalostaa alhaiseksi. (Oiltanking s.a.)

3 EU:N YMPÄRISTÖNSÄÄNTELY

EU asetti tavoitteekseen vähentää kasvihuonekaasujen nettopäästöjä 55 prosenttia vuoden 2030 loppuun mennessä. Tätä tavoitetta varten EU loi Fit for 55 -ilmastopakettin, jonka avulla laaditaan ympäristönsääntelyehdotuksia. Näiden ehdotusten pohjalta tarkistetaan ja päivitetään EU:n lainsäädäntöä. Fit for 55:n tavoitteena on edistää ilmastonmuutoksen torjuntaa Euroopan unionin alueella samalla varmistaen teollisuuden kilpailukyky muuhun maailmaan nähden. (Euroopan unionin neuvosto 2024.)

Merenkulun osalta EU on hyväksynyt osaksi lainsäädäntöään ehdotukset merenkulun liittämistä osaksi päästökauppaa ja FUEU Maritime -asetuksen osana Fit for 55 -ilmastopakettia. FUEU Maritime tulee asettamaan rajat EU:n merenkulussa käytettävän polttoaineen kasvihuonekaasuintensiteetille. Lisäksi EU:n neuvosto käsittelee parhaillaan ehdotusta merenkulun sisällyttämisestä energiaverodirektiivin piiriin. (Euroopan unionin neuvosto 2024.)

3.1 Päästökauppa (ETS)

Päästökauppa (engl. Emissions trading system, ETS) on osa EU:n ilmastopolitiikkaa, jonka tavoitteena on hidastaa ilmastonmuutosta kasvihuonekaasupäästöjä vähentämällä Euroopan Unionin alueella edistään samalla kestävää kehitystä. Päästökaupan piiriin kuuluville fossiilisten polttoaineiden käyttäjille on säädely velvoitteita, joilla pyritään vähentämään fossiilisten polttoaineiden kulutuksessa syntyviä kasvihuonepäästöjä. (Euroopan parlamentti 2018.) Näiden toimien tarkoituksena on vähentää päästöjä kustannustehokkaasti (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2003/87, 1. artikla). edistään samalla fossiilisten polttoaineiden siirtymistä kohti vähähiilisiä polttoaineratkaisuja.

Päästökauppa on järjestelmä, jolla pidetään kurissa yritysten, laitosten ja energiantuottajien synnyttämiä kasvihuonepäästöjen määriä (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2003/87, 4. artikla). Päästökaupassa asetetaan päästökatto (engl. Emissions cap), jolla määritetään päästökauppaan kuuluvien toimijoiden päästöjen sallitut kokonaismäärät. Päästökaupassa toimijoiden tulee hankkia päästöoikeuksia siten, että ne kattavat aiheutettujen kasvihuonekaasupäästöjen määrän. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2003/87, 3. artikla.)

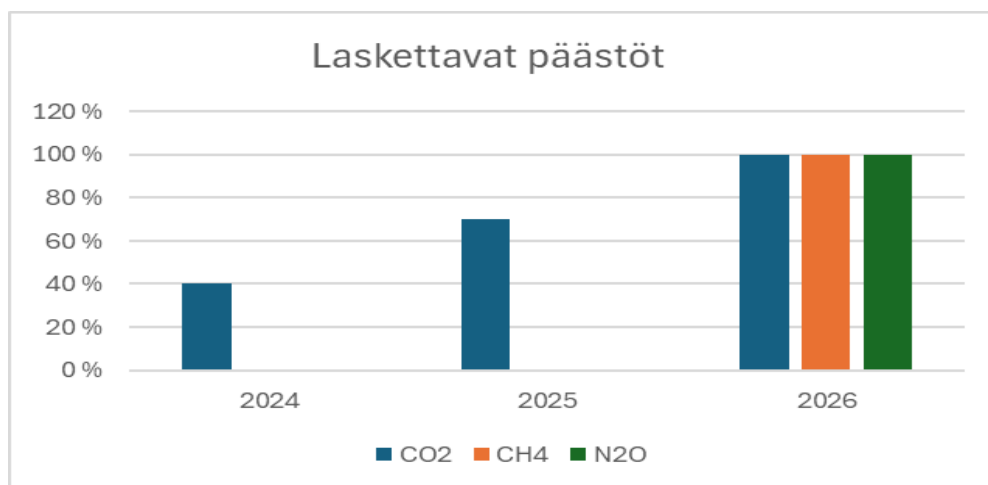
Päästökaupan toimintamalli pohjautuu päästöoikeuksien hankkimiseen markkinoilta. Päästökaupan piiriin kuuluvien osapuolien tulee hankkia päästöoikeudet, joilla oikeutetaan kasvihuonekaasujen laillinen vapauttaminen ympäristöön. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2003/87, 1. artikla.) Päästöoikeuksia hankitaan ostamalla niitä päästöhuutokaupoista ja niiden hinnat määräytyvät kysynnän ja tarjonnan perusteella. Lisäksi päästöoikeuksia myönnetään vähäisissä määrin toiminnanharjoittajille ilmaiseksi. Ylimääräisiksi jääneillä päästöoikeuksilla voi käydä kauppaa muiden yritysten kanssa. (Työ- ja elinkeinoministeriö s.a.) Päästökaupan tarkoituksena on luoda hinta kasvihuonekaasupäästöjen vapauttamiselle ilmakehään. Toisaalta tavoitteena on myös luoda toimijoille taloudellinen kannustin päästöjen vähentämiselle. Päästöoikeuksilla halutaan nostaa fossiilisten polttoaineiden kustannuksia ja heikentää fossiilisten polttoaineiden käytön kannattavuutta suhteessa vaihtoehtoisiin polttoaineisiin. (Euroopan parlamentti 2018.)

Päästöoikeuksien hinnat ovat olleet lähivuosina nousussa. Vuoden 2023 aikana yhden päästöoikeuden keskihinta oli 83,6 euroa, mikä on aiempien vuosien keskiarvohintoja huomattavasti korkeampi. Esimerkiksi vuonna 2020 päästöoikeuksien keskihinta oli 24,33 euroa. (Energiavirasto 2023.) Yhdellä päästöoikeudella oikeutetaan päästämään yhden hiilidioksidiekvivalenttitonnin verran kasvihuonekaasuja ilmakehään (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2003/87, 3. artikla.) Jos yrityksen päästöoikeuksien määrä alittaa kasvihuonekaasujen päästöjen määrän, jokaista ylimääräistä vapautettua hiilidioksidiekvivalenttitonnia kohti joutuu maksamaan 100 euron sakon. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2003/87, 16. artikla.)

3.2 Päästökauppa merenkulussa

Meriliikenne liittyi EU:n päästökauppaan 1.1.2024. Päästökauppa koskee bruttovetoisuudeltaan 5 000 GT:n ja sitä suurempien alusten matkoja, joiden toiminta perustuu rahdin tai matkustajien kaupalliseen kuljetukseen (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2023/959, 3. artikla.) Päästöt tullaan laskemaan täysimääräisesti EU:n jäsenvaltioille kuuluvien satama-alueiden välisillä matkoilla ja 50 prosenttisesti matkoista jäsenvaltioiden sekä EU:n ulkopuolisten maiden satamien välillä. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2023/959, 3. artikla.)

Päästökauppa otetaan merenkulussa käyttöön helpotettua siirtymäaikaa noudattaen. Vuosien 2024–2025 aikana päästöoikeuksia tulee hankkia ainoastaan hiilidioksidipäästöille (CO₂). Vuonna 2024 CO₂-päästöistä 40 prosenttia vaatii päästöoikeudet ja vuonna 2025 päästöoikeuksia hankitaan 70 prosentille syntyneistä päästöistä. Vuodesta 2026 eteenpäin ETS tulee merenkulussa voimaan täysimääräisenä, kun laivamatkojen aikana syntyneet päästöt lasketaan 100 prosenttisesti. Lisäksi vuodesta 2026 eteenpäin metaani (CH₄) ja dityppioksidi (N₂O) lasketaan mukaan merenkulun päästökaupan piiriin. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2023/959, 3. artikla.) Meriliikenteen päästövaatimuksia havainnollistetaan kuvassa 1.



Kuva 1. Meriliikenteen päästövaatimukset vuosille 2024–2026 (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2023/959, 3. artikla)

Direktiivi sisältää lisäksi jäävahvistettuihin aluksiin kohdistuvan 5 prosentin helpotuksen päästöoikeuksien palauttamiseen IA ja IA Super tai vastaaville jääluokan omaaville aluksille. Kyseisten alusten syntyneistä päästöistä voidaan siis vähentää 5 prosenttia, eikä niitä oteta huomioon päästökaupassa. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2023/959, 12. artikla.)

Päästökauppa-direktiivi sisältää määräaikaisen saaripoikkeama pykälän vuoden 2030 loppuun asti, jonka mukaan jäsenvaltioiden ei tarvitse soveltaa direktiiviä jäsenvaltion sataman ja samaan jäsenvaltioon kuuluvan alle 200 000 asukasluvun asuttavan saaren laivamatkoilla (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2023/959, 12. artikla).

Päästökauppa voi tulevaisuudessa kiristyä koskemaan pienempiäkin aluksia. Euroopan Unionin komissio tekee uudelleentarkastelua alle 5 000 bruttovetoisuuden omaavien alusten sisällyttämisestä päästökauppaan. Komissio esittelee vuoden 2026 loppuun mennessä Euroopan parlamentille ja neuvostolle raportin, jossa se tarkastelee mahdollisia päästökaupan vaikutuksia pienempien alusten kustannuksiin ja siitä saatavia ympäristöhyötyjä. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2023/959, 3. artikla.)

3.3 Fuel EU maritime

FuelEU Maritime on EU:n hyväksymä asetus, jonka tarkoituksena on vähentää merenkulussa syntyviä kasvihuonepäästöjä. Asetus astuu voimaan 1.1.2025 ja se vaatii merenkulun siirtymään kohti uusiutuvien ja vähähiilisten polttoaineiden käyttöä. (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2023/1805, 1. artikla.) FuelEU Maritime -asetuksen soveltaminen tapahtuu samassa laajuudessa päästökaupan tavoin, eli se tulee koskemaan kaikkia yli 5 000 GT:n suuruisia aluksia, jotka ovat käytössä on kaupallisessa tarkoituksessa (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2023/1805, 2. artikla). Asetus tulee koskemaan 100 prosenttisesti EU:n sisäisiä matkoja ja 50 prosenttisesti jäsenvaltioiden sekä kolmansien maiden välistä matkustusta (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2023/1805, 2. artikla).

Alkaen vuodesta 2025, EU-alueella pitää seurata merenkulun alusten vuosittaisia keskimääräisiä energian kasvihuonekaasuintensiteettejä. Kasvihuonekaasuintensiteetit tullaan mittaamaan kasvihuonepäästöinä energiayksikköä kohti (gCO₂e/MJ). Alusten vuosittaiset kasvihuonepäästöt pitää olla vuotuisten kasvihuonekaasuintensiteetti rajojen alapuolella. Kasvihuonekaasuintensiteetti rajoja tullaan nostamaan vuodesta 2025 eteenpäin viiden vuoden välein aina vuoteen 2050 asti (taulukko 2). (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 2023/1805, 4. artikla.)

Kasvihuonekaasuintensiteettivaatimusten vuotuiset vähennysprosentit ja prosenttien vähennykset asetuksessa esitetystä viitearvosta 91,16 gCO₂e/MJ (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2023/1805, 4. artikla) näkyvät taulukossa 2.

Taulukko 2. Vuotuiset kasvihuonekaasuintensiteettivaatimukset ja vähennykset (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2023/1805, 4. artikla)

Vuosi	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Vähennetty (%)	2	6	14,5	31	62	80
Vuotuiset kasvihuonekaasuintensiteetti rajat (gCO ₂ e/MJ)	89,3	85,7	77,9	62,9	34,6	18,2

Lisäksi asetus velvoittaa vuodesta 2030 eteenpäin Euroopan Unionin jäsenmaiden pääsatamien laitureihin kiinnitettyjen alusten kytkemisen maasähköön ja käyttämään sähköenergiaa hyväksi kaikkiin mahdollisiin aluksen energiantarpeisiin satamakäynneillä. Vuodesta 2035 eteenpäin maasähkövelvoitetta sovelletaan muihinkin EU-alueen satamiin, joista löytyy toimiva maasähkön syöttö. Velvoite ei tule koskemaan alle kahden tunnin satamakäyntejä. (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2023/1805, 6. artikla.) Maasähkön käytöllä voidaan vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttötarvetta satamakäynneillä.

3.4 Fossiilisten polttoaineiden verotus

Euroopan neuvosto esitti vuonna 2021 Fit for 55 ilmastopakettin osana ehdotuksen energiaverodirektiivin muuttamisesta, joka kattaisi merenkulun ja sen polttoaineiden verotuksen. Verotus tulisi perustumaan näillä näkymin polttoaineiden energiasisältöön (euroa/gigajoule). Direktiivin ehdotuksessa harkitaan myös verotuksen siirtymäajan käyttöönottoa, joka kestäisi joko 10 vuotta tai vaihtoehtoisesti vuoteen 2030 asti. Siirtymäaika tulisi suosimaan vähemmän saastuttavia polttoaineita, joita verotettaisiin siirtymäajalla vähemmän. (Euroopan komissio 2021a, 1, 10, 14, 17.)

Direktiivi ehdotuksessa kaasuöljyn ja raskaanpolttoöljyn verotus tulisi olemaan siirtymäajalla ja sen jälkeen 0,9 euroa/gigajoule, kun taas nesteytetyn maakaasun verotus siirtymäajalla olisi 0,6 euroa/gigajoule, minkä jälkeen veronousisi 0,9 euroa/gigajoule (Euroopan komissio 2021b, 14). Toistaiseksi vuonna 2024 merenkulun polttoaineet ovat kokonaan verottomia (Euroopan neuvoston direktiivi (EU) 2003/96, 15. artikla).

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

Vastausta opinnäytetyön tutkimuskysymykseen selvitettiin laskelmien avulla. Päästökauppaa koskevissa laskelmissa on hyödynnetty Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksia koskien merenkulun fossiilisia polttoaineita, Kansainvälisen energiaviraston (engl. International Energy Agency, IEA) tekemiä hiilidioksidin hintaennusteita, Wärtsilän vuonna 2019 julkaisemaa 12V50DF-moottoriraporttia ja Euroopan unionin tilastoimia laivojen vuosittaisia polttoaineiden kulutustietoja.

Opinnäytetyössä selvitettiin päästökaupan ja energiaverodirektiivin kustannusvaikutukset fossiilisten polttoaineiden käytöstä kahden merenkulussa yleisesti käytetyn aluksen mukaan. Laskelmat rajattiin koskemaan vuoden 2030 tuloksia, koska se on lähitulevaisuudessa ja laskelmien tueksi löytyi tarpeeksi aineistoa. Laskut suoritettiin Excel-ohjelmalla ja osittain myös käsin laskemalla. Opinnäytetyön aihe on rajattu käsittelemään EU:n kiristyvää ympäristölainsäädäntöä ja sen vaikutuksia yleisimpien merenkulun fossiilisten polttoaineiden käyttökustannuksille.

Muuttuvasta ympäristönsääntelystä haettiin tietoa pääasiassa EU:n lainsäädännöstä kevään 2024 aikana. Opinnäytetyössä on käytetty uusinta lainsäädäntöä. Koska energiaverodirektiivi ei ole saanut vielä lopullista päästöstään, niin lähteet siihen on hankittu Euroopan Unionin virallisilta verkkosivuilta. Muuhun teoriaosuuteen lähteet on hankittu monipuolisesti kirjallisuudesta ja tutkimusartikkeleista. Tutkimusaineiston hakemisessa käytettyjä tietokantoja ovat Finna.fi-sivusto, EUR-Lex ja Google scholar. Kirjallisuusaineiston etsinnässä painotettiin aiheen soveltuvuutta ja monipuolisuutta. Tiedonhakuun käytettiin seuraavia hakusanoja: "päästökauppa", "FuelEU Maritime", "energiaverodirektiivi", "Fit for 55", "marine gasoil", "heavy fuel oil", "liquefied natural gas" ja "fossiiliset polttoaineet".

Energiaverodirektiivi laskelmissa on hyödynnetty tilastokeskuksen lähdeettä polttoaineiden lämpöarvoista ja energiaverotusten tiedot on saatu EU:n viralliselta verkkosivulta.

4.1 Laivojen kulutus

Opinnäytetyöhön valikoitui ro-ro-alusten ja matkustaja-alusten vuosittaiset polttoaineen kulutukset. Kulutustietoja tarvittiin arvioimaan päästökaupan ja energiaverodirektiivin tulevia vaikutuksia laivojen kustannuksille. Matkustaja-alukset ovat laivoja, joiden toiminta perustuu pääasiassa kaupalliseen henkilökuljetukseen (Marine insight 2019a). Ro-ro-alukset ovat hyvin samankaltaisia kuin matkustaja-alukset, mutta niiden toiminta perustuu enemmän ajoneuvokuljetuksiin ja matkustaja-aluksia vähemmän henkilökuljetuksiin (Marine insight 2019b).

Euroopan Unionilla on päästöjen tarkkailuun, valvontaan ja raportointiin suunniteltu sivusto (MRV), johon laivayhtiöiden tulee ilmoittaa vuosittaiset laivakohtaiset raportit polttoaineen kulutuksesta sekä syntyneistä hiilidioksidipäästöistä. Sivustolta on valikoitu satunnaisesti kymmenen eri matkustaja- ja ro-ro-alusta, joista laskettiin keskiarvot polttoaineiden vuosikulutuksille (liite 1). (European Maritime Safety Agency s.a.)

Laivakohtaisissa keskiarvokulutuksissa (taulukko 3) käytetään samaa lukemaa raskaalle polttoöljylle ja kaasuöljylle, sillä niiden polttoaineen

kulutuksessa ei ole juurikaan eroa. Wärtsilän vuonna 2019 julkaisemassa 12V50DF-moottoriraportissa ilmoitetaan polttoaineen kulutus kyseisellä moottorilla nesteytetyille maakaasulle (LNG) ja raskaalle polttoöljylle (HFO). Wärtsilän raportista otetulla vertailudatalla saatiin selvitettyä nesteytetyn maakaasun kulutus suhteessa raskaaseen polttoöljyyn. Nesteytetyn maakaasun kulutus on ilmoitettu raportissa yksikössä 7 360 KJ/kWh, kun taas raskaan polttoöljyn vastaava kulutus on muodossa 190,01 g/kWh. (Wärtsilä 2019, 3–13.) Ilmoitetut polttoaineen kulutukset muutettiin samaan yksikkömuotoon, jotta kulutuksia saatiin verrattua keskenään. Yksikön muunnos suoritettiin jakamalla polttoaineen kulutus 7 360 KJ/kWh nesteytetyn maakaasun alemmalla lämpöarvolla 49,7 MJ/kg (Tilastokeskus 2024 a). Nesteytetylle maakaasulle saimme yksikönmuunnoksesta tulokseksi 148,1 g/kWh, mikä on 77,91 % raskaan polttoöljyn 190,01 g/kWh kulutuksesta.

Taulukko 3. Laivojen keskimääräiset polttoaineen vuosikulutukset

Polttoaine	Laiva	Kulutus (ka/t)
HFO	Ro-ro-alus	2283,47
	Matkustaja-alus	6232,28
LNG	Ro-ro-alus	1779,05
	Matkustaja-alus	4855,56
MGO	Ro-ro-alus	2283,47
	Matkustaja-alus	6232,28

Esitetyt polttoaineen keskiarvokulutukset (taulukko 3) ovat suuntaa antavia tuloksia kyseisten laivatyyppien polttoaineen kulutuksista. Tulokset on laskettu satunnaisten 10 laivan ilmoittaman polttoaineenkulutuksen mukaan per laivatyyppi. Yksittäisten laivojen kulutuksissa on isoja eroja.

4.2 Päästökaupan vaikutus

Tutkimuksen ensimmäisenä vaiheena tarkastellaan fossiilisten polttoaineiden päästökertoimia ja arvioidaan päästökaupan hintoja vuodelle 2030. Tämän jälkeen suoritettiin laskelmat päästökaupan vaikutuksista fossiilisten polttoaineiden käytöstä syntyville kustannuksille. Samalla otetaan huomioon myös ro-ro-alusten ja matkustaja-alusten polttoaineiden vuosittaiset kulutukset.

Jokaisella kasvihuonekaasulla on oma ominaislämmitysvaikutus ilmastolle ja niiden arvioimiseksi käytetään GWP-kertoimia (ominaislämmitysvaikutus). Kertoimella saadaan selvitettyä kasvihuonekaasun sitoma lämpöenergian määrä ilmakehään suhteessa hiilidioksidipäästöihin. Hiilidioksidiekvivalenttiin (CO₂ ekv) lasketaan hiilidioksidi päästöt suoraan sellaisenaan, metaanipäästöt (CH₄) kerrotaan luvulla 28 ja typpioksiduulipäästöt (N₂O) kerrotaan luvulla 298 (Greenhouse Gas protocol 2016.) Laskelmat polttoaineiden hiilidioksidiekvivalenttitonneista (taulukko 4). Taulukon laskelmissa on käytetty FuelEU Maritime -asetuksen luokittelemia polttoaineiden päästömääriä (GHG) sekä päästökertoimia (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2023/1805, liite 2).

Taulukko 4. Hiilidioksidiekvivalenttitonni polttoaine tonnia kohti

Polttoaine	Päästö	GHG	GWP	CO ₂ ekv
HFO	CO ₂	3,114	0	3,114
	CH ₄	0,00005	28	0,0014
	N ₂ O	0,00018	298	0,05364
LNG	CO ₂	2,750	0	2,750
	CH ₄	0,031	28	0,868
	N ₂ O	0,00011	298	0,03278
MGO	CO ₂	3,206	0	3,206
	CH ₄	0,00005	28	0,0014
	N ₂ O	0,00018	298	0,05364

Kansainvälinen energiavirasto (engl. International Energy Agency, IEA) on tehnyt kolme eri hintaennustetta EU:n hiilidioksidin hinnoille vuodelle 2030 (taulukko 5). International Energy Agency:n hintaennusteet löytyvät raporteista vuosilta 2022 (International Energy Agency 2022, 465). ja 2023 (International Energy Agency 2023, 297). Hiilidioksidin hinta on sama kuin päästökaupan hinta, koska muut päästöt muutetaan päästökaupassa vastaamaan ominaislämmitysvaikutukseltaan hiilidioksidia.

Taulukko 5. Hiilidioksidin hintaennusteet vuodelle 2030 (World Energy Outlook 2023, 297)

Vuosi	Hinta (USD)	Hinta (EUR)
2030	90	83,05
2030	135	124,58
2030	120	110,74
Keskiarvo (ka)	115	106,03

IEA:n ennusteiden mukaisesti laskettu keskiarvo päästökaupan hinnalle vuodelle 2030 on 115 Yhdysvaltain dollaria (USD), eli vuoden 2024 kurssilla 106,03 euroa (1 USD=0,922 €). Lisäksi päästökauppalaskelmissa tarvitaan tieto hiilidioksidiekvivalenttitonnista polttoainetonnia kohden (taulukko 4) ja ro-ro-alusten sekä matkustaja-alusten vuosittaiset polttoaineen keskiarvokulutukset (taulukko 3).

Päästökaupasta syntyvät kustannukset on määritetty yhtälöllä 1.

$$\text{€} = \text{CO}_2\text{ekv} \times \text{ETS} \times X \quad (1)$$

Jossa, € Kustannus [€]

CO₂ekv hiilidioksidiekvivalenttitonni [t]

ETS päästökaupan hinta [€]

X Polttoaineen määrä [t]

Päästökauppa laskelmissa käytetyt arvot ilmoitettu taulukossa 6.

Taulukko 6. Päästökauppa yhtälössä käytetyt arvot

polttoaine	Kulutus (X/a)	Päästö	CO ₂ ekv (t)	ETS (€)
HFO	X	CO ₂	3,114	106,03
	X	CH ₄	0,0014	106,03
	X	N ₂ O	0,05364	106,03
LNG	X	CO ₂	2,750	106,03
	X	CH ₄	0,868	106,03
	X	N ₂ O	0,03278	106,03
MGO	X	CO ₂	3,206	106,03
	X	CH ₄	0,0014	106,03
	X	N ₂ O	0,05364	106,03

Nesteytetyn maakaasun päästöjen hiilidioksidiekvivalenttonni on polttoaineista korkein. Nesteytetyllä maakaasulla hiilidioksidi (CO₂) ja dityppioksidi (N₂O) päästöt ovat pienemmät raskaaseen polttoöljyyn ja kaasuöljyyn verrattuna. Erittäin korkea metaanipitoisuus (CH₄) nostaa kuitenkin nesteytetyn maakaasun päästöjä merkittävästi.

4.3 Energiaverodirektiivin laskelmat

Energiaveron laskemisessa hyödynnetään polttoaineiden tehollisia lämpöarvoja (Euroopan komissio 2021a, 14). Lisäksi laskelmiin tarvitaan laivojen polttoaineiden keskiarvokulutukset (taulukko 3) ja polttoaineiden verotasot. Polttoaineiden lämpöarvot näkyvät taulukossa 7.

Taulukko 7. Polttoaineiden lämpöarvot (Tilastokeskus 2024a).

	Raskas polttoöljy, rikkipitoisuus ≤0,1 %	Nesteytetty maakaasu	Kaasuöljy
Alempi lämpöarvo GJ/t	42,1	49,7	42,7

Polttoaineen lämpöarvo on muodostuvan lämpöenergian määrä aineen täydellisen palamisen yhteydessä. Käytännössä lämpöarvo kertoo siis aineen lämmitystehon. Lämpöarvo ilmoitetaan joko kalorimetrisenä, eli ylempänä lämpöarvona tai tehollisena alempana lämpöarvona. (Smil 2019, 17.)

Energiaverodirektiivin laskelmissa tarvitaan alusten keskimääräiset polttoaineenkulutustiedot (taulukko 3), polttoaineiden teholliset lämpöarvot (taulukko 7) ja energiaveron nesteytetylle maakaasulle, joka vaihtelee siirtymäajasta riippuen 0,6–0,9 (euroa/GJ), kun taas raskaalle polttoöljylle ja kaasuöljylle vero tulisi olemaan 0,9 euroa/GJ (Euroopan komissio. 2021b, 14).

Energiaverodirektiivistä syntyvät kustannukset määritetään yhtälöllä 2.

$$\text{€} = X \times Y \times LHV \quad (2)$$

Jossa,	€	kustannus	[€]
X		<i>Polttoaineen määrä</i>	[t]
Y		energia vero	[€]
LHV		<i>alempi lämpöarvo</i>	[GJ/t]

Energiaverodirektiivi laskelmissa käytetyt arvot ilmoitettu taulukossa 8. Ro-ro -alusten ja matkustaja-alusten polttoaineen keskiarvokulutukset X:n arvona.

Taulukko 8. Energiaverodirektiivi laskuissa käytetyt arvot

<i>Polttoaine</i>	<i>Kulutus (X)</i>	<i>Vero (Y)</i>	<i>LHV (GJ/t)</i>
<i>HFO</i>	X	0,9	42,1
<i>LNG</i>	X	0,6/0,9	49,7
<i>MGO</i>	X	0,9	42,7

Fossiilisista polttoaineista raskaalla polttoöljyllä ja kaasuöljyllä teholliset lämpöarvot ovat hyvin lähellä toisiaan. Nesteytetyllä maakaasulla tehollinen lämpöarvo on huomattavasti korkeampi näihin verrattuna. Nesteytetty maakaasu tuottaa huomattavasti enemmän lämpöenergiaa verrattuna kaasuöljyyn ja raskaaseen polttoöljyyn.

5 TULOKSET

5.1 Päästökaupan vaikutus

Taulukoissa 9 ja 10 esitetään päästökaupan kustannusarviot ro-ro- ja matkustaja-aluksille vuodelle 2030. Tulokset on ilmoitettu taulukoissa euroa/vuosi (€/a). Tuloksissa ilmoitetaan polttoaineiden päästökohtaiset kustannukset ja kokonaiskustannukset polttoaineen käytöstä. Lisäksi kustannukset on laskettu euroa/polttoainetonni (€/t).

Taulukko 9. Arvio päästökaupan vaikutuksille, Ro-ro-alusten polttoaineiden tuomiin lisäkustannuksiin vuodelle 2030.

polttoaine	Kulutus (t/a)	Päästö	Kustannus (€/t)	Kustannus (€/a)	Kustannukset yhteensä (€/a)
HFO	2283,47	CO ₂	336,01	753 950	767 276
		CH ₄		339	
		N ₂ O		12 987	
LNG	1779,05	CO ₂	387,09	518 740	688 656
		CH ₄		163 733	
		N ₂ O		6 183	
MGO	2283,47	CO ₂	345,77	776 225	789 551
		CH ₄		339	
		N ₂ O		12 987	

Taulukko 10. Arviot päästökaupan vaikutuksista, matkustaja-alusten polttoaineiden lisäkustannuksille vuodelle 2030.

polttoaine	Kulutus (t/a)	Päästö	Kustannus (€/t)	Kustannus (€/a)	Kustannukset yhteensä (€/a)
HFO	6232,28	CO ₂	336,01	2 057 758	2 094 129
		CH ₄		925	
		N ₂ O		35 446	
LNG	4955,29	CO ₂	387,09	1 444 876	1 918 154
		CH ₄		456 055	
		N ₂ O		17 223	
MGO	6232,28	CO ₂	345,77	2 118 553	2 154 924
		CH ₄		925	
		N ₂ O		35 446	

Matkustaja-aluksilla on huomattavasti korkeampi vuosittainen polttoaineenkulutus kuin ro-ro-aluksilla, mikä näkyy myös tuloksissa. Matkustaja-alusten päästökaupan kustannukset liikkuvat laskelmien mukaan useissa miljoonissa euroissa vuonna 2030. Fossiilisista polttoaineista nesteytetty maakaasu on halvinta päästökaupan kustannuksilta, sillä sen polttoaineenkulutus on huomattavasti alhaisempi vertailu polttoaineisiin

nähdén. Tämän perusteella päästökauppa tulee nostamaan eniten kaasuöljyn kustannuksia.

5.2 Energiaverodirektiivin vaikutus

Mahdollisen Energiaverodirektiivin vaikutukset matkustaja-alusten ja ro-ro-alusten kustannuksille vuodelle 2030 (taulukko 11, taulukko 12). Kustannukset on laskettu taulukossa 8 ilmoitettujen arvojen perusteella. Raskaan polttoöljyn ja kaasuöljyn laskelmissa on käytetty veroa 0,9 euroa/GJ, kun taas nesteytetyn maakaasun osalta on laskettu sekä 0,9 euron ja siirtymäajan mukaisen 0,6 euroa/GJ verotason kustannukset.

Taulukko 11. Energiaverodirektiivin vaikutus matkustaja-alusten kustannuksiin.

Polttoaine	Polttoaine (X)	Vero (Y/GJ)	Kustannus (€/t)	Kustannus (€/a)
HFO	6232,28	0,9	37,8	236 141
LNG	4955,29	0,6	29,8	147 767
	4955,29	0,9	44,7	221 650
MGO	6232,28	0,9	38,4	239 506

Taulukko 12. Energiaverodirektiivin vaikutus ro-ro-alusten kustannuksiin.

Polttoaine	Polttoaine (X)	Vero (Y/GJ)	Kustannus (€/t)	Kustannus (€/a)
HFO	2283,47	0,9	37,8	86 520
LNG	1779,05	0,6	29,8	53 051
	1779,05	0,9	44,7	79 577
MGO	2283,47	0,9	38,4	87 754

Energiaverodirektiivin osalta nesteytetyn maakaasun pienempi polttoaineen kulutus vähentää merkittävästi sen käytöstä syntyviä kustannuksia. Lisäksi mahdollisen siirtymäajan alhaisempi verotaso on kustannuksia alentava tekijä. Raskaan polttoöljyn ja kaasuöljyn käytössä ei ole tulosten perusteella suuria eroja syntyvien kustannusten määrissä, koska niiden teholliset lämpöarvot ja polttoaineen kulutukset moottoreissa ovat hyvin lähellä toisiaan.

6 POHDINTA

Opinnäytetyössä esitetyt tulokset ovat arvioita siitä, miten merenkulun kiristystä EU:n ympäristönsääntely voi vaikuttaa alusten fossiilisten polttoaineiden kustannuksiin tulevaisuudessa. Tulosten perusteella päästökaupan ja mahdollisen energiaverodirektiivin vaikutukset merenkulun fossiilisten polttoaineiden hintoihin vuodelle 2030 tulevat olemaan huomattavan suuria.

Päästökaupan laskelmien tuloksista selviää, että merenkulun laivojen päästöistä aiheutuvat kustannukset tulevat kasvamaan huomattavasti vuoteen 2030 mennessä. Päästökauppa aiheuttaisi vuonna 2030 ro-ro-aluksille ja matkustaja-aluksille jopa useiden miljoonien eurojen vuosittaiset kustannukset. Etenkin raskaalla polttoöljyllä (HFO) ja kaasuöljyllä (MGO) kustannukset nousevat korkeiksi, mikä johtuu suuremmasta polttoaineen kulutuksesta verrattuna nesteytettyyn maakaasuun (LNG). Merenkulun kustannusten nousu nykyhetkestä vuoteen 2030 tulee johtumaan pitkälti merenkulun liittämistä osaksi päästökauppaa ja päästöhinnan noususta. Merenkulun toimijoiden tulee sopeutua tulevaisuudessa nouseviin päästökaupan kustannuksiin fossiilisia polttoaineita käytettäessä. Huomattavana riskinä on, että päästökaupan kustannukset nousevat kohtuuttoman suuriksi, sillä päästökauppa tulee olemaan näillä näkymin suurin lisämenoerä merenkulussa lähitulevaisuudessa. Ilmastonmuutokseen pitää kuitenkin puuttua ja tämä on erittäin tehokas keino sen edistämiseksi, sillä fossiilisten polttoaineiden kallistuminen kannustaa merenkulkua siirtymään vaihtoehtoisiin polttoaineisiin. (Euroopan komissio 2021, 2).

Tällä hetkellä EU:n merenkulussa polttoaineet ovat verovapaita. Tulevaisuudessa energiaverodirektiivistä aiheutuvat kustannukset tulisivat ro-ro-aluksilla ja matkustaja-aluksilla olemaan laskelmien perusteella noin kymmenissä tai sadoissa tuhansissa euroissa. Energiaverodirektiivistä aiheutuvat kustannukset merenkulun polttoaineille olisivat ainakin alussa maltillisia. Tämä olisi kuitenkin ensimmäinen verotaso direktiivin hyväksymisen jälkeen ja verotusta mahdollisesti korotettaisiin vähitellen kohti tieliikenteen vastaavia verotasoja. Esimerkiksi raskasta polttoöljyä verotetaan tieliikenne käytössä energia- ja hiilidioksidiverolla yhteensä 30,26 snt/kg (Vero

2024). Toisaalta merenkulku on osa kansainvälistä liikennettä ja jos EU-alueella polttoainevero nousisi liian suureksi, niin isolla todennäköisyydellä laivojen polttoaineen tankkaus EU:n ulkopuolisissa maissa kasvaisi (esim. Iso-Britannia ja Pohjois-Afrikka). Samaa riskiä ei tieliikenteessä ole - ainakaan samassa mittakaavassa - jonka vuoksi verotusta on helpompi nostaa.

Näiden lisäksi FuelEU Maritime tulee kiristämään merenkulussa käytettävien polttoaineiden hiili-intensiteettiä. Tämän vaikutusta fossiilisten polttoaineiden hintoihin on kuitenkin haastavaa arvioida, sillä siihen vaikuttaa useat tekijät. EU:n hiili-intensiteetti rajojen nouseminen tulevaisuudessa aiheuttaa todennäköisesti vaihtoehtoisten polttoaineiden kysynnän nousemista, mikä taas voisi mahdollisesti vähentää fossiilisten polttoaineiden kysyntää. Vähenevä kysyntä ja siitä johtuvasta fossiilisten polttoaineiden ylitarjonnasta voisi aiheutua jopa fossiilisten polttoaineiden hintojen lasku.

Vaikka EU:n ympäristönsääntely kiristyy fossiilisten polttoaineiden osalta, niin niiden kokonaishintojen odotetaan olevan pitkään vaihtoehtoisia polttoaineita halvempia. Tämä johtuu osiltaan siitä, että alusten moottorit suosivat vielä pitkään fossiilisia polttoaineita ja pienen kysynnän vuoksi vaihtoehtoisten polttoaineiden valmistaminen on kallista. (Solakivi ym. 2022, 15.) Myöskään suurin osa nykyisistä merenkulun alusten moottoreista ei ole yhteensopivia vaihtoehtoisten polttoaineiden kanssa. Tulevaisuudessa moottoreiden vaihdoista tai uusien alusten hankinnoista syntyy lisäkustannuksia laivayhtiöille.

Käsiteltyjen aineistojen perusteella voidaan todeta, että kiristyvän ympäristönsääntelyiden vaikutuksia merenkulun fossiilisten polttoaineiden hinnoille vuodelle 2030 on erittäin haastavaa arvioida ja ne riippuvat monista tekijöistä, kuten aluksilla käytettävästä polttoaineesta, polttoaineen kulutuksesta, verotuksesta ja päästökaupan hinnan asettumisesta. Merenkulun toimijoiden tulee lähivuosien aikana ottaa huomioon erityisen tarkasti, miten lähteä rakentamaan taloudellinen strategia tulevaisuuteen siten, että kustannukset pysyvät järkevissä mitoissa.

7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa ja arvioida merenkulun muuttuvien ympäristönsäätelyiden vaikutuksia merenkulun fossiilisten polttoaineiden käyttökustannuksille vuodelle 2030.

Opinnäytetyössä suoritettujen laskelmien ja selvitysten perusteella huomattiin, että merenkulkuun kohdistuva ympäristönsäätely tuo mukanaan huomattavia kustannuksia laivayhtiöille. Tehtyjen laskelmien perusteella voidaan tehdä hypoteesi, että vuonna 2030 merenkulun päästökaupasta muodostuu valtava kustannuserä laivayhtiöille opinnäytetyössä tarkasteltujen fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Tulosten perusteella kustannukset nousevat pelkän päästökaupan takia useilla laivoilla miljoonia euroja vuodessa. Lisäksi laskelmista selviää mahdollisen energiaverodirektiivin vaikutukset kustannuksille fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Kyseiset tulokset ovat kustannuksiltaan huomattavasti pienemmät, kuin päästökaupalla, mutta energiaverodirektiivin astuessa voimaan laskelmissa esitetty verotus voi kuitenkin nopeallakin aikataululla kiristyä.

EU:n merenkulun kiristynyt ympäristönsäätely tuo mukanaan laivayhtiöille myös lisää tiedotettavaa ja tarkkailtavaa. Polttoaineen kulutuksen ja syntyvien päästöjen seurantaan tullaan tiivistämään entisestään. Lisäksi fossiilisten polttoaineiden hintojen nousu antaa merenkulun toimijoille syyn harkita vakavasti siirtymistä vaihtoehtoisiin polttoaineisiin.

Jatkotutkimuksena olisi hyödyllistä tutkia kiristyneiden ympäristönsäätelyiden aiheuttamia muutoksia laivayhtiöiden toiminnassa ja myös sitä, ovatko laivayhtiöt onnistuneet vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään. Lisäksi olisi erittäin mielenkiintoista saada tutkimustuloksia FuelEU Maritimen vaikutuksista fossiilisten polttoaineiden hintoihin ja kysyntään merenkulussa.

LÄHTEET

Brax, A. 2017. Raskaan polttoöljyn kieltäminen on kaikkien arktisten valtioiden yhteinen asia. WWF. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://wwf.fi/tiedotteet/2017/10/raskaan-polttoöljyn-kieltaminen-on-kaikkien-arktisten-valtioiden-yhteinen-asia/> [viitattu 4.3.2024].

DNV. 2019. Comparison of Alternative Marine Fuels. PDF-dokumentti.

Saatavissa: https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2019/09/SEA-LNG-DNV-GL-Comparison-of-Alternative-Marine-Fuels-2019_09.pdf [viitattu 6.2.2024].

Energiamailma. 2021. Polttoaineet. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://energiamaailma.fi/energiasta/energiantuotanto/polttoaineet/> [viitattu 30.11.2023].

Energiavirasto. 2023. Päästökaupan huutokauppatulot kasvoivat 581,6 miljoonaan euroon. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://energiavirasto.fi/-/paastokaupan-huutokauppatulot-kasvoivat-581-6-miljoonaan-euroon> [viitattu 18.1.2024].

Euroopan komissio. 2021a. Neuvoston direktiivi ehdotus, energiatuotteiden ja sähkön verotusta koskevan unionin kehyksen uudistamisesta. PDF-

dokumentti. Saatavissa: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:1b01af2a-e558-11eb-a1a5-01aa75ed71a1.0005.02/DOC_1&format=PDF [viitattu 2.4.2024].

Euroopan komissio. 2021b. Neuvoston direktiivi ehdotus, energiatuotteiden ja sähkön verotusta koskevan unionin kehyksen uudistamisesta liitteet. PDF-

dokumentti. Saatavissa: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:1b01af2a-e558-11eb-a1a5-01aa75ed71a1.0005.02/DOC_2&format=PDF [viitattu 2.4.2024].

Euroopan parlamentti. 2018. EU:n päästökauppajärjestelmä ja sen uudistaminen. WWW-dokumentti. Päivitetty 23.06.2022. Saatavissa:

<https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20170213STO62208/eu-n-paastokauppajarjestelma> [viitattu 9.12.2023].

Euroopan neuvoston direktiivi (EU) 2003/96.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2023/1805.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2021/1119.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2023/959.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2012/33.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2003/87.

Euroopan unionin neuvosto. 2024. 55-valmiuspaketti. WWW-dokumentti.

Päivitetty 12.4.2024. Saatavissa:

<https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/green-deal/fit-for-55/> [viitattu 16.4.2024].

European Maritime Safety Agency s.a. CO2 EMISSION REPORT. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://mrv.emsa.europa.eu/#public/emission-report> [viitattu 25.4.2024].

Gasum s.a. Maakaasu ja nesteytetty maakaasu (LNG). WWW-dokumentti.

Saatavissa: <https://www.gasum.com/fi/gasum/tuotteet-ja-palvelut/maakaasu-ja-nesteytetty-maakaasu-lng/> [viitattu 29.4.2024].

Geologia. 2019. Öljy, kaasu ja kivihiihi. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://www.geologia.fi/2019/12/31/oljy-kaasu-ja-kivihiihi/> [viitattu 16.4.2024].

Greenhouse Gas Protocol. 2016. Global Warming Potential Values. PDF-

dokumentti. Saatavissa: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf [viitattu 29.4.2024].

Helcom. 2019. Alternative fuels for shipping. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/10/HELCOM-EnviSUM-Alternative-fuels-for-shipping.pdf> [viitattu 18.1.2024].

International Energy Agency. 2022. World Energy Outlook 2022. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/830fe099-5530-48f2-a7c1-11f35d510983/WorldEnergyOutlook2022.pdf> [viitattu 26.1.2024].

International Energy Agency. 2023. World Energy Outlook 2023. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/42b23c45-78bc-4482-b0f9-eb826ae2da3d/WorldEnergyOutlook2023.pdf> [viitattu 26.1.2024].

International Maritime Organization. 2020. Fourth IMO GHG Study 2020. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Fourth%20IMO%20GHG%20Study%202020%20-%20Full%20report%20and%20annexes.pdf> [viitattu 12.1.2024].

International Maritime Organization. 2023. Revised GHG reduction strategy for global shipping adopted. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/Revised-GHG-reduction-strategy-for-global-shipping-adopted-.aspx> [viitattu 16.4.2024].

Marine insight. 2019a. What are Passanger Ships?. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.marineinsight.com/cruise/what-are-passenger-ships/> [viitattu 25.3.2024].

Marine insight. 2019b. What are Ro-Ro Ships?. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.marineinsight.com/types-of-ships/what-are-ro-ro-ships/> [viitattu 25.3.2024].

Morris, N. 2012. Energiapaketti. Suom. H. Janhunen. Helsinki: Perhemediat Oy.

Oiltanking. 2015. Heavy Fuel Oil (HFO). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.oiltanking.com/en/news-info/glossary/heavy-fuel-oil-hfo.html> [viitattu 4.3.2024].

Oiltanking s.a. Marine Gasoil (MGO). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.oiltanking.com/en/news-info/glossary/marine-gasoil-mgo.html> [viitattu 4.3.2024].

Smil, V. 2019. Maakaasu kohti kestävämpää energiataloutta. Suom. P, Ranta. Helsinki: Gaudeamus.

Solakivi, T., Paimander, A. & Ojala, L. 2022. Cost competitiveness of alternative maritime fuels in the new regulatory framework. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://tinyurl.com/4vsaypc8> [viitattu 16.4.2024].

Tilastokeskus. 2024a. Polttoaineluokitus. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fstat.fi%2Fmedia%2Fuploads%2Ftup%2Fkhkinv%2Fkhkaasut_polttoaineluokitus_2024.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK [viitattu 6.2.2024].

Tilastokeskus. 2024b. Polttoaineluokitus 2024. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://stat.fi/media/uploads/tup/khkinv/polttoaineluokitus_2024_maaritelmat.pdf [viitattu 4.3.2024].

Työ- ja elinkeinoministeriö s.a. Päästökauppa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://tem.fi/paastokauppa> [viitattu 9.4.2024].

Vero. 2024. Nestemäisten polttoaineiden verotaulukot. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/verot-ja-maksut/valmisteverotus/nestemaiset-polttoaineet/verotaulukot/> [viitattu 16.4.2024].

WWF. 2019. Näin jään sulaminen vaikuttaa kaikkeen elämään maapallollamme. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://wwf.fi/uutiset/2019/09/nain-jaan-sulaminen-vaikuttaa-kaikehen-elamaan-maapallollamme/> [viitattu 9.4.2024].

Wärtsilä. 2019. Wärtsilä 50DF. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/df-engine/product-guide-o-e-w50df.pdf?sfvrsn=9> [viitattu 3.2.2023].

Laiva tyyppi	Kulutus (tuhat kg)	Aika (h)	Kulutus tunnissa (tuhat kg)
Ro-ro-alus 1	2776,01	3635,00	0,76
Ro-ro-alus 2	2081,79	2992,36	0,69
Ro-ro-alus 3	2625,33	3109,20	0,84
Ro-ro-alus 4	3321,98	3685,00	0,90
Ro-ro-alus 5	3784,12	3835,20	0,99
Ro-ro-alus 6	1462,58	2556,70	0,57
Ro-ro-alus 7	1670,56	2494,00	0,67
Ro-ro-alus 8	1675,00	2637,00	0,64
Ro-ro-alus 9	1599,70	2416,30	0,66
Ro-ro-alus 10	1837,60	2998,20	0,61
Keskiarvo	2283,47	3035,90	0,75
Matkustaja-alus	7689,55	4529,55	1,70
Matkustaja-alus	6307,75	4170,20	1,51
Matkustaja-alus	8458,51	4450,50	1,90
Matkustaja-alus	8125,56	4360,57	1,86
Matkustaja-alus	3473,74	2346,25	1,48
Matkustaja-alus	951,37	488,87	1,95
Matkustaja-alus	5187,27	3687,78	1,41
Matkustaja-alus	6151,40	4268,21	1,44
Matkustaja-alus	8994,70	4656,00	1,93
Matkustaja-alus	6988,30	4344,00	1,61
Keskiarvo	6232,28	3730,19	1,67

Taulukko 13. Laivojen vuosittaiset keskimääräiset polttoaineen kulutukset

B.2 CO₂ prices

Table B.2 ▶ CO₂ prices for electricity, industry and energy production in selected regions by scenario

USD (2021) per tonne of CO ₂	2030	2040	2050
Stated Policies Scenario			
Canada	54	62	77
Chile, Colombia	13	21	29
China	28	43	53
European Union	90	98	113
Korea	42	67	89
Announced Pledges Scenario			
Advanced economies with net zero emissions pledges ¹	135	175	200
Emerging market and developing economies with net zero emissions pledges ²	40	110	160
Other emerging market and developing economies	-	17	47
Net Zero Emissions by 2050 Scenario			
Advanced economies with net zero emissions pledges	140	205	250
Emerging market and developing economies with net zero emissions pledges	90	160	200
Other emerging market and developing economies	25	85	180

Note: Values are rounded.

¹ Includes all OECD countries except Mexico.

² Includes China, India, Indonesia, Brazil and South Africa.

Kuva 1. IEA:n hintaennuste hiilidioksidin hinnalle vuodelle 2030 (International Energy Agency 2022, 465).

B.2 CO₂ prices

Table B.2 ▶ CO₂ prices for electricity, industry and energy production in selected regions by scenario

USD (2022, MER) per tonne of CO ₂	2030	2040	2050
Stated Policies Scenario			
Canada	130	150	155
Chile and Colombia	13	21	29
China	28	43	53
European Union	120	129	135
Korea	42	67	89
Announced Pledges Scenario			
Advanced economies with net zero emissions pledges*	135	175	200
Emerging market and developing economies with net zero emissions pledges**	40	110	160
Other emerging market and developing economies	-	17	47
Net Zero Emissions by 2050 Scenario			
Advanced economies with net zero emissions pledges	140	205	250
Emerging market and developing economies with net zero emissions pledges	90	160	200
Selected emerging market and developing economies (without net zero emissions pledges)	25	85	180
Other emerging market and developing economies	15	35	55

Note: Values are rounded.

*Includes all OECD countries except Mexico.

**Includes China, India, Indonesia, Brazil and South Africa.

Kuva 2. IEA:n hintaennuste hiilidioksidin hinnalle vuodelle 2030 (International Energy Agency 2023, 297).